

Satelliet-tracking

Nico Janssen PA0DLO

Interessedag Amateursatellieten 2015
Apeldoorn, 2015-04-25

Baanparameters

- Bronnen
 - Space-Track.org (afkomstig van JSpOC)
 - Amateurs
- Afgeleide bronnen
 - CelesTrak
 - AMSAT-NA
 - TLE.INFO
 - CalPoly
 - ...

Parametersets

- Two Line Elements (TLE)

```
1 32789U 08021G    15017.14801361    .00009176    00000-0    79827-3 0    1955
2 32789 097.6956 079.4877 0011489 166.6988 246.9683 14.97124846364469
```

Ook bekend als 'keplersets'

Parametersets

- State Vectors

Vector Time (UTC): 2015/030/18:42:58.190

M50 Cartesian

X = -2693293.68

Y = 3249621.72 meter

Z = 5304199.84

XDOT = -5334.996051

YDOT = -5469.605928 meter/sec

ZDOT = 645.331911

Vorm van de baan

- Cirkelvormig of elliptisch

```
1 32789U 08021G 15017.14801361 .00009176 00000-0 79827-3 0 1955
2 32789 097.6956 079.4877 0011489 166.6988 246.9683 14.97124846364469
```



Vorm van de baan

- Excentriciteit

1	32789U	08021G	15017.14801361	.00009176	00000-0	79827-3	0	1955
2	32789	097.6956	079.4877	0011489	166.6988	246.9683	14.97124846364469	



Grootte van de baan

- Hoog of laag

```
1 32789U 08021G 15017.14801361 .00009176 00000-0 79827-3 0 1955
2 32789 097.6956 079.4877 0011489 166.6988 246.9683 14.97124846364469
```



Grootte van de baan

- Mean motion (aantal omlopen per dag)

1	32789U	08021G	15017.14801361	.00009176	00000-0	79827-3	0	1955
2	32789	097.6956	079.4877	0011489	166.6988	246.9683	14.97124846364469	



Grootte van de baan

- Mean motion (aantal omlopen per dag)

```
1 32789U 08021G 15017.14801361 .00009176 00000-0 79827-3 0 1955
2 32789 097.6956 079.4877 0011489 166.6988 246.9683 14.97124846364469
```

Omlopen per dag	Hoogte (km)
-----------------	-------------

16	282
----	-----

15	574
----	-----

14	901
----	-----

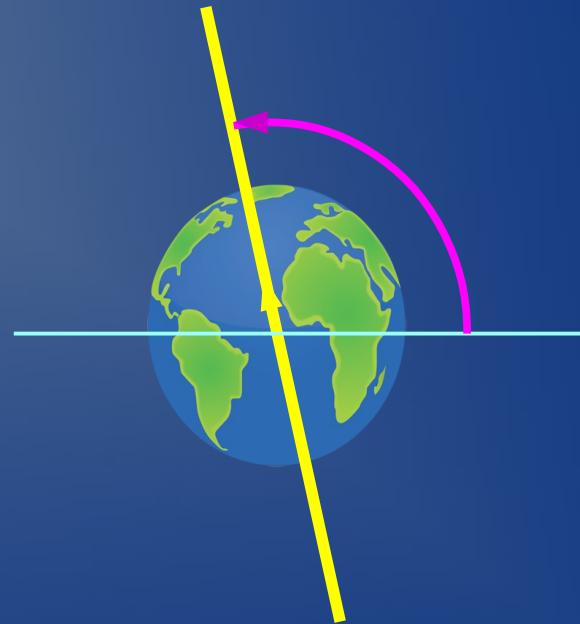
13	1269
----	------

12	1688
----	------

Helling van de baan

- Helling ten opzichte van het vlak van de evenaar

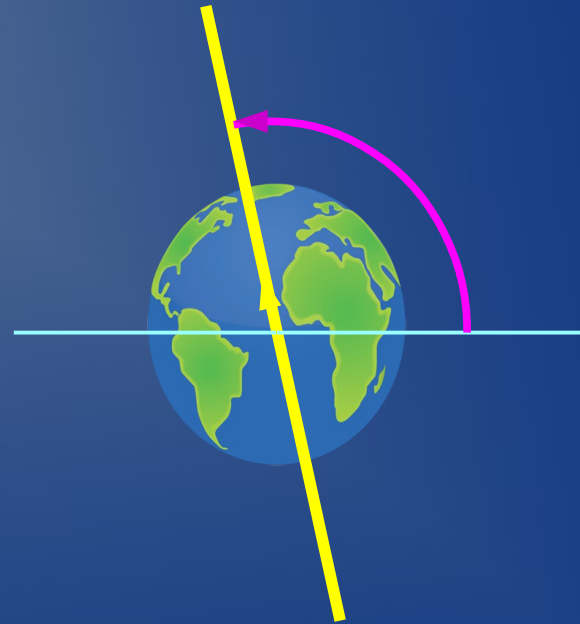
```
1 32789U 08021G 15017.14801361 .00009176 00000-0 79827-3 0 1955
2 32789 097.6956 079.4877 0011489 166.6988 246.9683 14.97124846364469
```



Helling van de baan

- Inclinatie

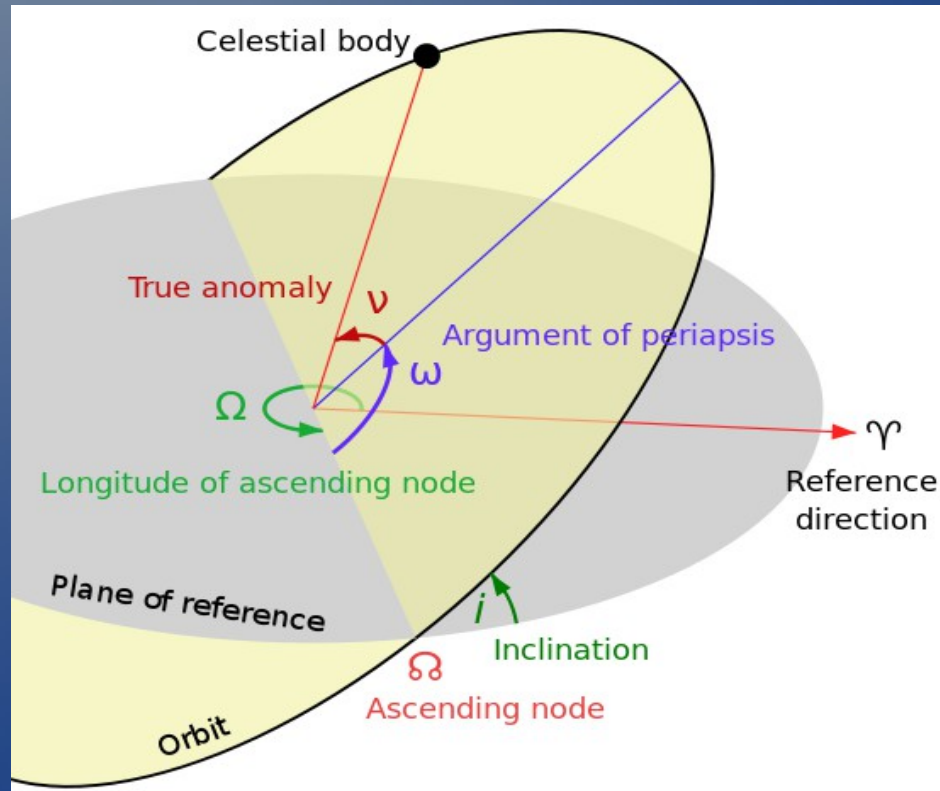
1	32789U	08021G	15017.14801361	.00009176	00000-0	79827-3	0	1955
2	32789	097.6956	079.4877	0011489	166.6988	246.9683	14.97124846364469	



Stand van de baan

- Stand ten opzichte van het lentepunt

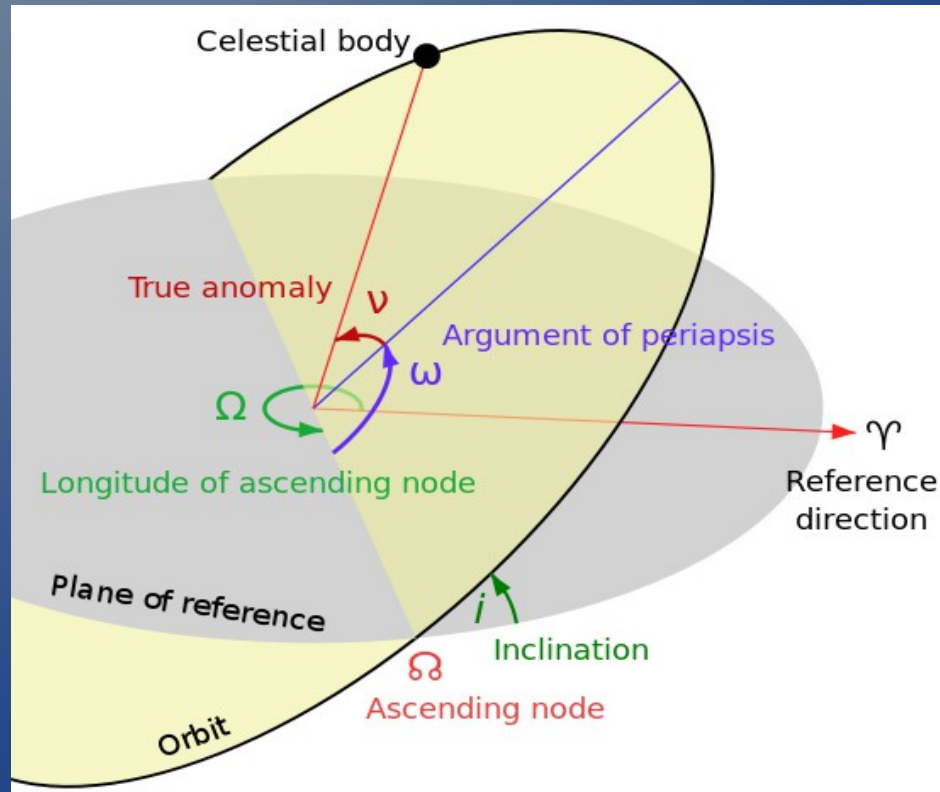
1	32789U	08021G	15017.14801361	.00009176	00000-0	79827-3	0	1955
2	32789	097.6956	079.4877	0011489	166.6988	246.9683	14.97124846364469	



Stand van de baan

- Right Ascension of the Ascending Node (RAAN)

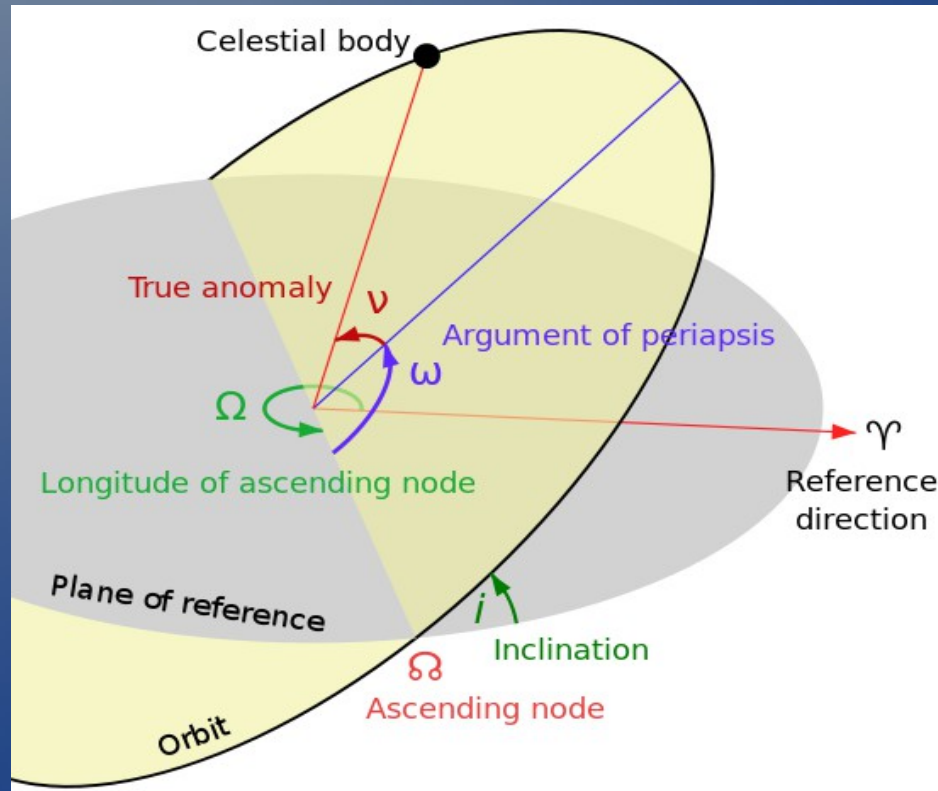
```
1 32789U 08021G 15017.14801361 .00009176 00000-0 79827-3 0 1955
2 32789 097.6956 079.4877 0011489 166.6988 246.9683 14.97124846364469
```



Stand van de ellips

- Richting perigeum ten opzichte van vlak evenaar

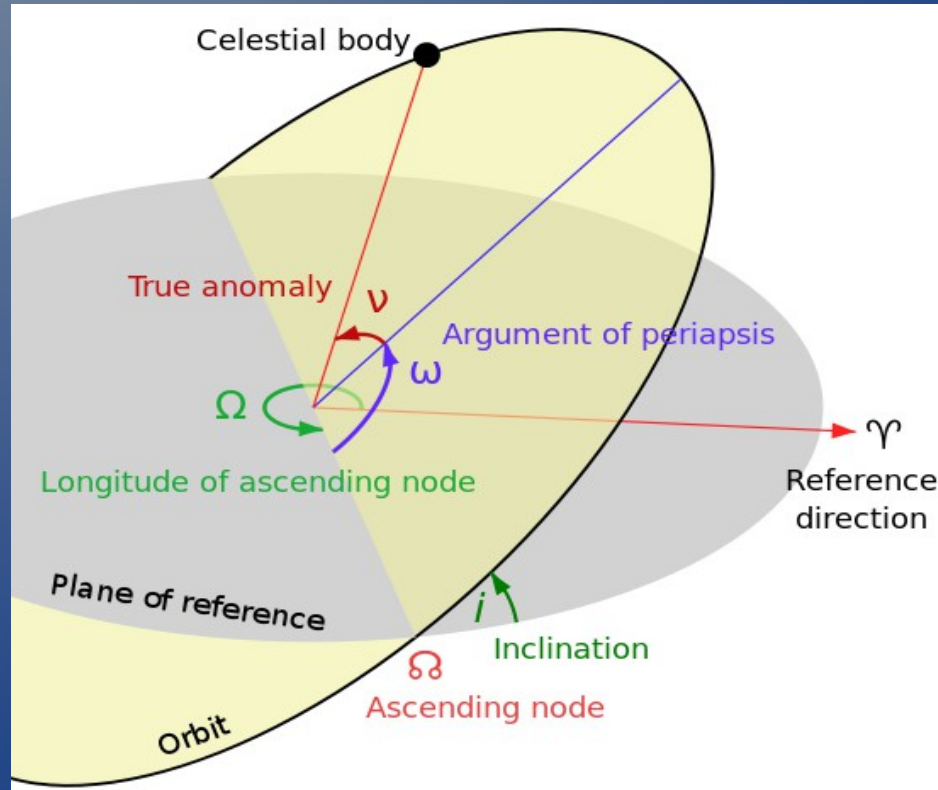
```
1 32789U 08021G 15017.14801361 .00009176 00000-0 79827-3 0 1955
2 32789 097.6956 079.4877 0011489 166.6988 246.9683 14.97124846364469
```



Stand van de ellips

- Argument van het perigeum

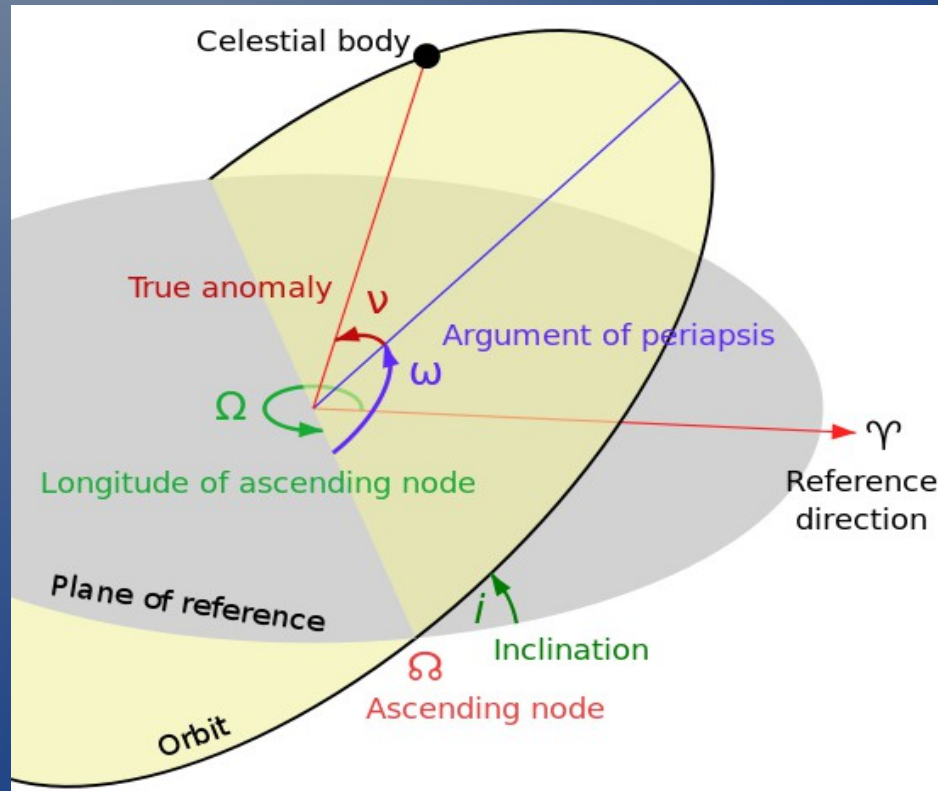
1	32789U	08021G	15017.14801361	.00009176	00000-0	79827-3	0	1955
2	32789	097.6956	079.4877	0011489	166.6988	246.9683	14.97124846364469	



Referentie-tijdstip

- Tijdstip waarop de parameters geldig zijn

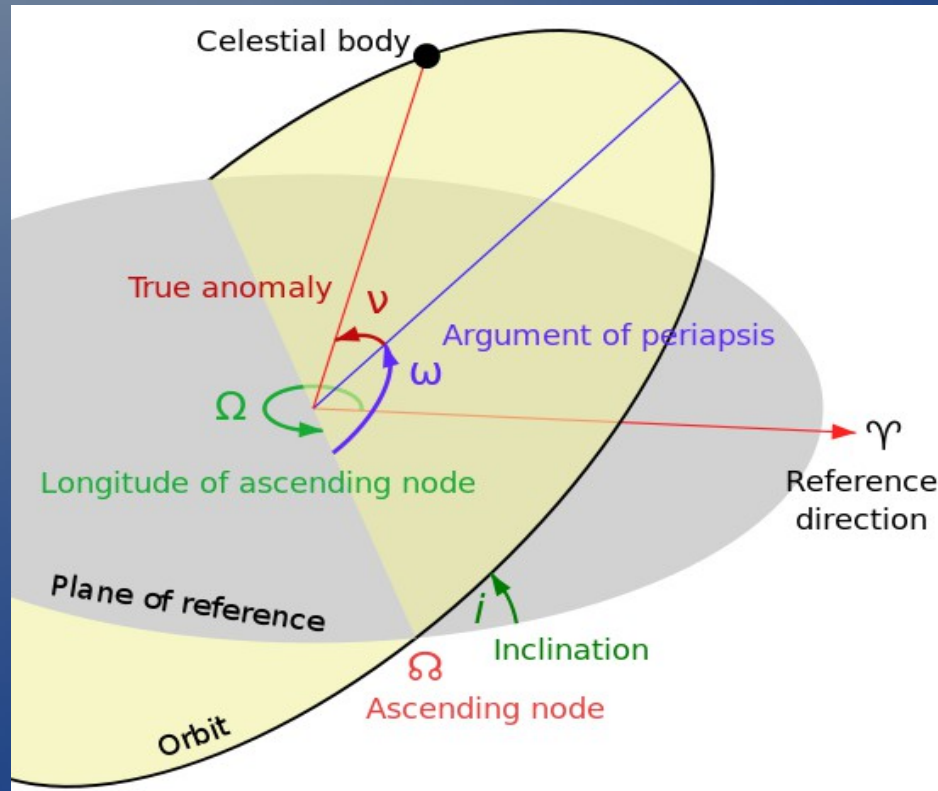
```
1 32789U 08021G 15017.14801361 .00009176 00000-0 79827-3 0 1955
2 32789 097.6956 079.4877 0011489 166.6988 246.9683 14.97124846364469
```



Referentie-tijdstip

- Reference epoch

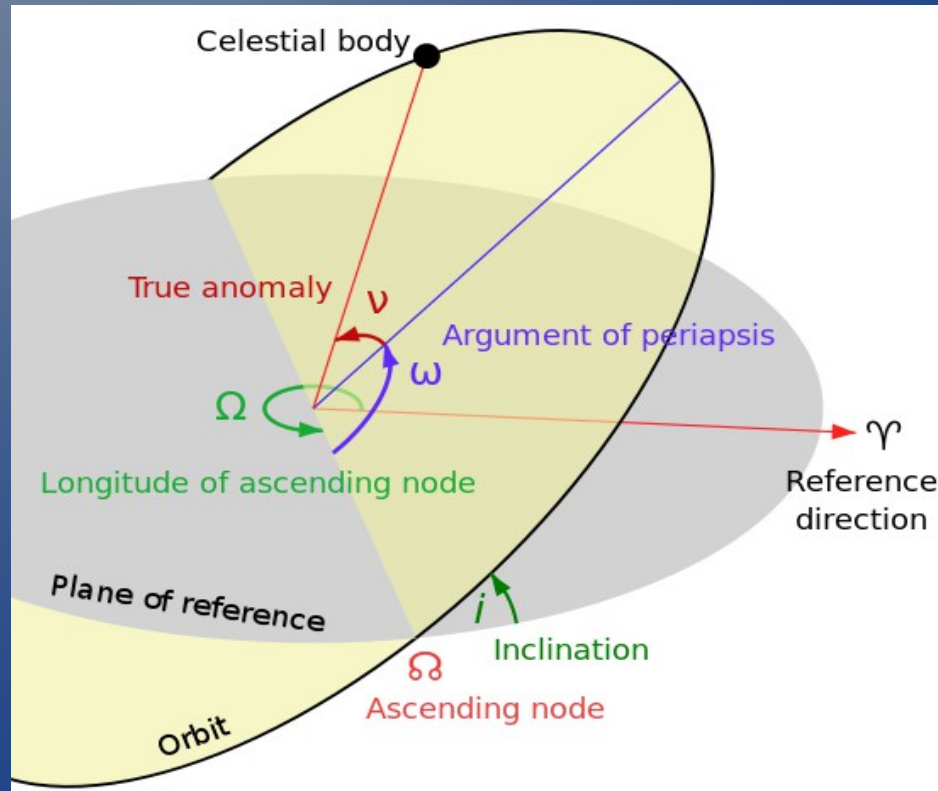
1	32789U	08021G	15017.14801361	.00009176	00000-0	79827-3	0	1955
2	32789	097.6956	079.4877	0011489	166.6988	246.9683	14.97124846364469	



Positie satelliet in de baan

- Positie hoek ten opzichte van het perigeum

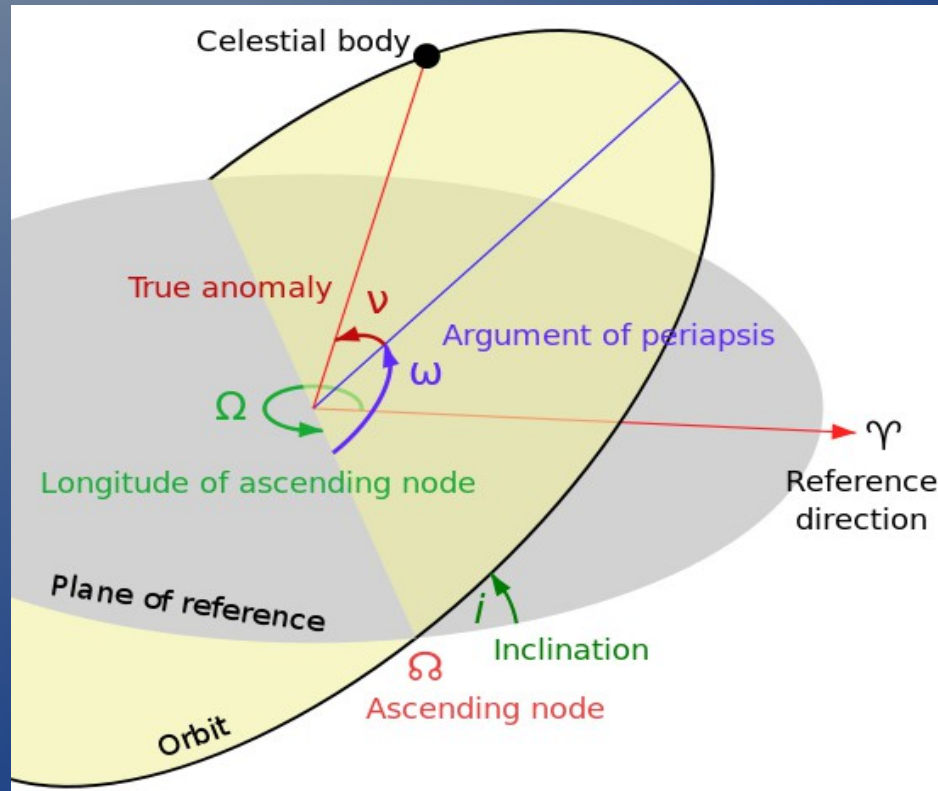
```
1 32789U 08021G 15017.14801361 .00009176 00000-0 79827-3 0 1955
2 32789 097.6956 079.4877 0011489 166.6988 246.9683 14.97124846364469
```



Positie satelliet in de baan

- Mean anomaly

```
1 32789U 08021G 15017.14801361 .00009176 00000-0 79827-3 0 1955
2 32789 097.6956 079.4877 0011489 166.6988 246.9683 14.97124846364469
```



Verandering van Mean Motion

- Decay rate, Drag factor of Versnelling

```
1 32789U 08021G 15017.14801361 .00009176 00000-0 79827-3 0 1955
2 32789 097.6956 079.4877 0011489 166.6988 246.9683 14.97124846364469
```

Eerste afgeleide naar de tijd van de Mean motion
(omlopen per dag per dag)

Verandering van Decay

- Toename van Decay rate

```
1 32789U 08021G 15017.14801361 .00009176 00000-0 79827-3 0 1955
2 32789 097.6956 079.4877 0011489 166.6988 246.9683 14.97124846364469
```

Tweede afgeleide naar de tijd van de Mean motion
(omlopen per dag per dag per dag)

Ballistische coefficient

- BSTAR term

1	32789U	08021G	15017.14801361	.00009176	00000-0	79827-3	0	1955
2	32789	097.6956	079.4877	0011489	166.6988	246.9683	14.97124846364469	

Alternatief voor Decay rate

Welke satelliet is dit?

?

```
1 xxxxxU xxxxxxxx 15024.27641008 .00011624 00000-0 18604-3 0 7691
2 xxxxxx 051.6478 082.5600 0005771 298.3246 104.0713 15.53595751925646
```

Welke satelliet is dit?

ISS

```
1 25544U 98067A    15024.27641008    .00011624    00000-0    18604-3 0    7691
2 25544  051.6478  082.5600  0005771  298.3246  104.0713  15.53595751925646
```

Welke satelliet is dit?

ISS

```
1 25544U 98067A 15024.27641008 .00011624 00000-0 18604-3 0 7691
2 25544 051.6478 082.5600 0005771 298.3246 104.0713 15.53595751925646
```

?

```
1 xxxxxU xxxxxxxx 15021.67574236 -.00000083 00000-0 00000+0 0 1118
2 xxxxx 008.9151 011.8466 7943531 192.1112 120.1737 01.25584382 65318
```

Welke satelliet is dit?

ISS

```
1 25544U 98067A    15024.27641008    .00011624    00000-0    18604-3 0   7691
2 25544  051.6478  082.5600  0005771  298.3246  104.0713  15.53595751925646
```

AMSAT-OSCAR 40

```
1 26609U 00072B    15021.67574236   -.00000083    00000-0    00000+0 0   1118
2 26609  008.9151  011.8466  7943531  192.1112  120.1737  01.25584382  65318
```

Welke satelliet is dit?

ISS

```
1 25544U 98067A 15024.27641008 .00011624 00000-0 18604-3 0 7691
2 25544 051.6478 082.5600 0005771 298.3246 104.0713 15.53595751925646
```

AMSAT-OSCAR 40

```
1 26609U 00072B 15021.67574236 -.00000083 00000-0 00000+0 0 1118
2 26609 008.9151 011.8466 7943531 192.1112 120.1737 01.25584382 65318
```

?

```
1 xxxxxxU xxxxxxxx 15023.31606786 -.00000018 00000-0 00000+0 0 2501
2 xxxxxx 000.5648 144.0773 0000582 194.5017 257.1696 01.00275181 9477
```

Welke satelliet is dit?

ISS

```
1 25544U 98067A 15024.27641008 .00011624 00000-0 18604-3 0 7691
2 25544 051.6478 082.5600 0005771 298.3246 104.0713 15.53595751925646
```

AMSAT-OSCAR 40

```
1 26609U 00072B 15021.67574236 -.00000083 00000-0 00000+0 0 1118
2 26609 008.9151 011.8466 7943531 192.1112 120.1737 01.25584382 65318
```

METEOSAT 10

```
1 38552U 12035B 15023.31606786 -.00000018 00000-0 00000+0 0 2501
2 38552 000.5648 144.0773 0000582 194.5017 257.1696 01.00275181 9477
```

Welke satelliet is dit?

?

1 xxxxxU xxxxxxxx 15009.86954674 .36181825 49011-5 43735-3 0 7888

2 xxxxxx 069.4150 141.5751 0006093 101.2598 259.4750 16.49686879155248

Welke satelliet is dit?

MASAT 1

```
1 38081U 12006E 15009.86954674 .36181825 49011-5 43735-3 0 7888  
2 38081 069.4150 141.5751 0006093 101.2598 259.4750 16.49686879155248
```

Verbrand in de atmosfeer op 9 januari 2015

Welke satelliet is dit?

?

1	xxxxxxU	xxxxxxx	13327.89384270	.00003193	00000-0	32623-3	0	142
2	xxxxxx	097.8098	040.5185	0012591	274.6449	085.3249	14.91247448	371

SKYSAT 1

1	39418U	13066C	13326.88349401	.00000670	00000-0	66648-4	0	104
2	39418	097.8116	039.5268	0022148	325.7234	034.2503	14.94900405	222

DUBAISAT 2

1	39419U	13066D	13326.75314978	.00004079	00000-0	41518-3	0	118
2	39419	097.8102	039.3887	0012642	278.6994	081.2619	14.91241122	209

UNISAT 5

1	39421U	13066F	13326.89506140	.00002605	00000-0	31660-3	0	121
2	39421	097.8053	039.5104	0033006	201.6414	158.3656	14.83975567	228

Welke satelliet is dit?

DUBAISAT 2

1	39419U	13066D	13327.89384270	.00003193	00000-0	32623-3 0	142
2	39419	097.8098	040.5185	0012591	274.6449	085.3249 14.91247448	371

SKYSAT 1

1	39418U	13066C	13326.88349401	.00000670	00000-0	66648-4 0	104
2	39418	097.8116	039.5268	0022148	325.7234	034.2503 14.94900405	222

DUBAISAT 2

1	39419U	13066D	13326.75314978	.00004079	00000-0	41518-3 0	118
2	39419	097.8102	039.3887	0012642	278.6994	081.2619 14.91241122	209

UNISAT 5

1	39421U	13066F	13326.89506140	.00002605	00000-0	31660-3 0	121
2	39421	097.8053	039.5104	0033006	201.6414	158.3656 14.83975567	228

Wanneer was de baanverhoging?

ISS

1 25544U 98067A 14316.21306536 .00017433 00000-0 29987-3 0 3980

2 25544 051.6457 085.7563 0005285 024.2271 040.0699 15.51186696914293

1 25544U 98067A 14316.54126476 .00017675 00000-0 30377-3 0 4006

2 25544 051.6452 084.1284 0005179 025.0918 073.1827 15.51199524914340

1 25544U 98067A 14316.92779229 .00017511 00000-0 30377-3 0 4018

2 25544 051.6390 082.2280 0007845 022.2152 075.5435 15.50926713914402

1 25544U 98067A 14316.99401744 .00017511 00000-0 30377-3 0 4020

2 25544 051.6389 081.8996 0007886 022.5816 085.1772 15.50927485914413

Wanneer was de baanverhoging?

ISS

1 25544U 98067A 14316.21306536 .00017433 00000-0 29987-3 0 3980

2 25544 051.6457 085.7563 0005285 024.2271 040.0699 15.51186696914293

1 25544U 98067A 14316.54126476 .00017675 00000-0 30377-3 0 4006

2 25544 051.6452 084.1284 0005179 025.0918 073.1827 15.51199524914340

1 25544U 98067A 14316.92779229 .00017511 00000-0 30377-3 0 4018

2 25544 051.6390 082.2280 0007845 022.2152 075.5435 15.50926713914402

1 25544U 98067A 14316.99401744 .00017511 00000-0 30377-3 0 4020

2 25544 051.6389 081.8996 0007886 022.5816 085.1772 15.50927485914413

Bijzondere satellietbanen

Geostationaire baan

- Mean motion = 1.0027... omlopen per dag
- Inclinatorie = 0 graden
- Excentriciteit = 0

Geosynchrone baan

- Mean motion = 1.0027... omlopen per dag
- Inclinatorie > 0 graden
- Excentriciteit = 0

Bijzondere satellietbanen

Zonsynchrone baan

- Mean motion = bepaalde specifieke waarde
- Inclinatorie = rond 97.5 graden

'Molniya' baan

- Hoge elliptische baan
- Inclinatorie = 63.4 graden
- Drift van het argument van het perigeum = 0

Bijzondere satellietbanen

Resonantie

- Mean motion = bepaalde specifieke waarden
- Passages steeds rond dezelfde tijd, b.v. elke twee of drie dagen

Satelliet surveillance en tracking

Methoden

- Radiowaarnemingen
- Optische waarnemingen
- Radarwaarnemingen

Satellieten identificeren

Situatie

- Regelmatig wordt een zwerm kleine satellieten (b.v. Cubesats) gelanceerd met één raket
- Na de lancering blijft de onderlinge afstand langere tijd vrij klein
- De satellieten worden wel waargenomen met radar maar kunnen zo niet geïdentificeerd worden
- Baanparameters worden gepubliceerd voor deze ongeïdentificeerde satellieten

Welke TLE set hoort bij welke satelliet?

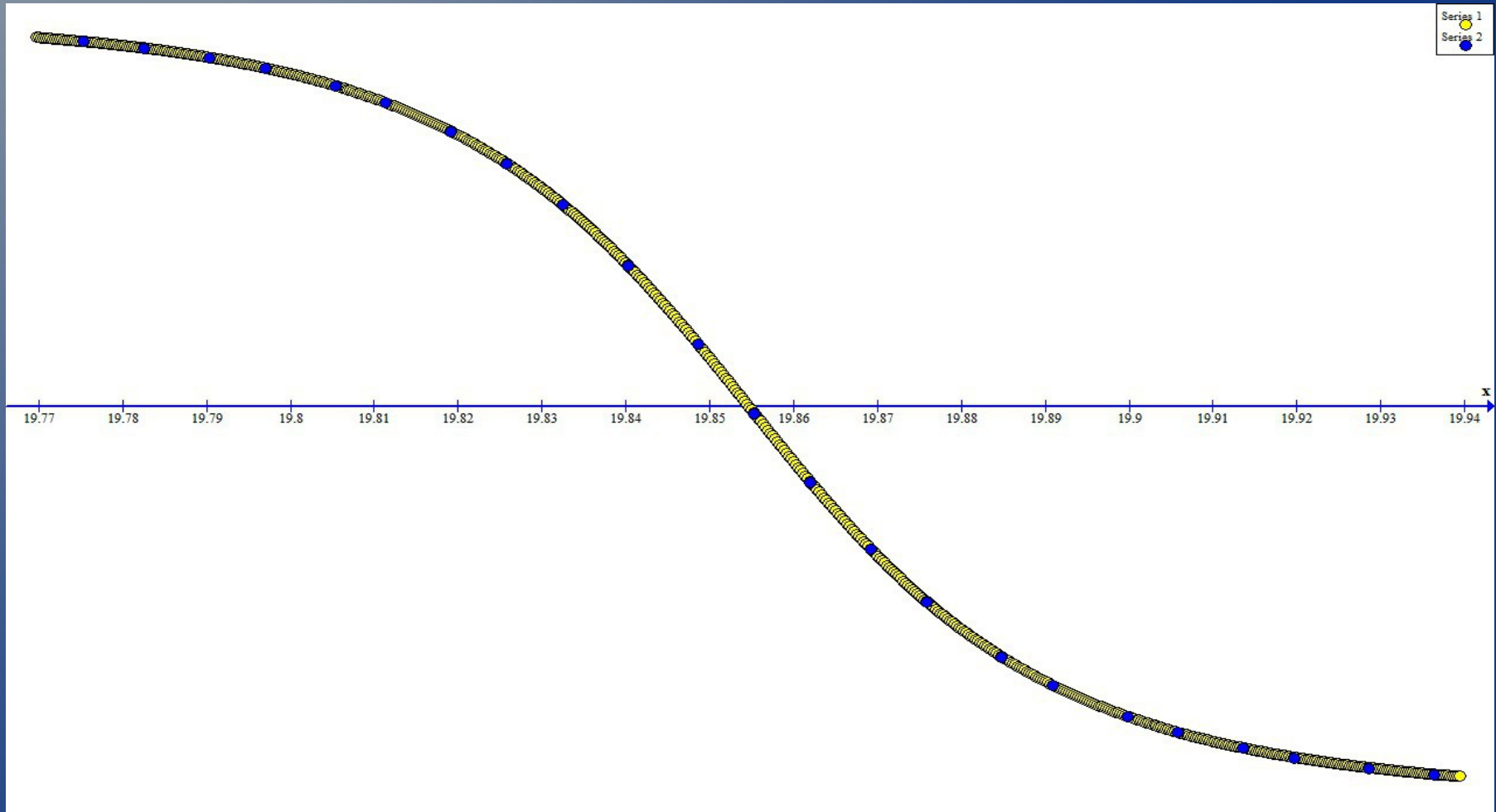
Satellieten identificeren

Methode

- Radiosignalen van de satellieten gebruiken
- Opkomst- en ondergangstijden van de satellieten vergelijken met berekende waarden aan de hand van metingen aan de downlinksignalen ---> onnauwkeurig
- Beter: gemeten doppler-curve van de ontvangen signalen van de satelliet vergelijken met de berekende doppler-curve

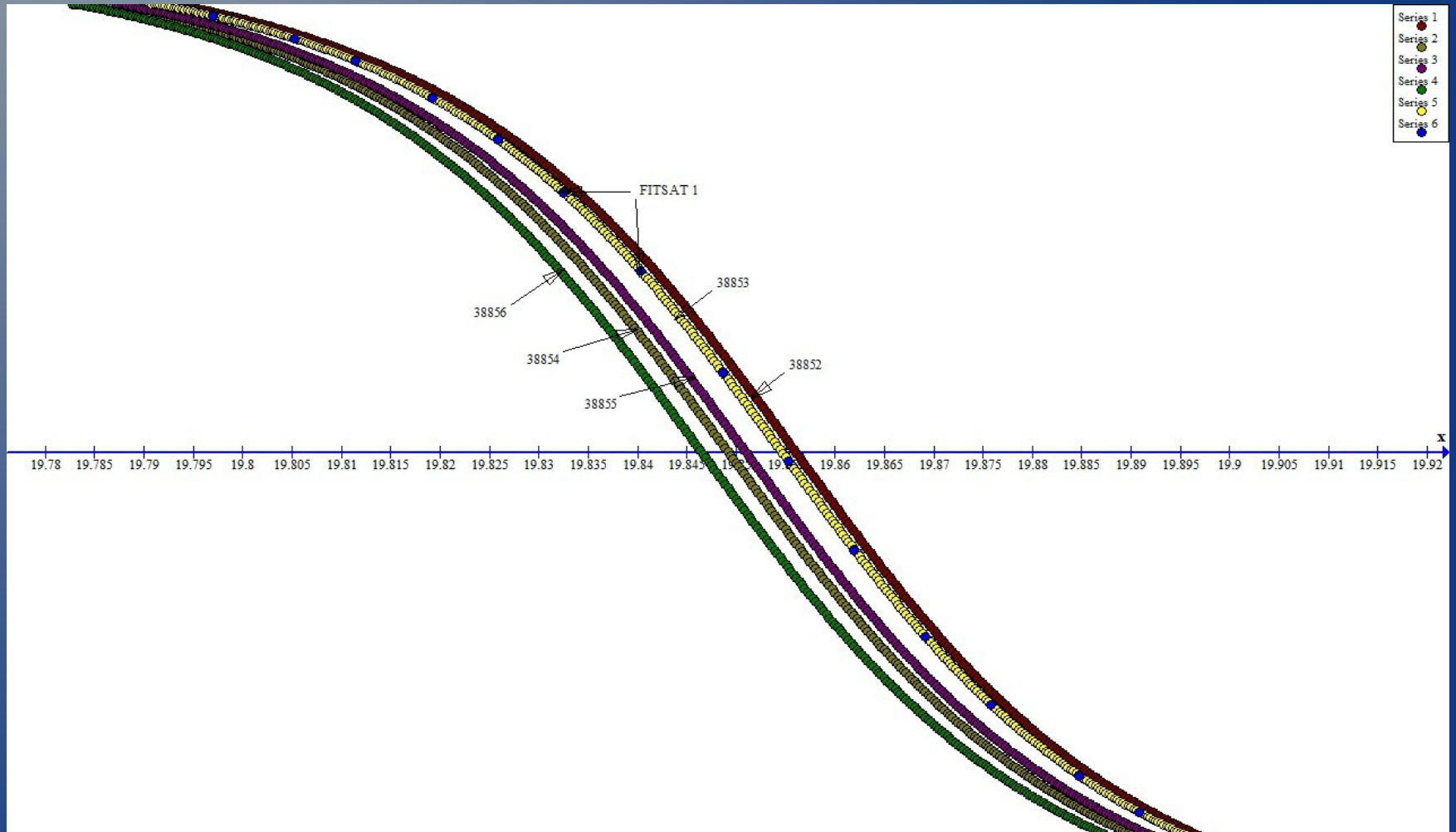
Satellieten identificeren

FITSAT 1



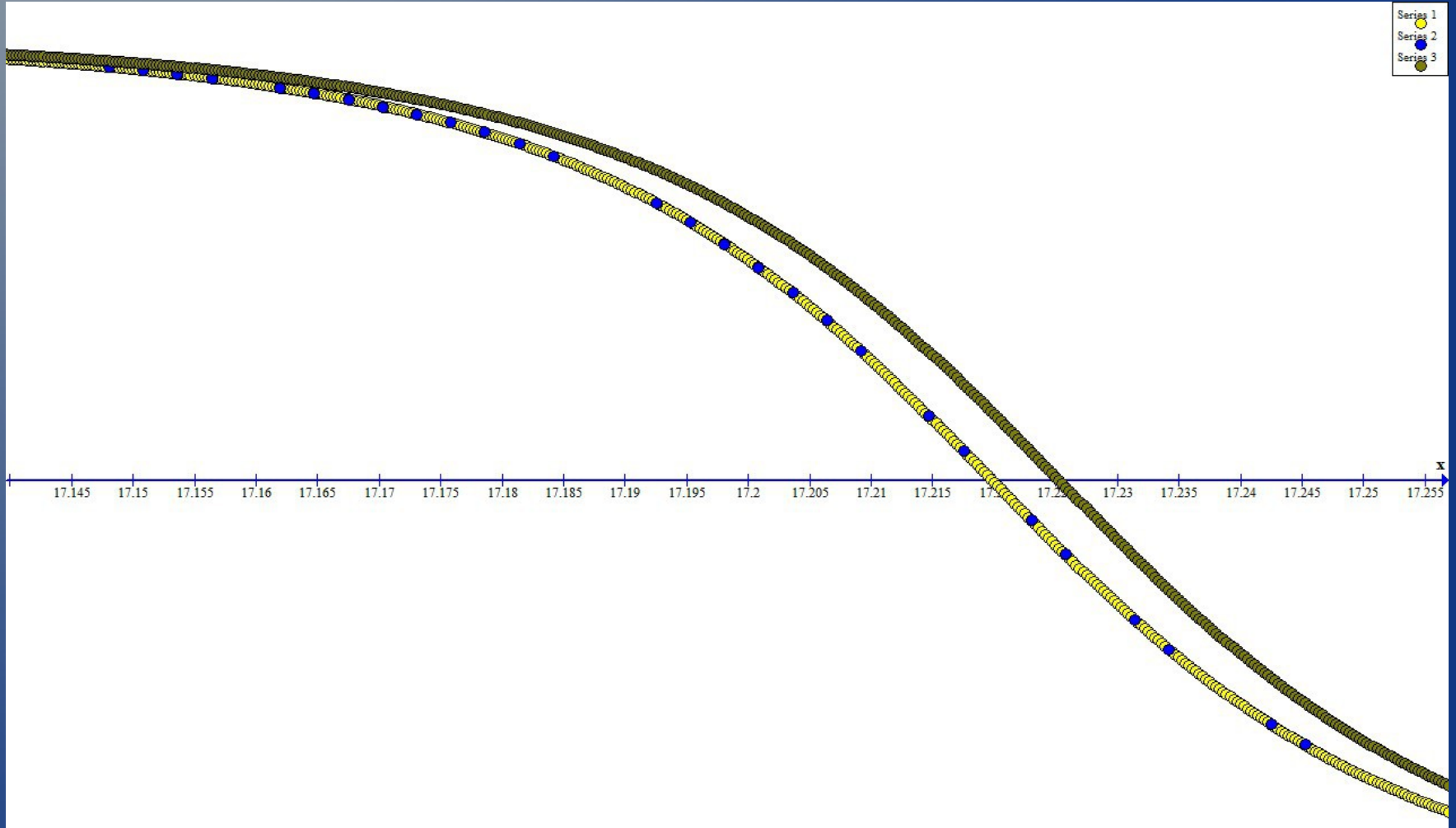
Satellieten identificeren

FITSAT 1, vergeleken met andere objecten



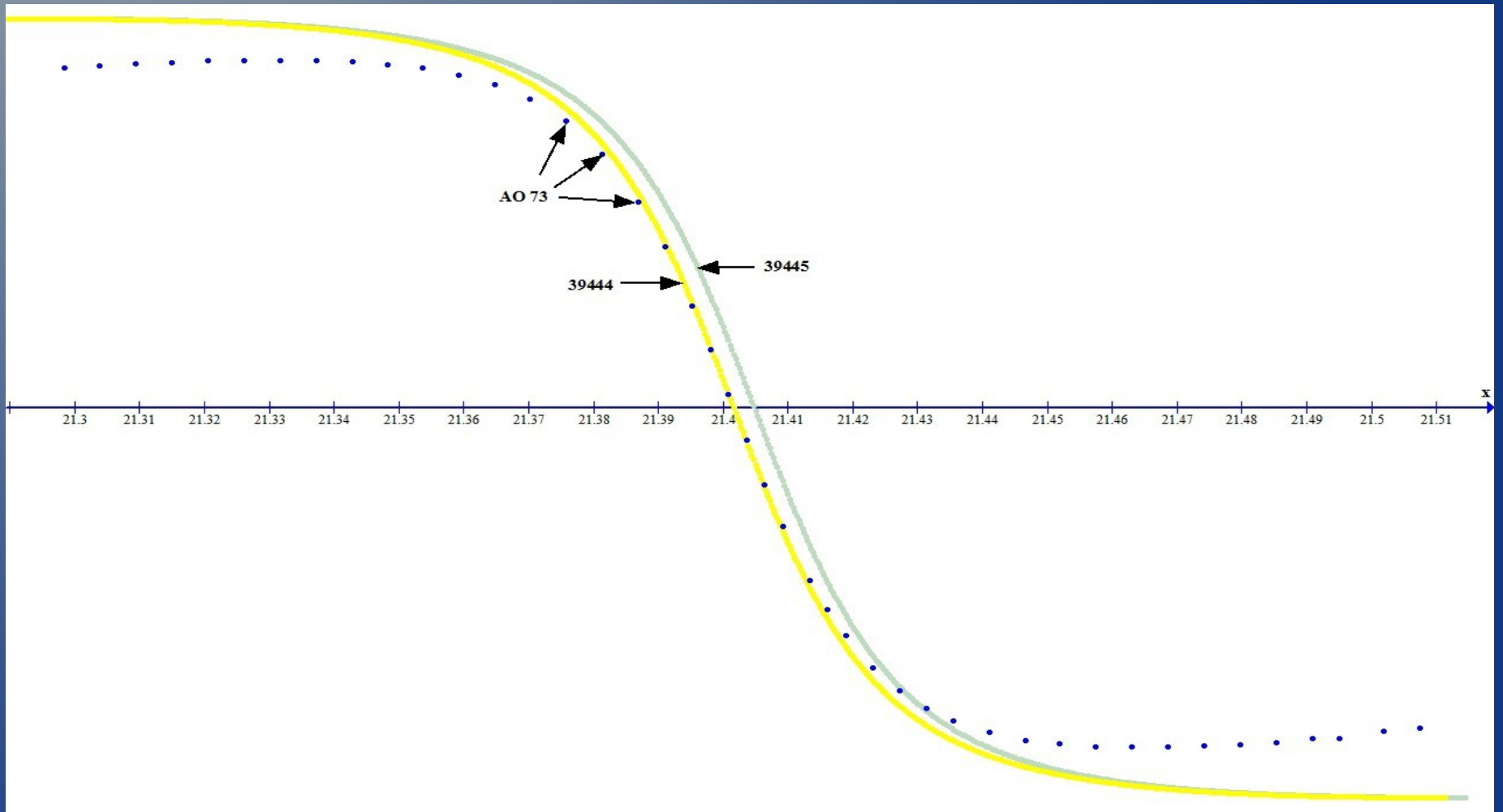
Satellieten identificeren

TechEdSat



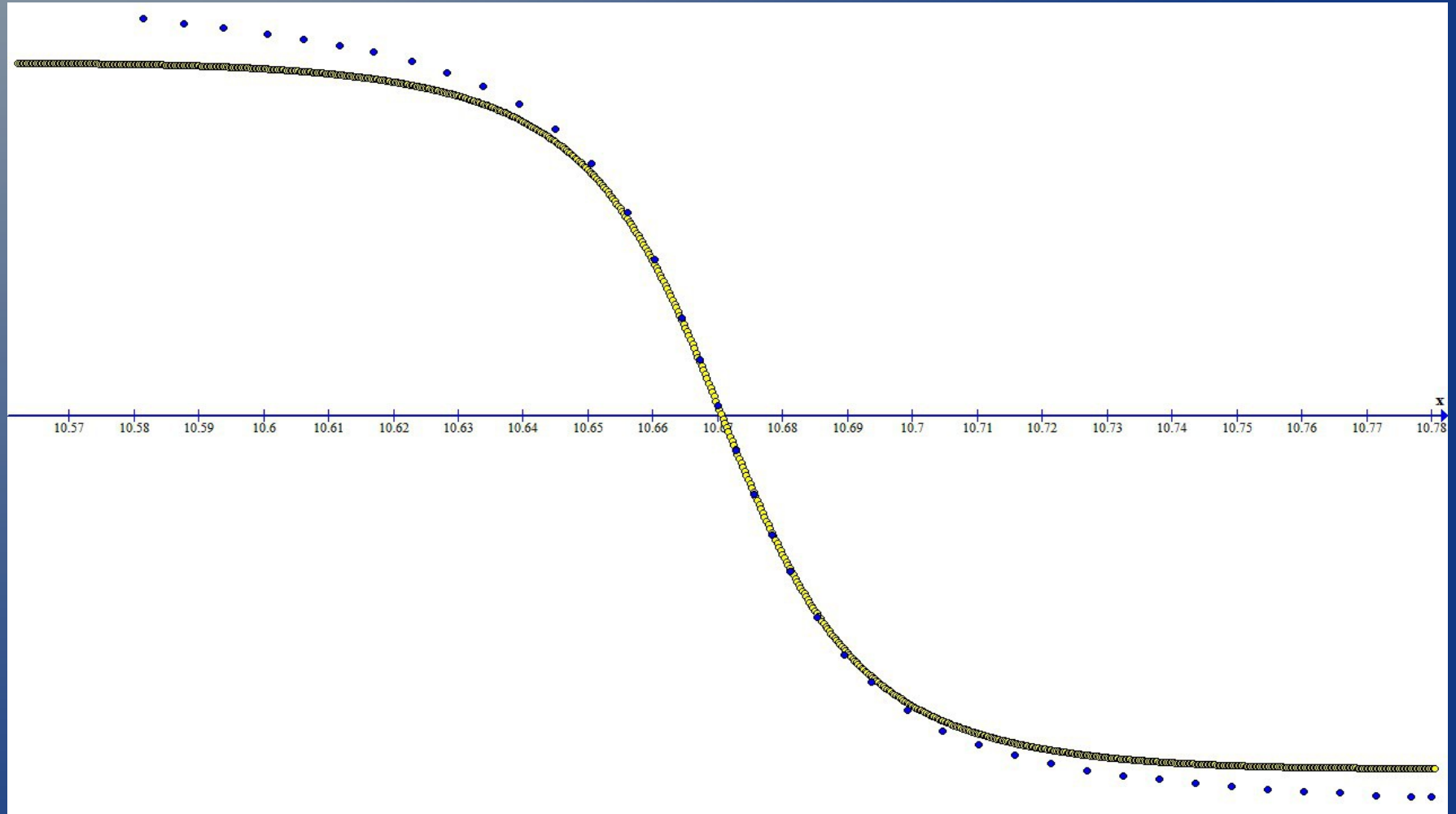
Satellieten identificeren

AMSAT-OSCAR 73



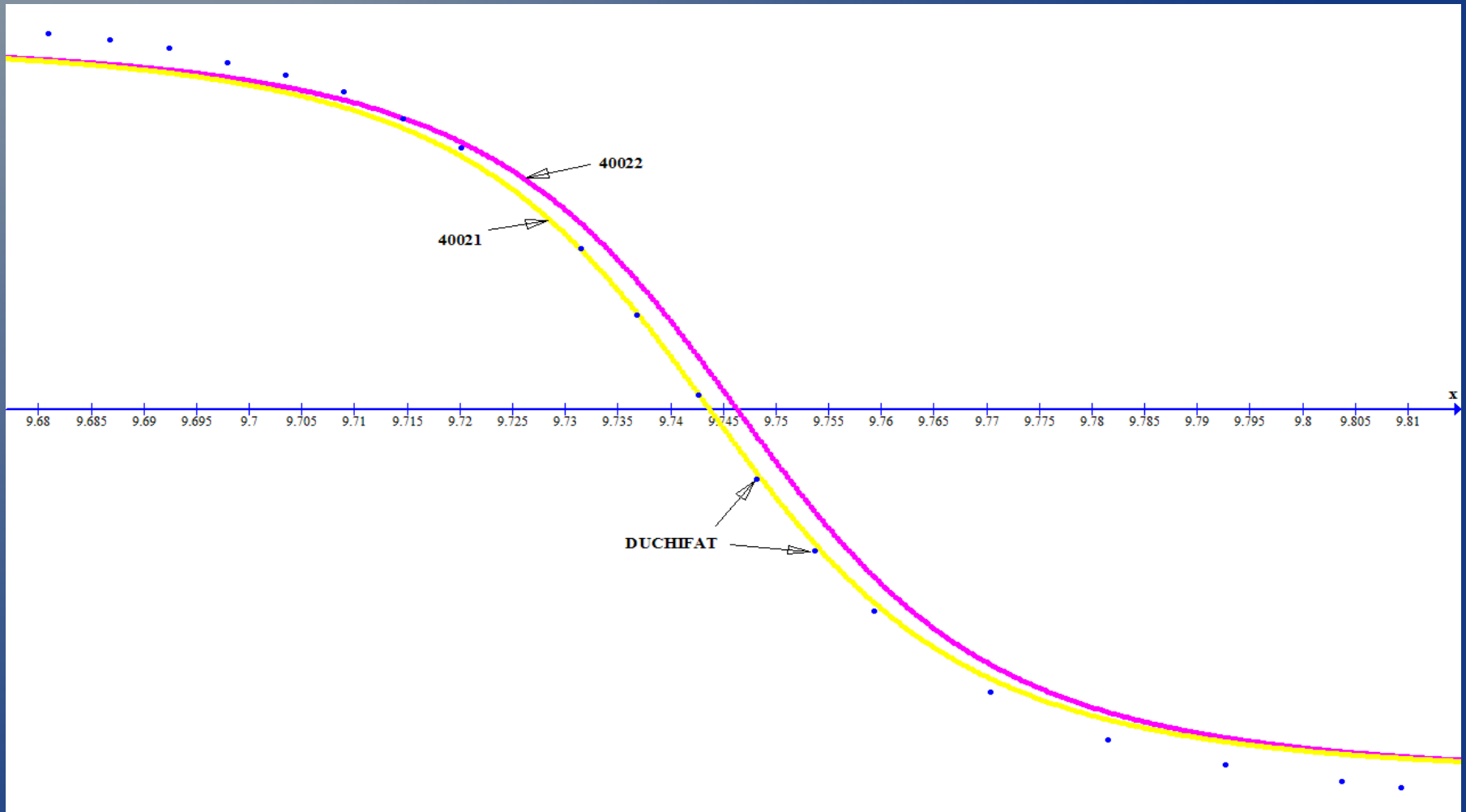
Satellieten identificeren

Delfi-n3Xt



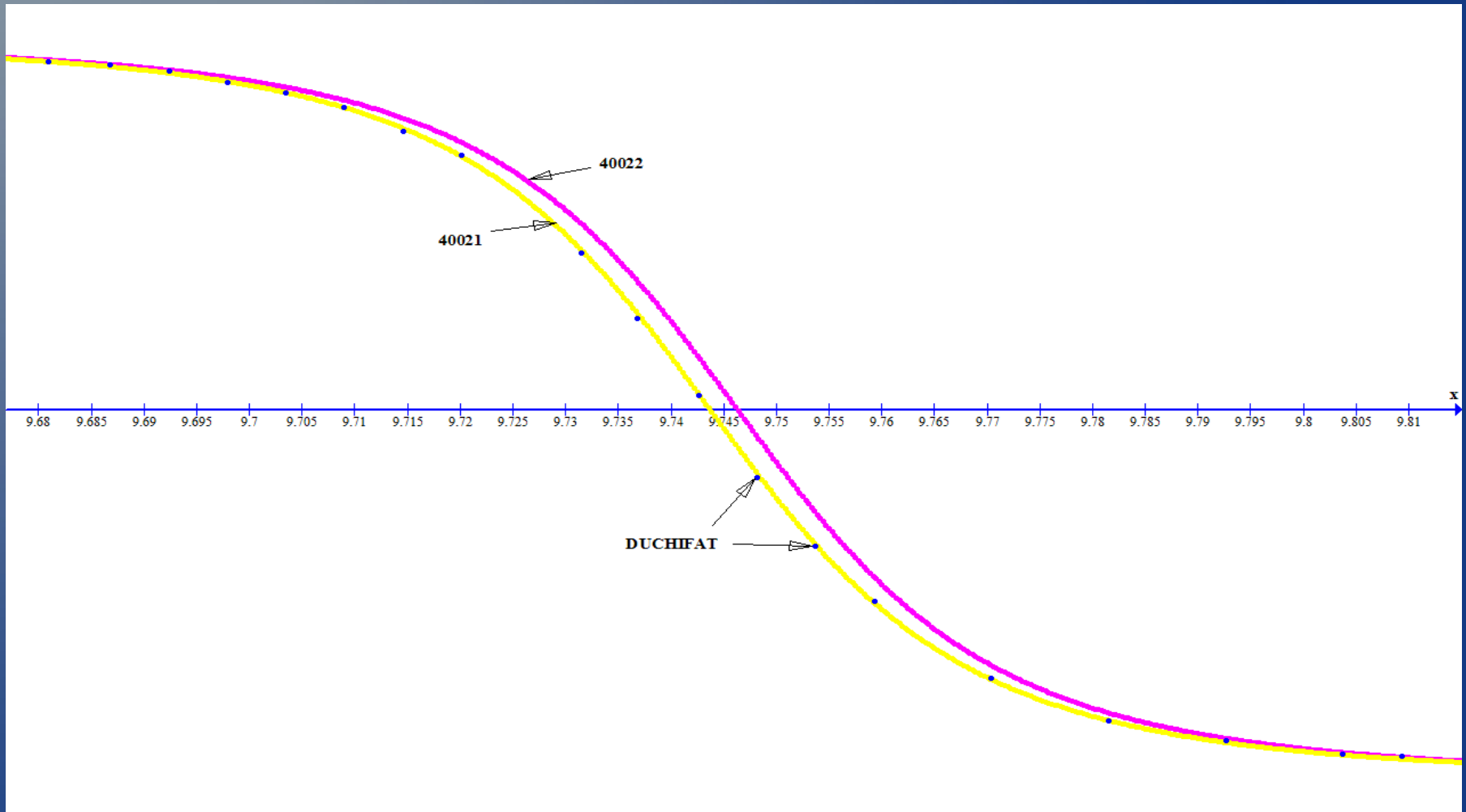
Satellieten identificeren

Duchifat 1



Satellieten identificeren

Duchifat 1, met temperatuurdrift-correctie



Satellieten identificeren

Alternatieve methode

Wanneer de satelliet downlink breedbandig is (b.v. 9600 Baud), dan de satelliet tracken met automatische dopplershiftcorrectie en dan kijken of de frequentie stabiel blijft

Nadeel: is minder nauwkeurig

Nauwkeurigheid van TLE controleren

Methode

- Tijdverschil tussen gemeten en berekende doppler curve bepalen
- Kijken of gemeten en berekende doppler curve, nadat eventueel tijdverschil is gecorrigeerd, goed samenvallen

Dit werkt alleen als de frequentie van de downlink signalen stabiel is

Zelf TLE van satelliet bepalen

Methode

- Enkele doppler curves meten
- TLE parameters berekenen met behulp van geschikte software

Dit werkt alleen als de frequentie van de downlink signalen stabiel is

Optische waarnemingen

Methode

- Nauwkeurig een aantal posities van de satelliet ten opzichte van de sterrenhemel opmeten op nauwkeurig bepaalde tijdstippen
- TLE parameters berekenen met behulp van geschikte software
of
Verschillen bepalen ten opzichte van berekende baan, die berekend is met beschikbare TLE set
- Kan worden uitgevoerd 'op het oog' of m.b.v. een kijker (telescoop), fotocamera of videocamera

Optische waarnemingen

Voordelen

- Zeer nauwkeurig
- Ook bruikbaar als de satelliet geen radiosignalen uitzendt
- Bruikbaar voor alle satellieten in alle soorten banen
- De enig bruikbare methode voor het tracken van satellieten in zeer hoge banen, b.v. geostationaire banen

Optische waarnemingen

Nadelen

- Alleen toe te passen bij onbewolkte hemel en goed zicht
- Alleen toe te passen wanneer de satelliet in de zon zit en de waarnemer in het donker

Optische waarnemingen

Spionnagesatelliet



Radarwaarnemingen

Voordelen

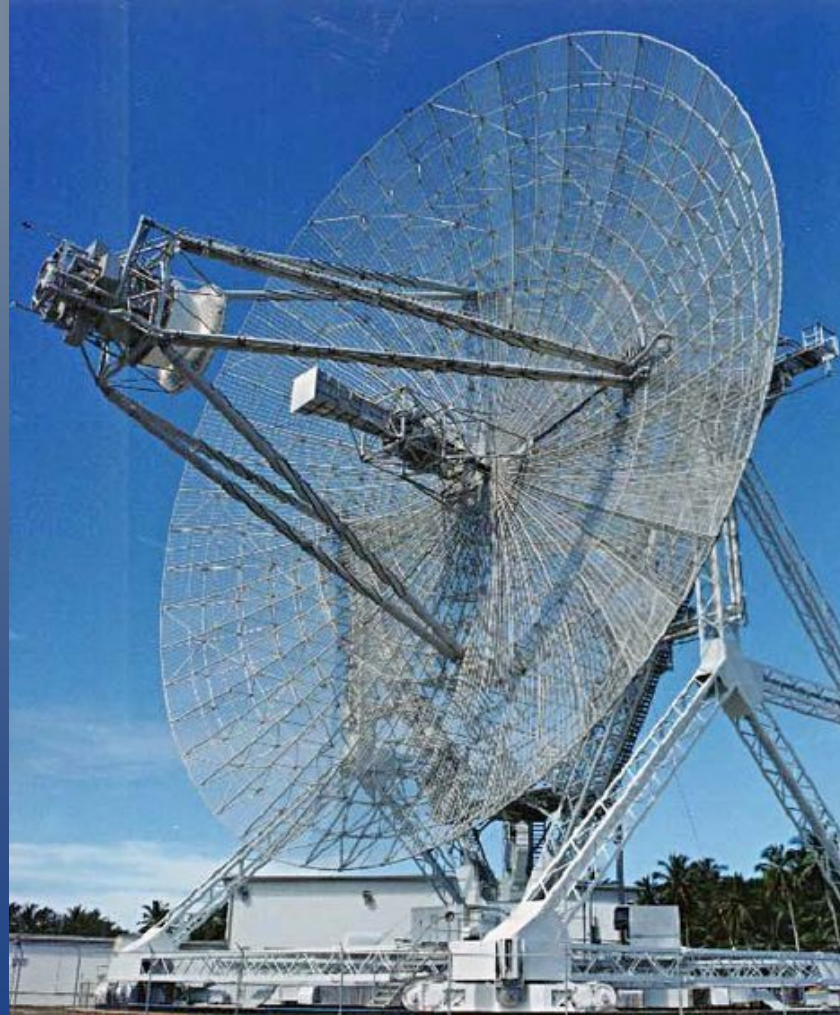
- Onder alle weersomstandigheden te gebruiken
- Ook bruikbaar als de satelliet geen radiosignalen uitzendt

Nadelen

- Alleen bruikbaar voor satellieten in lagere banen
- Vereist ingewikkelde en dure infrastructuur

Radarwaarnemingen

Mogelijkheden voor amateurs?



Passieve radar

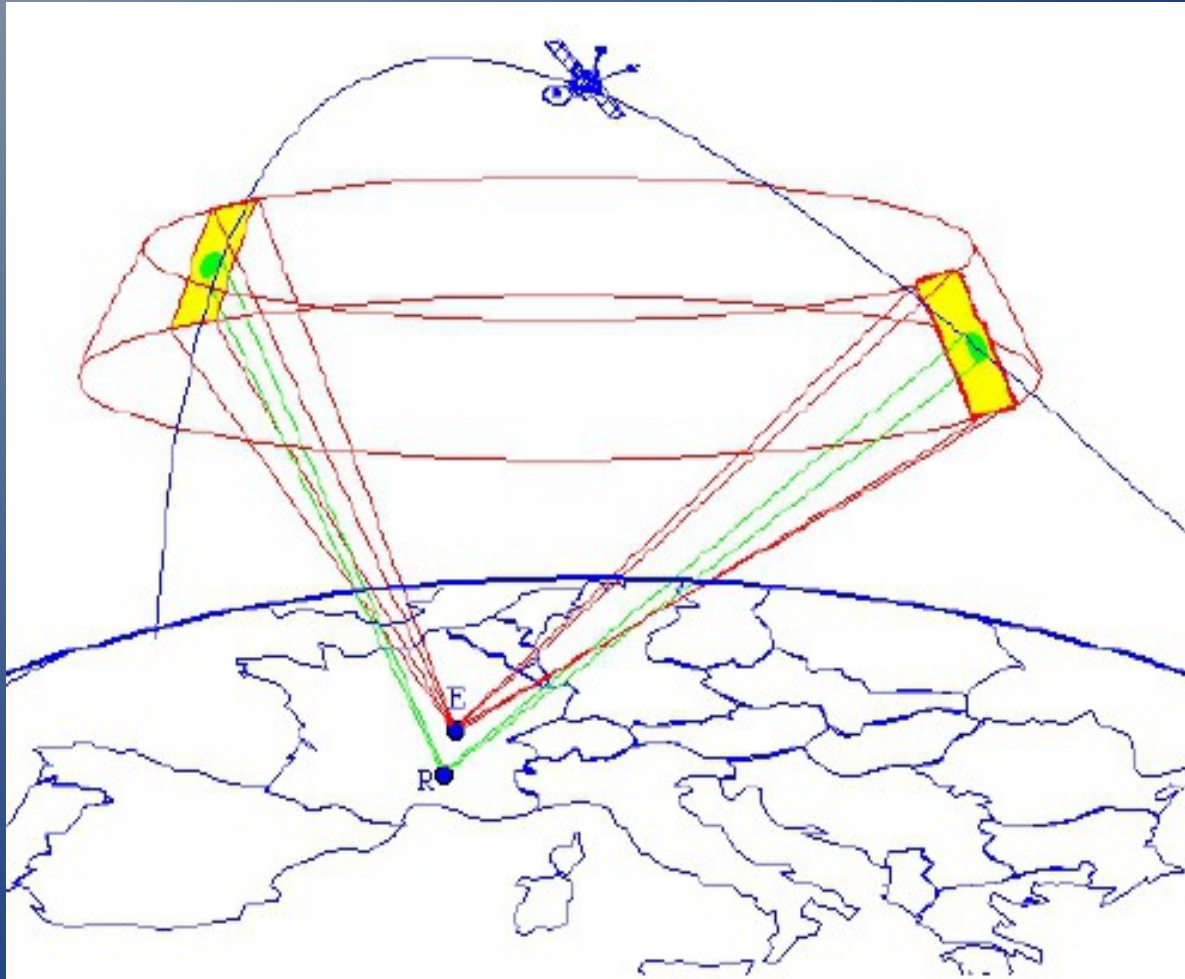
“Meeliften” met een bestaande radar

- Alleen een ontvangststation nodig
- B.v. gebruik maken van de reflecties afkomstig van satellieten, die 'belicht' worden door de Franse Space Surveillance radar GRAVES op 143,050 MHz
- Gebruik maken van de timing van de reflecties en/of van de doppler curve



GRAVES radar

Satelliet detectie



GRAVES radar

Zender



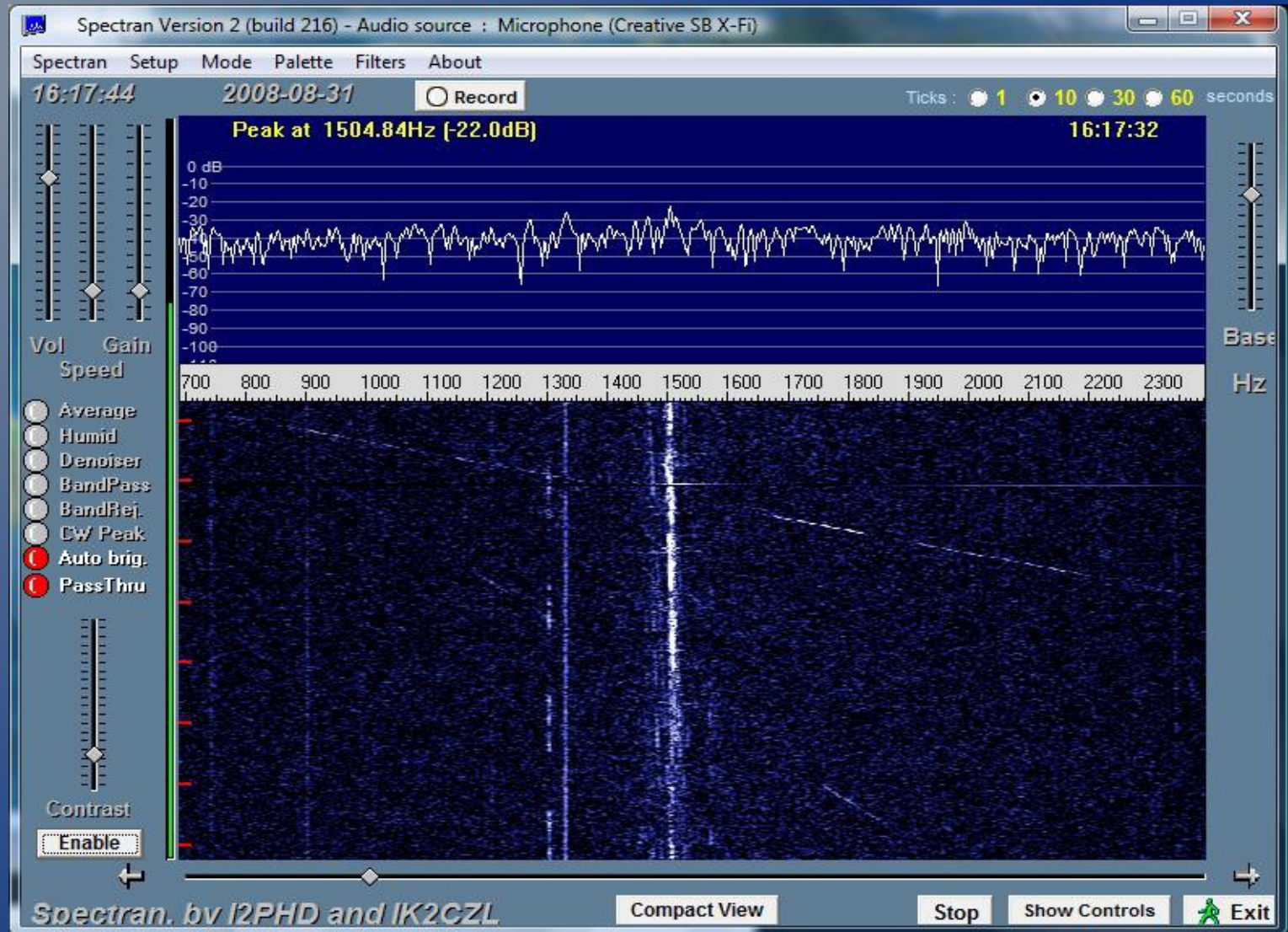
GRAVES radar

Ontvanger



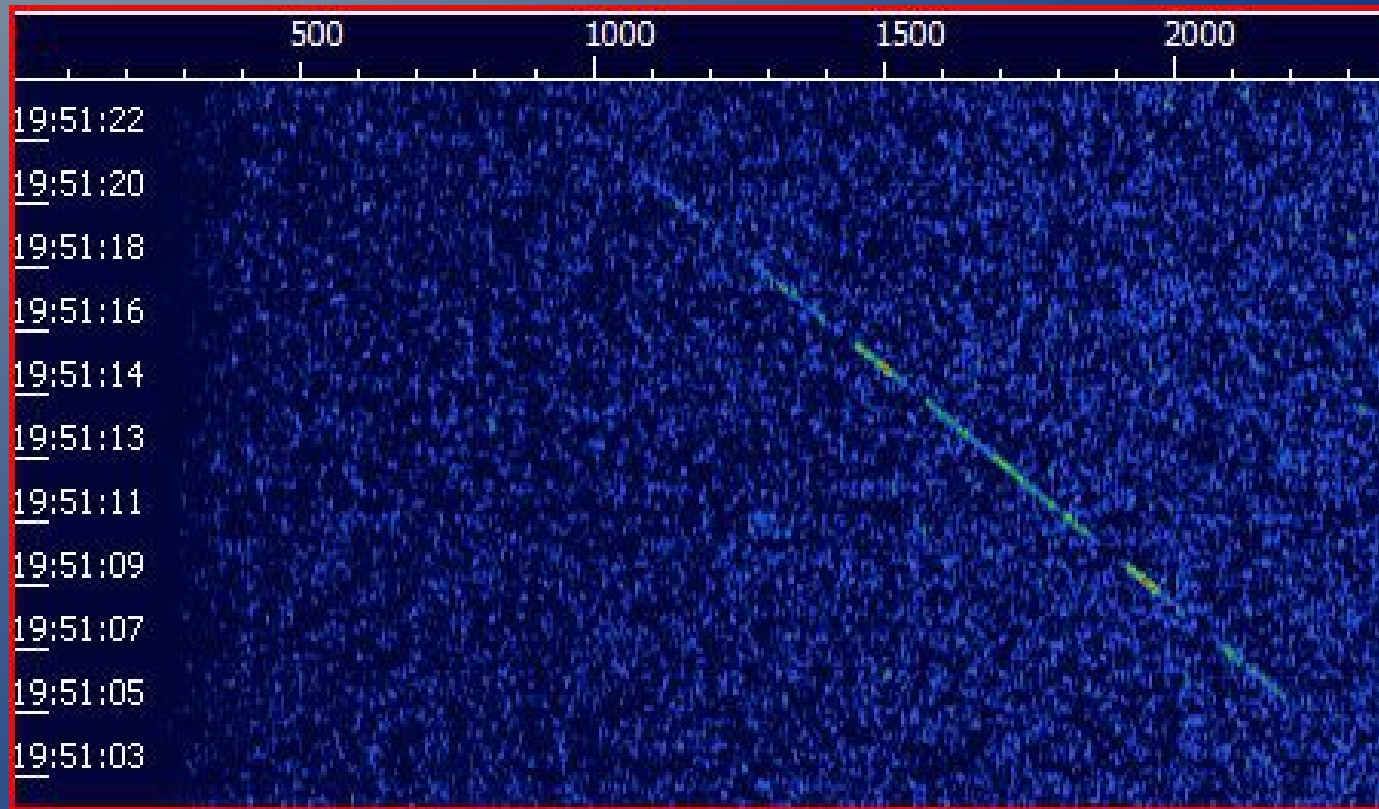
GRAVES radar

Detectie:
Vliegtuigen
Satellieten
Maan
Meteoren



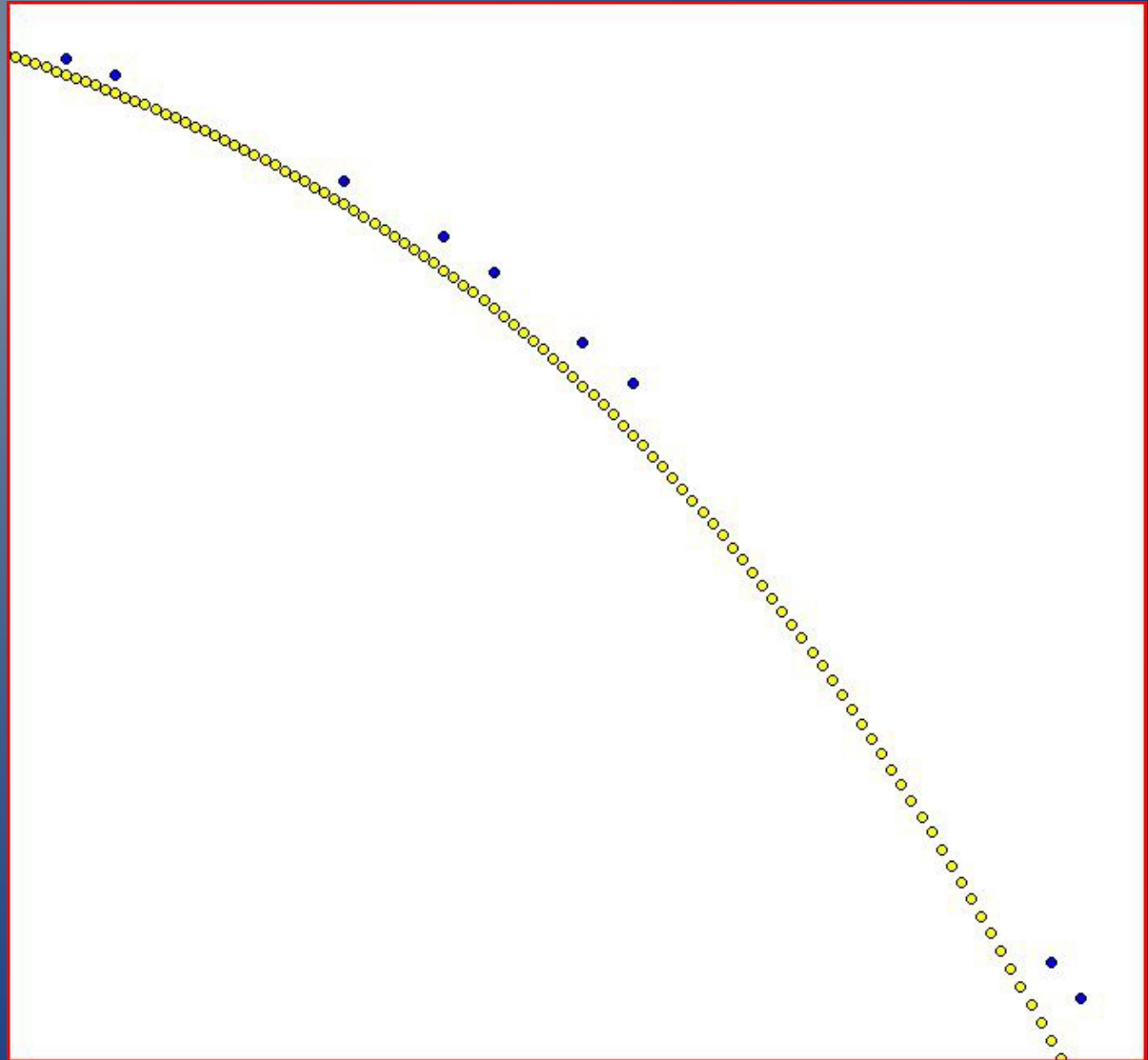
GRAVES radar

Detectie satelliet



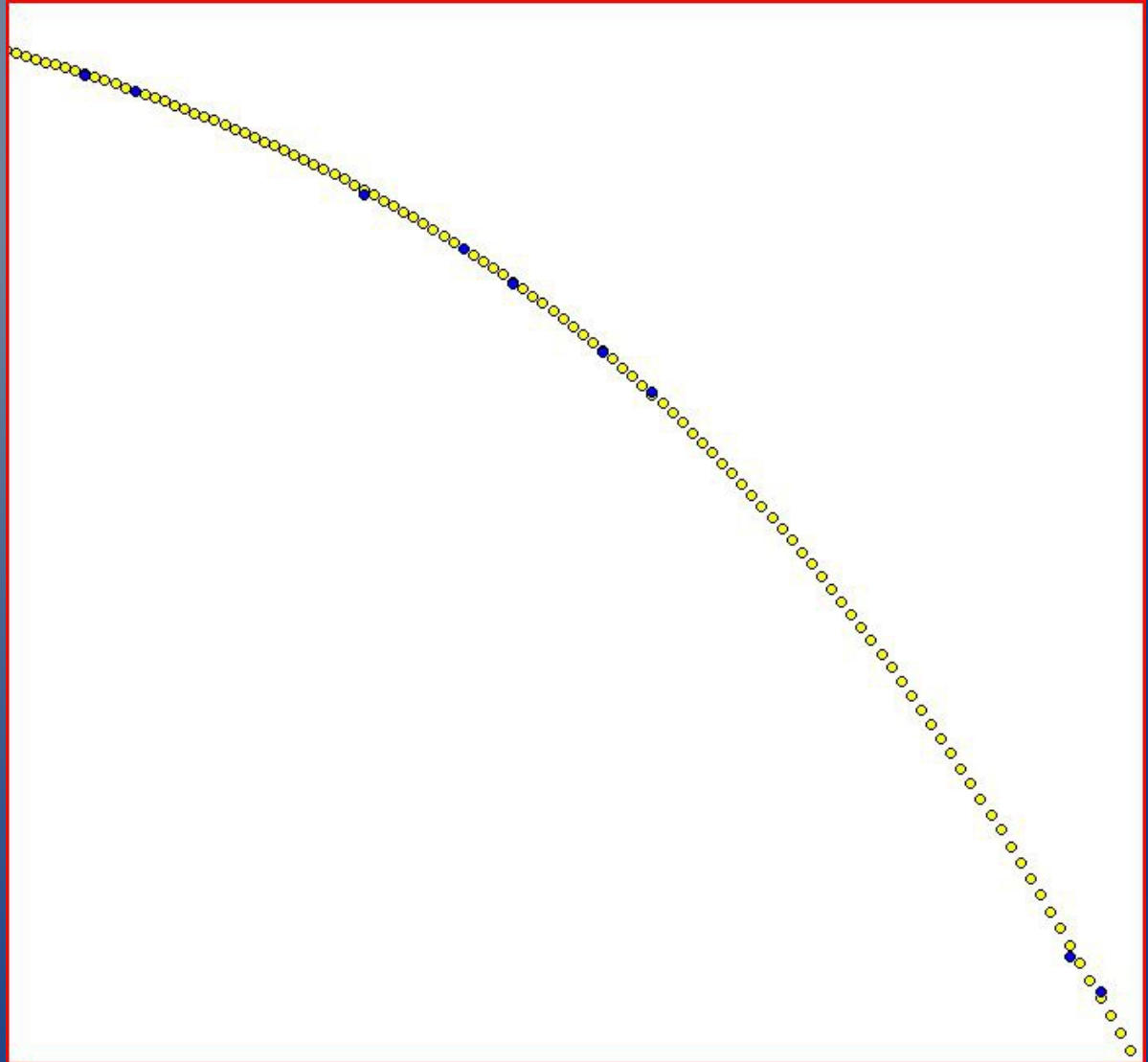
GRAVES radar

Plotten in
grafieken



GRAVES radar

Na tijdcorrectie



GRAVES radar

Mogelijkheden

- Nu: afwijkingen van beschikbare TLE sets bepalen
- Toekomst: ook zelf baanparameters bepalen uit gemeten dopplercurves

ESA space radars

Plannen

- Test radars in Spanje en noordwest Frankrijk
- Operationele radar, waarschijnlijk in noord Spanje

Mogelijke

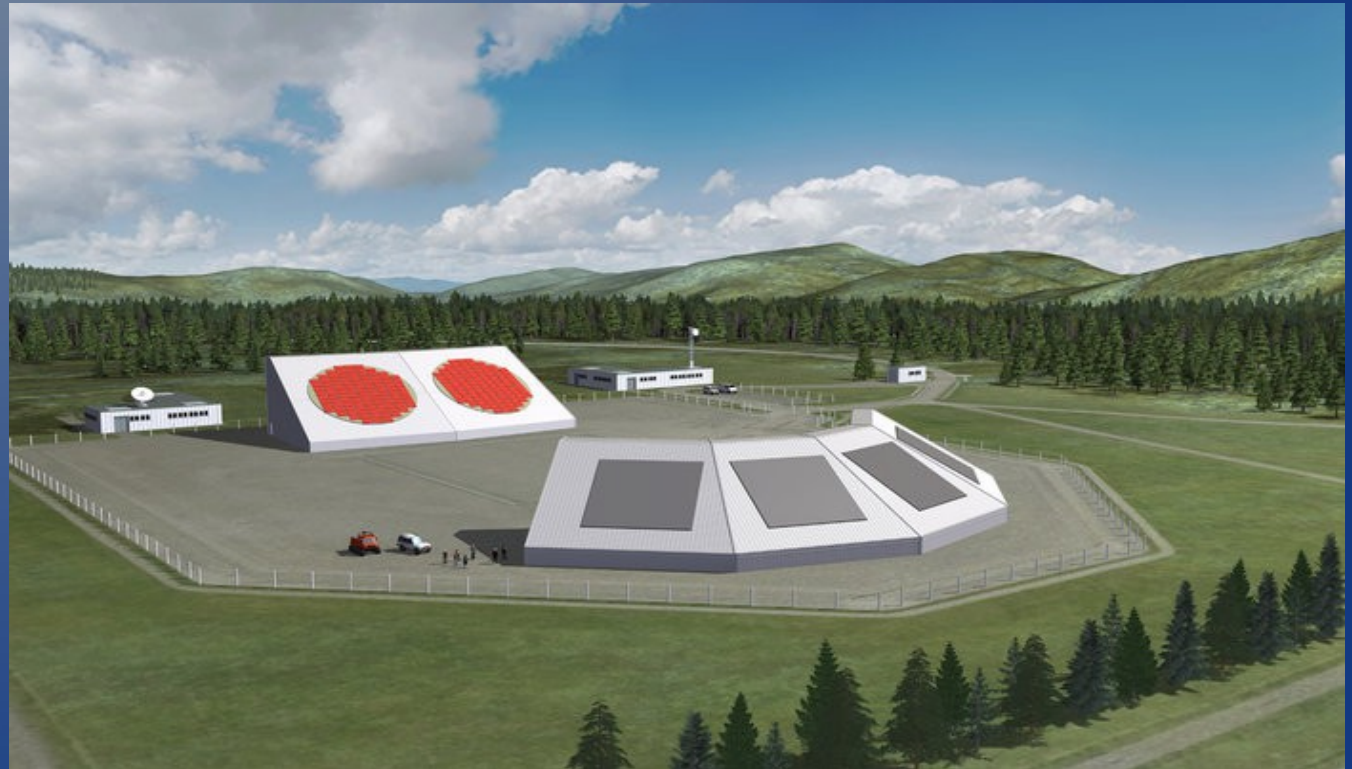
frequentie:

435 MHz (!)

1250 MHz

3085 MHz

3200 MHz



Decay van satellieten

Programma's voor het bepalen van het tijdstip waarop een satelliet zal verbranden in de atmosfeer

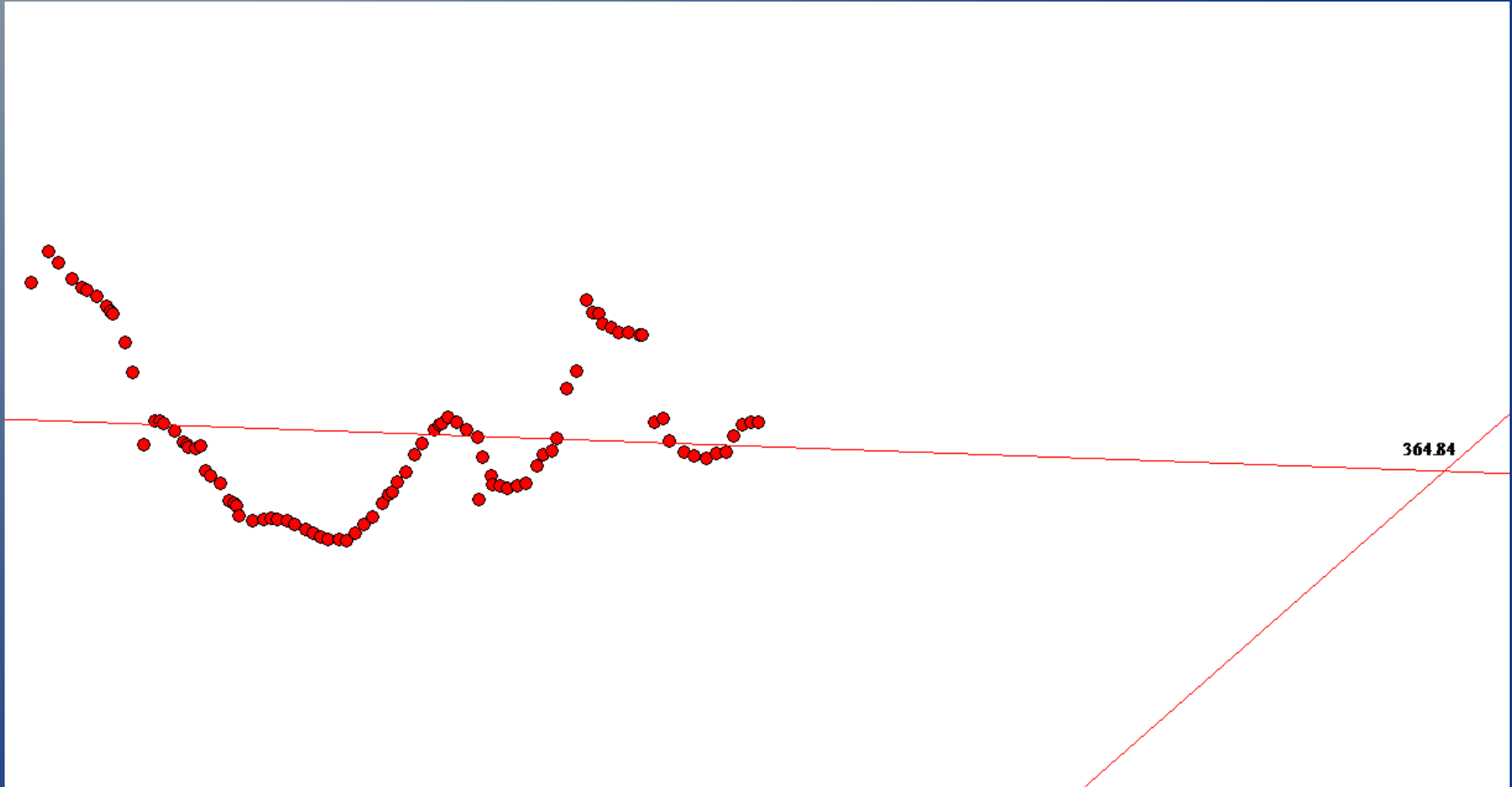
- SatEvo
- STOAG

Werkwijze met SatEvo

- Verzamel een reeks TLE sets voor de satelliet
- Bereken de decay datum per TLE set met SatEvo
- Plot alle decay data in een grafiek
- Bepaal de uiteindelijke decay datum/tijd

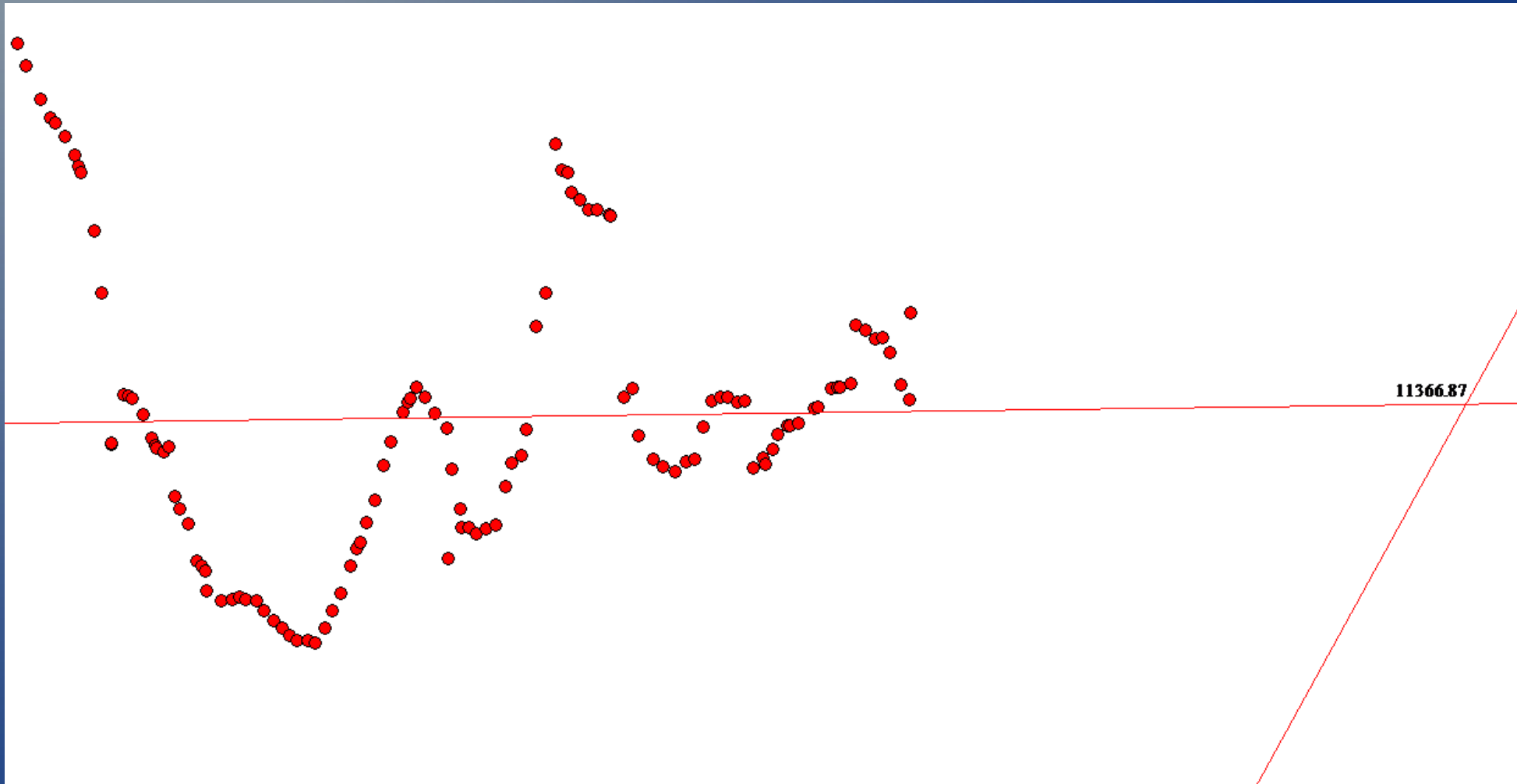
Decay van ARISSat 1

2011-12-04



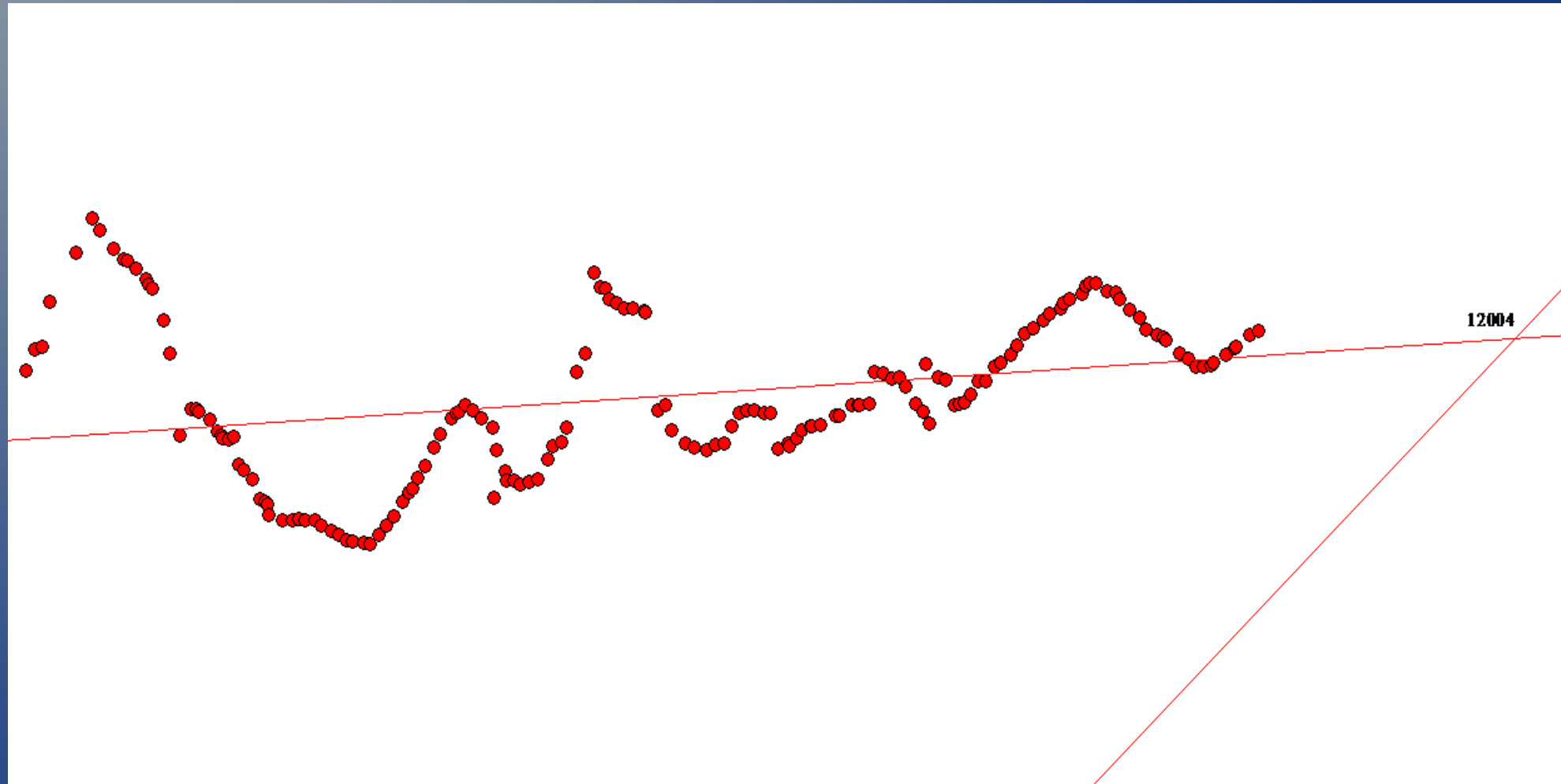
Decay van ARISSat 1

2011-12-11



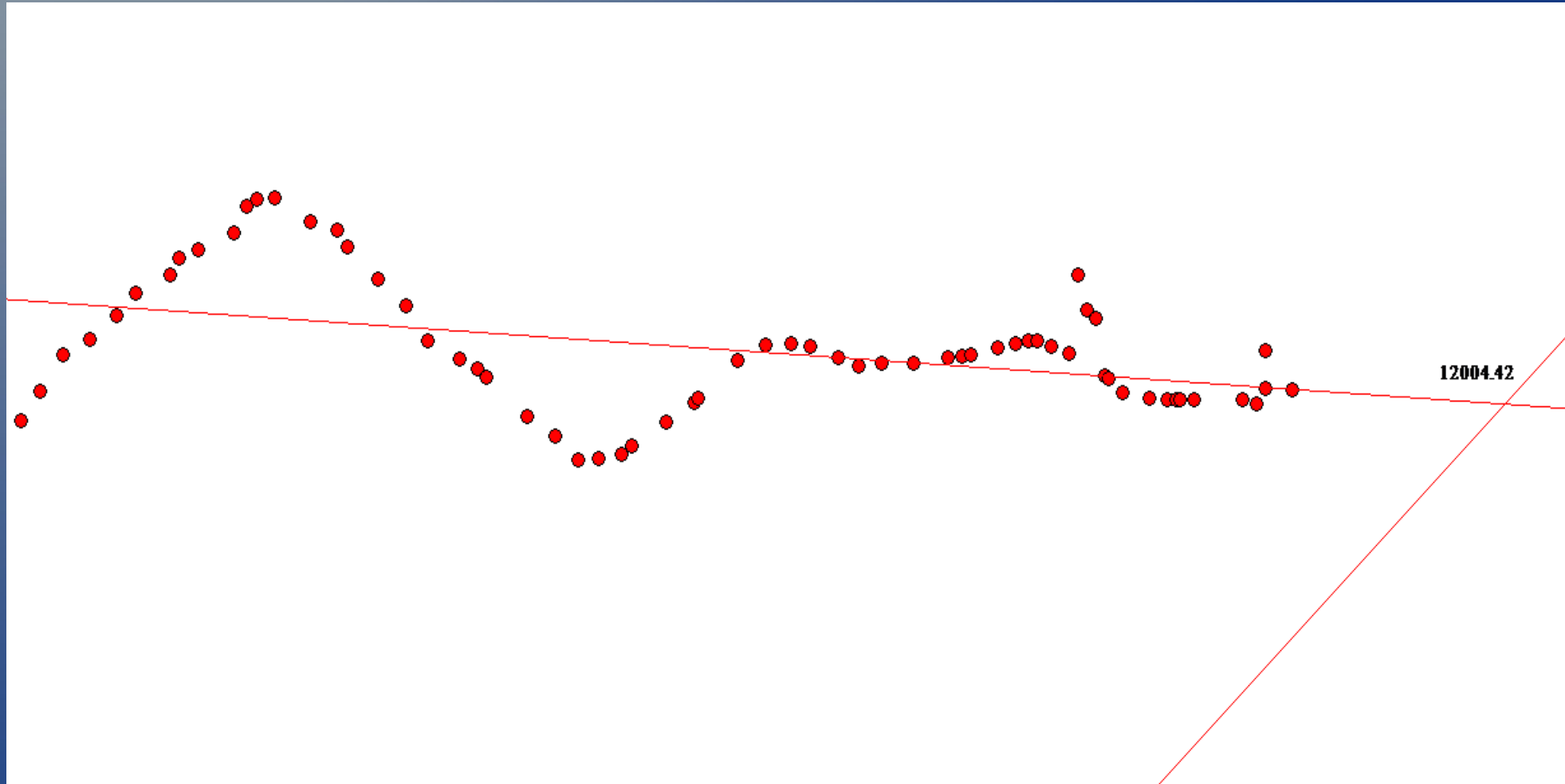
Decay van ARISSat 1

2011-12-25



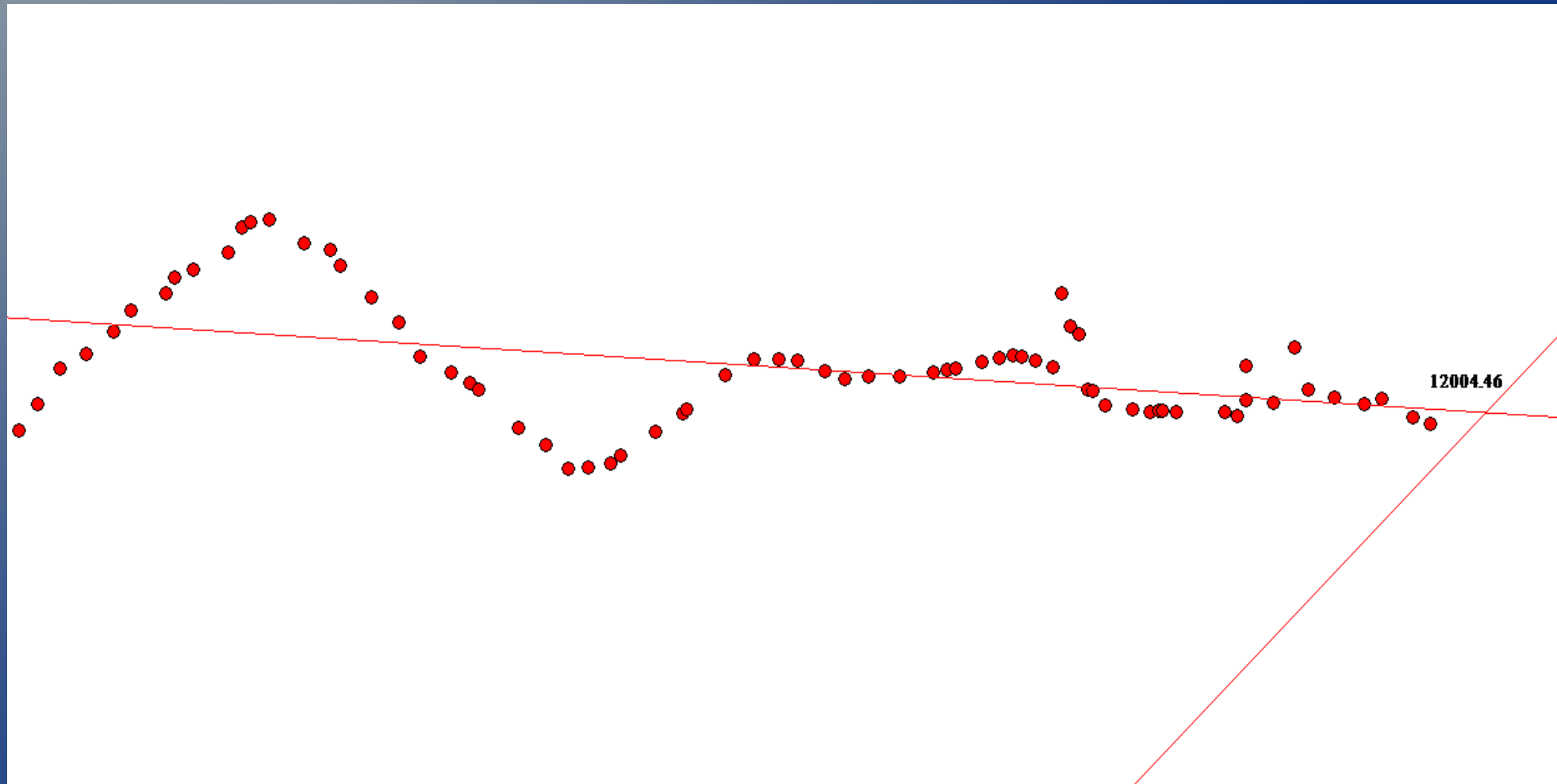
Decay van ARISSat 1

2012-01-01



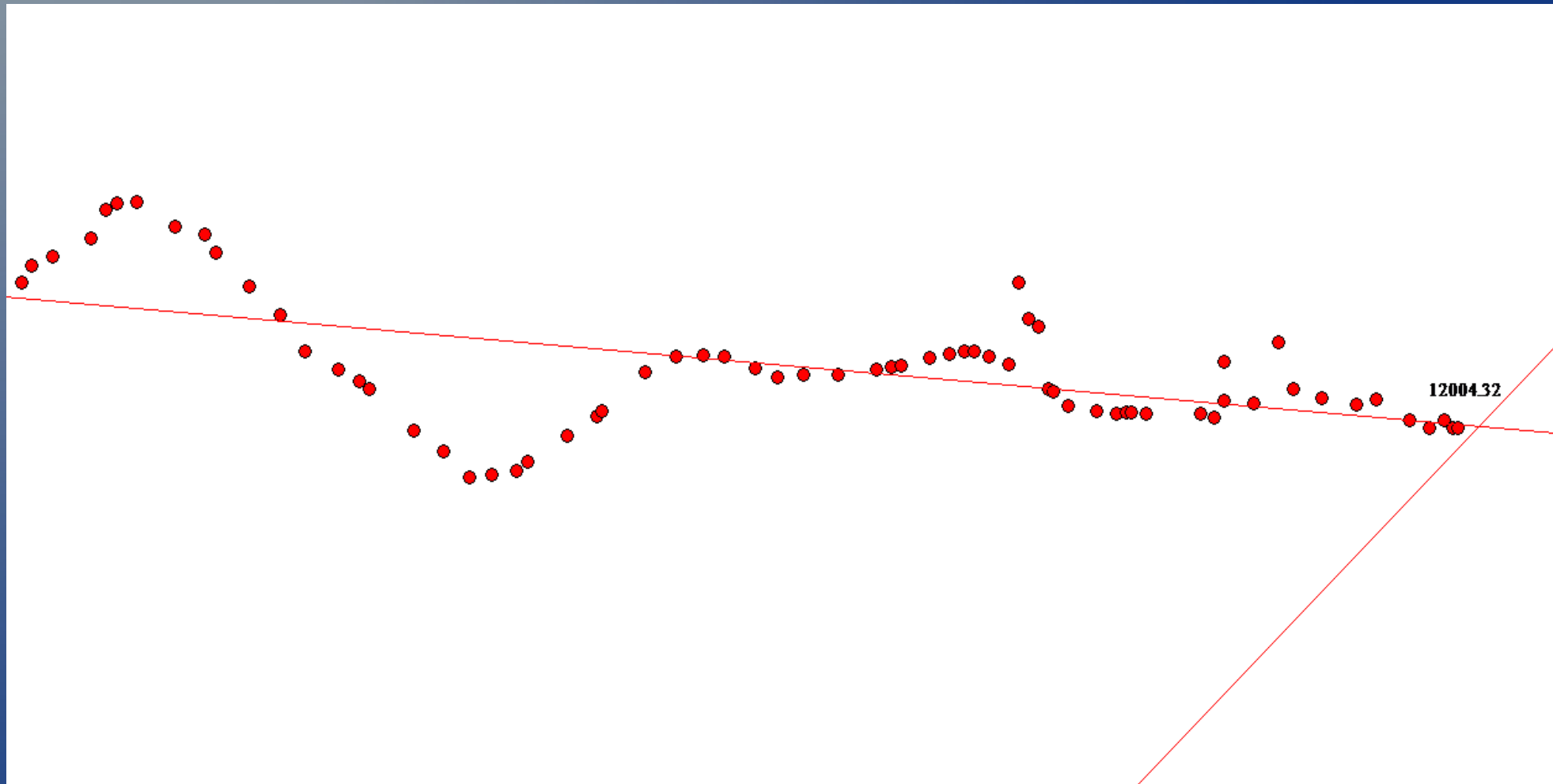
Decay van ARISSat 1

2012-01-03



Decay van ARISSat 1

2012-01-04



Bedankt voor de aandacht

Vragen ?