

**Rapport KDC-studie:
New applications of Downlink Airborne Parameters**

31 januari 2014



Rapportinformatie

Colofon

Rapport	14-RA-001
Versie	1.0
Datum	31 januari 2014
Titel	New applications of Downlink Airborne Parameters
Opdrachtgever	Knowledge & Development Centre (KDC) Mainport Schiphol
Opdrachtnemer	MovingDot, NLR
Projectteam	MovingDot: Michel Koeslag, Tom Verboon, Henk Waltman en Maarten Kruitwagen. NLR: Nico de Gelder, Jürgen Teutsch en Hans van Hintum
Bestandsnaam	Rapport New applications of DAP v1.0.docx

Documentbeheer

Versie	Datum	Auteur	Pagina	Aanpassingen
0.1	15-11-2013	Koeslag/Verboon	Alle	Structuur document.
0.2	22-11-2013	Van Hintum	6-39	Toevoeging technische analyse.
0.3	05-12-2013	Verboon	4	Voorlopige samenvatting.
0.4	06-12-2013	Van Hintum	6-39	Review technische analyse.
0.5	03-01-2014	Verboon	Alle	Invulling Hoofdstuk 2 en 3.
0.6	20-01-2014	Verboon/Teutsch/Lap	Alle	Invulling Hoofdstuk 1, 4 en 5. Update Hoofdstuk 2 en 3.
0.7	29-01-2014	Verboon/Koeslag/Lap	Alle	Verwerken eerste reviews.
0.8	30-01-2014	Verboon	Alle	Completeren document.
0.9	31-01-2014	Verboon	Alle	Verwerken tweede reviews.
1.0	31-01-2014	Verboon	Alle	Final review projectleider.

Inhoudsopgave

Rapportinformatie.....	1
1 Inleiding.....	3
1.1 Achtergrond	3
1.2 Projectdoel	3
1.3 Aanpak.....	4
1.4 Leeswijzer	4
2 Kansrijke applicaties Downlink Airborne Parameters	5
2.1 Overzicht resultaten	5
2.2 Belangrijkste conclusies.....	6
2.3 Aanbevelingen	7
3 Operationele aspecten.....	8
3.1 Area Control	8
3.2 Approach.....	10
3.3 Tower	12
3.4 Systemen	13
4 Technische analyse	15
4.1 Mode S capabilities vliegtuigen Schiphol	15
4.2 Mode S datakwaliteit	19
4.3 Conclusies technische analyse	21
5 Standaarden en regelgeving	22
5.1 Mode S transponder	22
5.2 Downlink of Airborne Parameters.....	23
Bijlage 1 Overzicht van DAPs	25
Bijlage 2 Interne Integriteit Barometrische Hoogte.....	27
Bijlage 3 Interne Integriteit Track Angle Rate.....	31
Bijlage 4 Correlatie Vertical Rate	35
Bijlage 5 Correlatie Snelheid in X-Richting	39
Bijlage 6 Correlatie Snelheid in Y-Richting	43
Bijlage 7 Correlatie True Track Angle.....	47
Bijlage 8 Correlatie True Airspeed, Roll Angle, Track Angle	51
Bijlage 9 Correlatie Track Angle Rate.....	55
Bijlage 10 Referenties	59

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

In het Nederlands luchtruim is het boven FL245 voor vliegtuigen verplicht om met een Mode S Enhanced Surveillance (EHS) transponder uitgerust te zijn. Een Mode S EHS transponder kan op verzoek van een secundaire radar specifieke parameters vanuit het vliegtuig naar de grond sturen. Deze parameters worden aangeduid als Downlink Airborne Parameters, kortweg 'DAP'.

In 2010 onderzocht NLR samen met LVNL, in het kader van een KDC opdracht, hoe de DAPs 'Selected Altitude' (ook wel 'Pilot Selected Level'), 'Indicated Airspeed' en 'Magnetic Heading' aan de verkeersleiders getoond zouden moeten worden opdat ze hun werkzaamheden op efficiënte wijze ondersteunenⁱ. Selected Altitude is de hoogteparameter die de vlieger zelf instelt en ziet op zijn Primary Flight Display. Zodra de vlieger deze parameter heeft ingesteld zal het vliegtuig zich naar deze hoogte begeven. De vlieger voert hierbij de hoogte in zodra hij daarvoor door de verkeersleider is geklaard. Als de ingestelde hoogte afwijkt van de geklaarde hoogte, kan de verkeersleider direct ingrijpen om een potentiële level bust te voorkomen. Indicated Airspeed is de snelheid die aan boord van het vliegtuig wordt gemeten. Deze wijkt af van de ground speed welke door de radar wordt afgeleid en getoond aan de verkeersleider. Hierdoor wordt regelmatig de actuele waarde door de verkeersleider opgevraagd via de radiofrequentie. Het downlinken van deze informatie maakt de werkzaamheden efficiënter en de radiofrequentie wordt hiermee minder belast.

Voor LVNL ACC werden deze DAPs in juli 2012 geïntroduceerd, voor APP heeft dit in november 2013 plaatsgevonden. Naast de drie geïmplementeerde DAPs, zijn meer DAPs beschikbaar die mogelijk de LVNL-operatie kunnen verbeteren.

1.2 Projectdoel

In juli 2013 heeft het KDC opdracht geven aan een team van MovingDot en NLR om in een studieproject nieuwe applicaties voor DAPs te onderzoekenⁱⁱ. Het voorliggend document is het eindproduct van dit project.

Het project heeft de volgende doelstellingen, zoals door KDC gedefinieerd:

- Bepaal welke parameters (zoals gedefinieerd door de EC Implementing Rule en uitgebreid door de EASA NPA) kunnen worden verstuurd door vliegtuigen die gebruikmaken van de luchthaven Schiphol. Geeft daarbij aan welk percentage van de vliegtuigen de parameters beschikbaar heeft;
- Valideer de kwaliteit van de data;
- Maak een overzicht van mogelijke toepassingen van de data die veiligheids-, capaciteits- of milieuvoordelen bieden. Voorbeelden van toepassingen zijn bijvoorbeeld: downlink van 'Go-Around Mode', downlink van 'Selected SID', downlink van hoogtemeter setting.

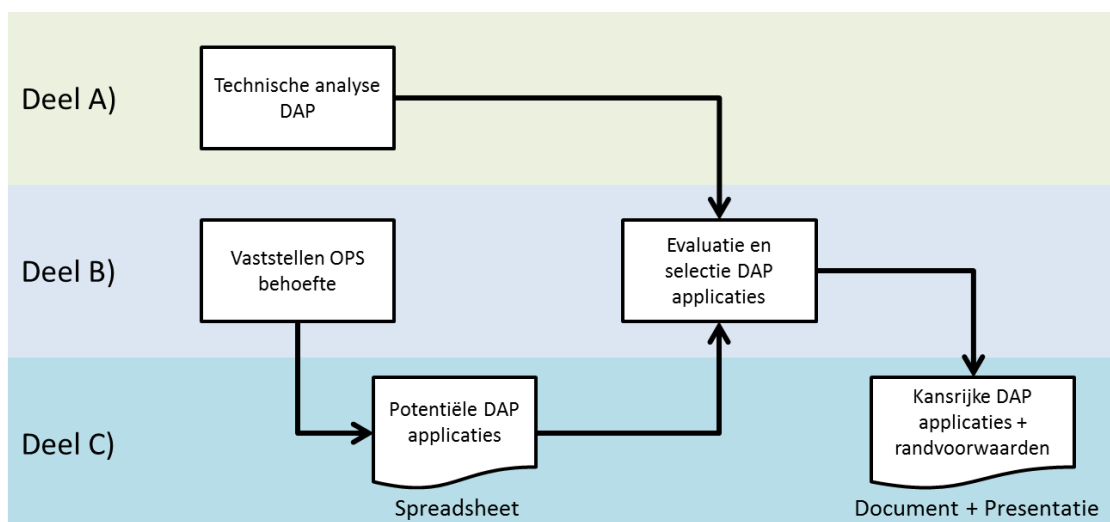
ⁱ De Romeinse cijfers verwijzen naar de referenties in Bijlage 10.

1.3 Aanpak

Om de bovengenoemde resultaten te bereiken zijn de werkzaamheden in drie hoofdgroepen verdeeld:

- A) Technische analyse DAP (NLR)
- B) Operationele toepassingen DAP (MovingDot)
- C) Vastlegging resultaten (MovingDot, NLR)

De in deel A) van de studie uitgevoerde technische analyse van DAP heeft een beeld opgeleverd van de huidige stand van zaken ten aanzien van Mode S EHS en een doorkijk naar de toekomst. Deze technische analyse behelst een review van de regelgeving en kwalitatieve aspecten van de Mode S EHS dataparameters in het Nederlands luchtruim. In deel B) is op basis van operationele behoeftes bij Amsterdam ACC en Schiphol TWR/APP een uitgebreid overzicht gemaakt van mogelijke DAP-applicaties. Daarna zijn in deel C) de resultaten van deel A) en expert judgement van (operationeel) deskundigen gecombineerd om vast te stellen welke DAP-applicaties het meeste potentie bevatten en welke randvoorwaarden daarbij horen. Figuur 1 toont op conceptueel niveau de relaties tussen de verschillende delen van de studie.



Figuur 1 Relaties tussen verschillende onderdelen van de studie

1.4 Leeswijzer

Het rapport maakt gebruik van het 'Pyramid' principeⁱⁱⁱ waarbij de belangrijkste conclusies van de studie eerst vermeld worden en dan pas de onderbouwing ervan, gevolgd door de achtergronden. Door gebruik te maken van dit principe wordt de hoofdtekst van het rapport zo compact mogelijk en kan de lezer eenvoudig het gewenste detailniveau kiezen.

Hoofdstuk 2 bevat een overzicht van de meest kansrijke DAP-applicaties gevolgd door de conclusies en aanbevelingen van de studie. Hoofdstuk 3 beschrijft de achterliggende resultaten van de operationele aspecten van de studie voor de verschillende ATC-units en de afdeling Systemen. Hoofdstuk 4 beschrijft vervolgens de achterliggende resultaten van de technische kant van de studie. Tot slot wordt in Hoofdstuk 5 een beknopte uitleg gegeven over Mode S transponders, inclusief de gerelateerde wettelijke basis en standaarden.

2 Kansrijke applicaties Downlink Airborne Parameters

2.1 Overzicht resultaten

In Tabel 1 wordt een overzicht gegeven van de mogelijk toegevoegde waarde van bepaalde Downlink Airborne Parameters (DAP)-applicaties op de operatie van de LVNL verkeersleidingsunits. Ook wordt aangeduid welk VEM-effect de applicatie beoogt. Verder wordt inzicht gegeven in welke mate deze DAPs beschikbaar zijn in de Mode S transponders van vluchten binnen het Nederlands luchtruim. Indien de DAP daadwerkelijk beschikbaar is, wordt op basis van metingen een indicatie gegeven van de datakwaliteit. De meest kansrijke DAP-applicaties zijn in de tabel groen gemarkeerd.

Tabel 1 Overzicht kansrijke DAP-applicaties

Unit	Kansrijke applicatie	VEM	DAP	Beschikbaar ²	Kwaliteit
ACC	Door directe vertoning van de climb/descent rate kan beter worden ingeschat of een vliegtuig zich aan de opgegeven hoogtekering/-restricties gaat houden. Bovendien is dit informatie om de separatie tussen klimmend en/of dalend verkeer beter te kunnen monitoren.	Veiligheid + Capaciteit	Barometric altitude rate en/of inertial vertical velocity	80-95%	Indicatie: goede datakwaliteit.
ACC + APP	Door gebruik te maken van extra meteo-informatie (via meteorologische service provider) zou de performance van de planning en merging tools verbeterd kunnen worden.	Capaciteit	Meteorological routine air report	5%	-
APP	Door een systematische controle en waarschuwing op de juiste hoogtemeter setting kan –in aanvulling op Pilot Selected Level– de kans op detectie van mogelijk separatieverlies worden vergroot.	Veiligheid	Barometric pressure setting	80-95%	Verschillende implementaties bekend.
APP	Door een systematische controle en waarschuwing op de juiste baanselectie in het FMS, kan de werklast van de verkeersleider mogelijk worden verlaagd.	Veiligheid	Waypoint 1, 2, 3	Niet beschikbaar	-
APP + TWR	Door geautomatiseerd meteo hazards te verstrekken aan de meteorologische service provider kan de verkeersleider uit de rapportage 'loop' worden gehaald, waardoor de werkdruk mogelijk wordt verlaagd.	Veiligheid	Meteorological hazard report	5%	-
APP	Door het intelligenter maken van de STCA-tool met behulp van intent-informatie, kan het huidige aantal nuisance alerts van dit tool mogelijk verlaagd worden.	Veiligheid	Waypoint 1, 2, 3	Niet beschikbaar	-

² Beschikbaarheid is afgeleid uit het Mode S capability report en uitgedrukt als percentage ten opzichte van alle vluchten die EHS capable zijn.

Unit	Kansrijke applicatie	VEM	DAP	Beschikbaar ²	Kwaliteit
TWR	Door een snellere indicatie te geven van het inzetten van een bocht bij slechtzichtscondities, kan eerder: - worden geconstateerd of de separatie gewaarborgd blijft bij parallel starten; - een volgende startklaring worden gegeven bij sequentieel starten.	Veiligheid + Capaciteit	Roll angle en/of Track angle rate	90-100%	Indicatie: goede datakwaliteit
TWR	Door systematische check en waarschuwing op geselecteerde waypoints in FMS in vergelijking met geklaarde SID, kan sneller een onjuist gekozen SID gedetecteerd worden.	Veiligheid	Waypoint 1, 2, 3	Niet beschikbaar	-
Alle	Door directe vertoning van RA en Turbulence alerts op het radarscherm kan mogelijk de situational awareness van de verkeersleider vergroot worden.	Veiligheid	ACAS active RA, Meteorological hazard report	Niet beschikbaar ³	-

2.2 Belangrijkste conclusies

Vanuit de LVNL-operatie zijn binnen het huidige operationeel concept geen directe operationele behoeften gesignaleerd die eenvoudig door DAP-applicaties ingevuld kunnen worden. Wel zijn DAP-applicaties geïdentificeerd die operationele voordelen kunnen bieden:

- Voor TWR zou de roll angle en/of track angle rate bij slechtzichtscondities de veiligheid en capaciteit bij parallelle operaties of bij sequentiële starts kunnen verhogen doordat eerder een indicatie wordt verkregen dat de (juiste) bocht wordt ingezet.
- Voor ACC zou de barometric altitude rate en/of inertial vertical velocity de capaciteit van de LVNL-operatie kunnen verhogen omdat direct de verticale snelheid kan worden gemonitord die helpt inschatten of een vliegtuig zich aan de opgegeven hoogteklaring/-restricties gaat houden. Op basis van deze informatie kan in voorkomende gevallen de verticale separatie beter gewaarborgd worden.
- Voor APP zou de barometric pressure setting de bestaande DAP-applicatie Pilot Selected Level aanvullen ten behoeve van veiligheid. Hiermee zou informatie kunnen worden verkregen of de vlieger de omschakeling tussen QNH en standaarddruk (en vice versa) heeft gemaakt.

De DAPs die in de bovengenoemde applicaties worden gebruikt hebben een beschikbaarheid tot 95%, vergelijkbaar met de reeds operationele DAPs. Een indicatie voor de kwaliteit van de DAPs voor TWR en ACC is goed. Echter, de DAP die voor APP voorzien wordt (Barometric Pressure Setting) is op dit moment onvoldoende; de verwachting is dat dit bij ingang van de uitgevaardigde EU-regelgeving na 2017 verbetert.

Overige beoogd waardevolle DAP-applicaties met onder andere weer- en intent-informatie zijn niet op kwaliteit onderzocht omdat zij op dit moment niet of zeer gering door transponders uitgezonden worden.

Over het algemeen kan gesteld worden dat de DAPs die door de EU gemandateerd zullen worden op dit moment al in hoge mate uitgezonden worden en een goede kwaliteitsindicatie hebben. De DAPs die geen onderdeel uitmaken van de EU-mandatering, blijken niet of zeer gering beschikbaar te zijn.

³ Niet beschikbaar via Mode S, mogelijk wel op andere wijze beschikbaar.

2.3 Aanbevelingen

Het wordt aanbevolen de DAP-applicatie voor TWR op korte termijn nader te onderzoeken voor mogelijke implementatie. Deze applicatie heeft potentieel zeer interessante veiligheids- en/of capaciteitsvoordelen tijdens onder andere parallelle operaties. Met name in slechtzichtcondities, waarbij niet visueel gecontroleerd kan worden of een vlucht de goede kant op draait, oftewel divergeert ten opzichte van de andere vlucht. Voor parallel operaties geldt dat deze indicatie aanvullend is op de huidige track vector die op dit moment kan worden gepresenteerd op basis van multi-lateratie. De beschikbaarheid en kwaliteit van de bijbehorende DAP blijkt goed.

Het wordt aanbevolen de DAP-applicatie voor ACC verder te onderzoeken op toegevoegde waarde voor gebruik in Amsterdam ACC sectoren. Hoewel het monitoren van de verticale snelheid mogelijk veiligheids-/capaciteitsvoordelen zou kunnen bieden, is de operationele behoefte minder concreet dan de DAP-applicaties voor TWR en APP.

Het wordt aanbevolen de DAP-applicatie zoals voorgesteld voor APP op dit moment niet verder te onderzoeken, maar wel de ontwikkelingen van het DAP-register naar aanleiding van de EU-mandatering en de EASA Certification Specification op de voet te blijven volgen. Wanneer daaruit blijkt dat de kwaliteit van de DAP barometric pressure setting na ingang van de nieuwe regelgeving zodanig verbetert dat deze bruikbaar wordt, dan zou een nieuwe studie hiernaar gestart kunnen worden. Daarnaast wordt aanbevolen de DAP-applicatie zoals NATS deze heeft geïmplementeerd nader te bestuderen. Omdat deze informatie erg laat tijdens de studie ontvangen is, is het niet meer mogelijk geweest deze aan verkeersleiders voor te leggen. Mogelijk voorziet deze DAP-applicatie in een nog ongeïdentificeerde behoefte.

Het DAP-register 'Meteorological routine air report' kan voor de meteorologische service provider bijdragen aan een verfijnder weermodel, dat vervolgens kan bijdragen aan een betere inbound planning voor LVNL. In de praktijk blijkt de beschikbaarheid van dit DAP-register zeer gering. Het wordt aanbevolen om met de meteorologische service provider te inventariseren of dit desondanks kan bijdragen aan hun weermodel. Ook wordt aanbevolen KLM hierbij te betrekken, omdat zij met haar vloot grote invloed kan hebben op de beschikbaarheid van een dergelijke parameter in de Amsterdam FIR.

Operationeel experts geven aan een grote behoefte te hebben aan intent-informatie. Er zijn slechts enkele DAPs die voorzien in intent-informatie en een nog beperkter aantal is ook daadwerkelijk beschikbaar. Één DAP-applicatie met intent-informatie, Pilot Selected Level, is bovendien al geïmplementeerd. De scope van dit specifieke onderzoek is beperkt tot Mode S-parameters. Een gericht onderzoek naar intent-informatie beschikbaar via andere technologieën, bijvoorbeeld CPDLC, wordt aanbevolen.

3 Operationele aspecten

In dit hoofdstuk worden DAP-applicaties nader besproken die van toegevoegde waarde kunnen zijn voor de LVNL-operatie. Om hiertoe te komen zijn interviews gehouden met operationeel experts van LVNL op de gebieden ACC, APP en TWR. Ook mensen met kennis en ervaring van technische systemen van LVNL zijn geïnterviewd^{iv}.

In de aanloop naar de interviews is een brainstorm georganiseerd met verschillende operationeel experts van MovingDot om denkrichtingen vast te stellen. Vervolgens hebben achtereenvolgens vier interviews plaatsgevonden met de operationeel experts van LVNL. Hierbij is eerst stilgestaan bij de ervaringen met huidige DAPs en de eigen ideeën bij het downlinken van extra parameters. Daarna is gesproken over operationele behoeften en de mate waarin DAPs, zoals nader toegelicht in Sectie 5.2, hierin zouden kunnen voorzien. Ook is hierin aandacht besteed aan de randvoorwaarden van een mogelijke implementatie.

Door de beperkte beschikbaarheid van de LVNL operationeel experts is met behulp van de operationeel experts van MovingDot de verzamelde informatie geïntegreerd en gecompleteerd. De volgende secties beschrijven de uitgewerkte resultaten van deze gesprekken per unit, om te besluiten met de afdeling Systemen.

3.1 Area Control

In juli 2012 zijn bij ACC de DAPs MCP/FCU Selected Altitude (NB: bij LVNL wordt deze parameter Pilot Selected Level (PSL) genoemd), Indicated Airspeed (IAS) en Magnetic Heading (HDG) geïmplementeerd. ACC heeft hier nu meer dan een jaar ervaring mee. Men geeft aan bij ACC dat men zeer tevreden is over het gebruik van de DAPs. Met name het PSL, dat dient als extra safety net bij het voorkomen van level busts, wordt zeer gewaardeerd.

Er wordt aangegeven dat er bij ACC op dit moment geen duidelijk zichtbare operationele behoeften bestaan waarin DAPs een rol kunnen spelen. Van de gepresenteerde overige DAPs zou de 'rate of climb/descent' en de ACAS RA parameters kunnen zijn die voor ACC meerwaarde bieden in de LVNL-operatie.

Tabel 2 Overzicht DAP-applicaties ACC

Unit	Kansrijke applicatie	VEM	DAP
ACC	Door directe vertoning van de climb/descent rate kan beter worden ingeschat of een vliegtuig zich aan de opgegeven hoogteklaring/-restricties gaat houden. Bovendien is dit informatie om de separatie tussen klimmend en/of dalend verkeer beter te kunnen monitoren.	Veiligheid + Capaciteit	Barometric altitude rate en/of inertial vertical velocity
Alle	Door directe vertoning van RA en Turbulence alerts op het radarscherm kan mogelijk de situational awareness van de verkeersleider vergroot worden.	Veiligheid	ACAS active RA, Meteorological hazard report

Rate of climb/descent

Rate of climb/descent is een parameter die de ACC verkeersleider nu schat op basis van de Mode C hoogte bij opeenvolgende track updates. Soms gebruikt de ACC verkeersleider deze parameter bij het separeren. Een verkeersleider vraagt eerst de huidige of maximaal haalbare rate of climb/descent op via RT. Daarna draagt de verkeersleider een rate of climb/descent op. Vervolgens moet de verkeersleider controleren of de opgedragen rate of climb/descent in acht wordt genomen en aangehouden blijft.

Ook gebruikt een verkeersleider de rate of climb/descent om in te schatten of bepaalde klim-/daalrestricties gehaald kunnen worden. Deze kunnen relevant zijn bij het binnenvliegen van andere verkeersgebieden zoals TMAs, maar ook bij de overdracht aan adjacent centres.

Een voorbeeld van een implementatie van de rate of climb/descent is Maastricht Upper Area Control (MUAC) die de rate of climb/descent heeft opgenomen in het vliegtuiglabel. MUAC leidt deze parameters overigens in het eigen systeem af door van opeenvolgende geschatte hoogtes gebruik te maken en niet van de DAP. De DAP 'rate of climb/descent' kan als voordeel hebben dat deze als gemeten waarde sneller een indicatie geeft dan de afgeleide waarde welke tenslotte reactief is.

Bij vergelijkbare implementatie als de huidige DAPs, het weergeven in het informatiepaneel onderin het radarscherm, geeft deze DAP een snellere, betere indicatie van de rate of climb/descent. Meer inzicht in deze parameter kan de LVNL-operatie bij ACC mogelijk efficiënter maken wat een capaciteitsvoordeel zou kunnen opleveren.

ACAS RA en Turbulence

Een aantal parameters die als interessant worden gemarkeerd hebben mogelijk juridische consequenties als die gebruikt worden door verkeersleiders. Dit betreft onder andere het downlinken van een 'ACAS Active Resolution Advisory' (RA). Dit kan de situational awareness van alle verkeersleiders verhogen doordat hij niet afhankelijk is van een melding van de betrokken vlieger, maar direct weet wanneer een RA actief is. Bij een RA mag de verkeersleider de vliegers in principe niet meer instrueren. Bij vertoning van deze parameter wordt de verkeersleider zich bewust van een conflicterende situatie waar hij formeel niet op mag ingrijpen. Bij een (bijna) ongeval roept dit de vraag op of hij niet toch iets had moeten doen met de beschikbare informatie.

Een ander voorbeeld is de DAP Turbulence. Deze DAP verstrekt een meetwaarde van turbulentie, wat een voordeel kan zijn boven de subjectieve indicatie die vliegers op dit moment verstrekken. Als zich volgens de DAP turbulentie voordoet, kan de verkeersleider besluiten de vlucht om te leiden. Het is niet wenselijk dat een verkeersleider uiteindelijk verantwoordelijk gesteld kan worden als deze opgedragen manoeuvre de situatie uiteindelijk verslechterd heeft.

Op het niveau van de International Federation of Air Traffic Controllers' Associations (IFATCA)^v vindt discussie plaats over het wettelijk kader voor het gebruik van dergelijke parameters. Volgens IFATCA stelt ICAO dat een verkeersleider klaringen verstrekt aan een vliegtuig tot de piloot aangeeft een RA te hebben ontvangen. Het acteren op een RA display is daarmee een afwijking van ICAO procedures. Ook technisch gezien zijn er nog issues; door vertragingen in het downlinken van DAPs kan een RA display fout of ongeldig zijn op het moment van weergeven.

3.2 Approach

Half november 2013 zijn bij APP de DAPs PSL, IAS en HDG op vergelijkbare wijze als bij ACC geïmplementeerd. Voor APP wordt voor inbounds het PSL waarschuwingsmechanisme niet gebruikt. Na het verstrekken van de klaring voor een ILS-nadering zet de verkeersleider 'APP' in het vliegtuiglabel. Bij het onderscheppen van het ILS zal een vliegtuig met deze klaring niet naar een eerder geklaard level zakken, maar het glijpad onderscheppen en volgen. Wanneer APP in het label komt te staan werkt het waarschuwingsmechanisme niet meer.

Bij outbound verkeer wordt wel gebruik gemaakt van het PSL waarschuwingsmechanisme. In eerste instantie is er voor een vertrekkend vliegtuig nog geen EFL omdat er een SID wordt gevlogen. Hier is een uitzonderling gemaakt door tijdelijk het SID Flight Level (SFL) te gebruiken in het algoritme. Wanneer de verkeersleider vervolgens een eerste EFL invoert, rekent het algoritme verder met het EFL.

Voor APP zijn operationele behoeftes gemarkeerd voor de inbound en de combinatie van inbound en outbound LVNL-operatie.

Tabel 3 DAP-applicaties APP

Unit	Kansrijke applicaties	VEM	DAP
APP	Door een systematische controle en waarschuwing op de juiste hoogtemeter setting kan –in aanvulling op Pilot Selected Level– de kans op detectie van mogelijk separatieverlies worden vergroot.	Veiligheid	Barometric pressure setting
APP	Door een systematische controle en waarschuwing op de juiste baanselectie in het FMS, kan de werklast van de verkeersleider mogelijk worden verlaagd.	Veiligheid	Waypoint 1, 2, 3
APP + TWR	Door geautomatiseerd meteo hazards te verstrekken aan de meteorologische service provider kan de verkeersleider uit de rapportage 'loop' worden gehaald, waardoor de werkdruk mogelijk wordt verlaagd.	Veiligheid	Meteorological hazard report

Check op QNH / standaarddruk aan de hand van Barometric pressure setting

Een operationele behoefte die al langer een rol speelt en ook in eerder onderzoek naar DAP onderzocht is, wordt ook wel de FL60/70-problematiek genoemd. Hierin staat centraal dat outbound verkeer geklaard wordt tot maximaal FL60 in nabijheid van inbound verkeer dat in zo'n geval niet mag zakken beneden FL70. Separatie kan hierbij alleen worden gewaarborgd als de betreffende vluchten beide op standaarddruk navigeren. Met de DAP 'Barometric altitude setting' kan systematisch gecontroleerd worden of er gevlogen wordt op QNH of standaarddruk. Dit kan dienen als aanvulling -ten behoeve van veiligheid- op de DAP PSL, welke ervan uitgaat dat boven het transition level/transition altitude altijd gevlogen wordt op standaarddruk en daaronder op QNH. Uit eerder onderzoek is bekend dat veel EHS capable vluchten de QNH-DAP versturen. Verschillende vliegtuigfabrikanten maken echter op verschillende manieren gebruik van deze DAP. Zo is bekend geworden dat Airbus en Fokker altijd de laatst ingestelde QNH uitsturen en nooit de standaarddruk. Hierdoor kunnen grondsystemen niet identificeren of deze vliegtuigtypes op standaarddruk of lokale druk vliegen. In het geval een vliegtuig boven het transition level op standaarddruk vliegt, maar de lokale druk uitzendt, wordt ten onrechte het waarschuwingsmechanisme in werking gesteld voor een verkeerd ingestelde druk.

Een voorbeeld van een implementatie van de barometrische druk is de implementatie door NATS in de Londen TMA^{vi}. De APP verkeersleiders in Londen krijgen een waarschuwing wanneer er een significant verschil (groter dan 6hPA) ontstaat tussen de ingestelde druk en de Londen QNH. Vliegers worden vervolgens gevraagd om hun QNH te controleren. De DAP-applicatie in Londen voorziet in een behoefte voor NATS, waar op dit moment geen behoefte lijkt voor LVNL. De implementatie in de Londen TMA is succesvol omdat hun behoefte zich voordoet onder de transitiehoogte, waar deze DAP voor alle vliegtuigtypen correct werkt. De informatie van NATS is helaas pas zeer laat in het onderzoek binnengekomen zodat deze niet meer getoetst is met APP verkeersleiders. Het wordt daarom aanbevolen de DAP-applicatie nader te bestuderen, omdat het misschien ook veiligheidsvoordelen voor LVNL kan bieden die eerder niet geïdentificeerd zijn.

Verschillen in implementatie door verschillende avionica- en vliegtuigbouwers maakt het onmogelijk om te controleren of de juiste referentiedruk behorend bij het PSL wordt gebruikt boven het transition level, waardoor deze DAP momenteel nog niet bruikbaar is voor de genoemde operationele behoefte bij LVNL. Sectie 5.2 beschrijft de maatregelen die genomen zijn om de kwaliteit van deze DAP in de toekomst te verbeteren.

Check op landingsbaanselectie aan de hand van Waypoint 1,2,3

Voor de inbound LVNL-operatie bestaat bij bijzondere operaties, zoals parallel naderen, de behoefte te weten dat de juiste baan en daarmee de juiste ILS frequentie is geselecteerd om conflicten te voorkomen. Om dit risico te ondervangen wordt tijdens parallele operaties via RT de ingestelde ILS-frequentie gecontroleerd. Als deze setting gedownlinkt kan worden, zou deze check overbodig zijn en de RT-druk en daarmee de werklast verlagen. In sommige FMSen blijkt de ILS-frequentie gekoppeld te zijn aan de baanselectie. De baan wordt daarbij als waypoint in het FMS geselecteerd, als onderdeel van de geselecteerde eindnadering. De eerstvolgende drie waypoints uit het FMS zijn beschikbaar in de DAP 'Waypoint 1,2,3'. De ILS-frequentie blijkt echter niet in transponders beschikbaar te zijn. Uit technische analyse blijkt dat er geen waypoints uitgestuurd worden, dus ook geen eventuele baanselectie. Meer hierover is terug te vinden in Hoofdstuk 4.

Direct verstrekken van meteo-informatie aan meteorologische service provider

Een andere operationele behoefte is het verlagen van de werklast bij bijzondere weersomstandigheden. In de LVNL-operatie komen regelmatig weerrapportages voor van met name turbulence, wind shear en icing. De standaard werkwijze is dat deze omstandigheden gemeld worden aan het KNMI en iedere vlucht die met deze omstandigheden te maken krijgt hier via RT van op de hoogte gesteld wordt, tot meerdere vluchten melden de omstandigheid niet langer te ervaren. Tot slot wordt het KNMI op de hoogte gebracht dat de omstandigheid niet meer wordt ervaren. De DAP meteorological hazards reports maakt informatie over actuele bijzondere weersomstandigheden op de grond beschikbaar. Het voor de meteorologische service provider direct digitaal toegankelijk maken van meteorological hazards kan de werklast van de verkeersleider helpen verminderen doordat de verkeersleider dan niet meer als 'doorgeefluik' hoeft te fungeren en zich kan richten op het informeren van vluchten.

3.3 Tower

TWR heeft nog niet gewerkt met DAPs. De DAPs zoals deze inmiddels bij ACC en APP zijn geïmplementeerd staan nog niet gepland voor TWR. Een migratie naar TWR is niet vanzelfsprekend omdat de werkwijze op de TWR wezenlijk anders is dan die bij ACC en APP. Van de huidige DAPs bij ACC en APP wordt PSL genoemd als waardevol om te kunnen verifiëren dat een vlucht die een afwijkend flight level opgedragen krijgt ten opzichte van zijn SID, deze instructie correct opvolgt.

De operationele behoeften van TWR bevinden zich op het gebied van conflictdetectie en het verminderen van werklast.

Tabel 4 DAP-applicaties TWR

Unit	Kansrijke applicaties	VEM	DAP
TWR	Door een snellere indicatie te geven van het inzetten van een bocht bij slechtzichtscondities, kan eerder: - worden geconstateerd of de separatie gewaarborgd blijft bij parallel starten; - een volgende startklaring worden gegeven bij sequentieel starten.	Veiligheid + Capaciteit	Roll angle en/of Track angle rate
TWR	Door systematische check en waarschuwing op geselecteerde waypoints in FMS in vergelijking met geklaarde SID, kan sneller een onjuist gekozen SID gedetecteerd worden.	Veiligheid	Waypoint 1, 2, 3

Check of juiste bocht wordt ingezet

Bij bijzondere operaties, zoals parallel starten, is het om conflicten te voorkomen cruciaal dat de juiste bocht wordt ingezet. Deze bocht zorgt ervoor dat separatie behouden blijft. Daarnaast is het bij sequentieel starten relevant te weten of en wanneer de (juiste) bocht is ingezet, zodat het opeenvolgende vliegtuig ongehinderd kan starten.

De DAPs die een check op een manoeuvre mogelijk kunnen maken zijn de 'track angle rate' en 'roll angle'. Beide DAPs zijn onderdeel van de door de EU gemandateerde set parameters, wat de kans op beschikbaarheid op de grond vergroot. De voorziene DAP-applicatie geeft weer of een manoeuvre wordt ingezet en of dit in de correcte richting is. Het voordeel bij slechtzichtscondities is een snellere indicatie van het ingaan van een bocht ten opzichte van de visuele check in de huidige LVNL-operatie en in aanvulling op de gepresenteerde track vector zoals die, op basis van multi-lateratie, kan worden gebruikt bij parallel starten. De DAP met een door het vliegtuig gemeten waarde geeft een snellere indicatie dan de radar tracker welke meerdere track updates nodig heeft om zichtbaar te kunnen maken dat een bocht is ingezet. Er kan overwogen worden om de DAP-applicatie te tonen of eventueel op de achtergrond onderdeel te maken van de radar tracker. De manier van tonen zal mogelijk moeten verschillen van die van de DAP-applicaties voor ACC en APP, omdat TWR verkeersleiders niet continu op hun radarscherm kijken.

Check of juiste SID is geselecteerd

De SIDs van parallelle banen zijn zodanig ontworpen dat divergentie wordt gewaarborgd. Het is daarom cruciaal dat de juiste SID wordt gevlogen. Omdat de SID afhankelijk is van de baan, is bij TWR behoefte aan informatie over zowel de baanselectie als geselecteerde SID. Baanselectie en SID zijn niet rechtstreeks beschikbaar in de Mode S transponder. Mogelijk kan de baanselectie of SID afgeleid worden uit de in het FMS geprogrammeerde waypoints. Echter, uit technische

analyse blijkt dat waypoints in de praktijk niet uitgezonden worden. Meer hierover is te vinden in Hoofdstuk 4.

Een alternatieve manier voor een systeemcheck op het selecteren van de juiste SID baseert zich op de richting waarin na het starten gedraaid wordt. Dit geeft weliswaar geen bevestiging van de SID, maar laat wel zien of de separatie in de tijdskritische fase na de start gewaarborgd blijft. De DAPs die een systeemcheck op een manoeuvre mogelijk kunnen maken zijn de 'track angle rate' en 'roll angle'. Beide DAPs zijn onderdeel van de door de EU gemandateerde set parameters wat de kans op beschikbaarheid van de DAP op de grond vergroot. De voorziene DAP-applicatie checkt systematisch of een manoeuvre in de correcte richting ingezet wordt en kan dit zowel positief als negatief terugmelden aan de verkeersleider. Bij slechtzichtcondities is een snellere indicatie van het ingaan van een bocht mogelijk ten opzichte van de check in de huidige LVNL-operatie. Op dit moment wordt bij slechtzichtcondities teruggevallen op de volgende update van de radar tracker. De DAP met een door het vliegtuig gemeten waarde geeft een snellere indicatie dan de radar tracker welke meerdere track updates nodig heeft om zeker te stellen dat een bocht is ingezet. Er kan overwogen worden om de DAP-applicatie te tonen of eventueel op de achtergrond onderdeel te maken van de radar tracker. De manier van tonen zal naar verwachting verschillen van die van de DAP-applicaties voor ACC en APP, omdat TWR verkeersleiders niet continu op hun radarscherm kijken.

3.4 Systemen

Naast de gesprekken met de verschillende ATC-units heeft een gesprek plaatsgevonden met een expert op het gebied van de technische systemen van LVNL. In dit gesprek is gesproken over de toegevoegde waarde van DAPs voor onder andere Arrival Management (AMAN) en Short Term Conflict Alert (STCA). Voor overige systemen waaronder ARTAS en PHOENIX, wordt geen meerwaarde van DAPs verwacht.

Tabel 5 DAP-applicaties vanuit Systemen

Unit	Kansrijke applicatie	VEM	DAP
ACC + APP	Door gebruik te maken van extra meteo-informatie (via meteorologische service provider) zou de performance van de planning en merging tools verbeterd kunnen worden.	Capaciteit	Meteorological routine air report
APP	Door het intelligenter maken van de STCA-tool met behulp van intent-informatie, kan het huidige aantal nuisance alerts van dit tool mogelijk verlaagd worden.	Veiligheid	Waypoint 1, 2, 3

Verbeterde trajectory prediction door betere meteo-informatie

Er bestaat een operationele behoefte aan nauwkeurige hoogtewindinformatie in AMAN tools. De Trajectory Prediction (TP) in AMAN maakt op dit moment gebruik van een KNMI-windmodel waarin Nederland is opgedeeld in zes sectoren, voor drie verschillende hoogteniveaus. Extra meteo-informatie kan de meteorologische service provider helpen met het creëren van een accurater weerbeeld. Dit weerbeeld kan zorgen voor nauwkeurigere TP, wat AMAN uiteindelijk efficiënter maakt. Deze informatie is ondersteunend voor de operatie van ACC en APP.

Verbeterde STCA performance met intent-informatie

Een andere potentiële DAP-applicatie is het betrekken van intent informatie in STCA tools. De STCA tool van LVNL is op dit moment niet in gebruik voor APP vanwege de hoge mate van nuisance voor verkeersleiders, voortkomend uit het vectoren in de Schiphol TMA. De DAP 'Waypoint 1,2,3' biedt intent-informatie in de vorm van de volgende drie waypoints. In combinatie met de introductie van vaste naderingsroutes kan hiermee de STCA tool mogelijk effectiever gebruikt worden. Deze informatie zou ondersteunend kunnen zijn voor de operatie van APP.

4 Technische analyse

In dit hoofdstuk wordt op basis van een dag data (beschikbaar gesteld door de LVNL), gekeken naar een aantal technische aspecten van Mode S data en in het bijzonder de aanwezigheid en bruikbaarheid van DAPs.

Op basis van de locatie waar vliegtuigen zich bevinden in het Nederlandse luchtruim en op basis van het soort vliegtuig (lijndienst, glider, VFR) worden eisen gesteld aan de aanwezigheid van Mode S transponders aan boord van het vliegtuig. De datasets van de LVNL bevatten gegevens van vliegtuigen in de gehele Amsterdam FIR, dus zowel vliegtuigen die een Mode S transponder moeten hebben als vliegtuigen die zonder Mode S transponder mogen vliegen. De datasets van de LVNL bevatten zowel vliegtuigen die Mode S EHS ondersteunen maar ook vliegtuigen die alleen Mode S Elementary Surveillance (ELS) ondersteunen.

Op dit moment geldt nog niet overal de eis dat vliegtuigen Mode S EHS ondersteunen; echter alleen vliegtuigen die Mode S EHS ondersteunen zijn in staat om DAPs te verzenden. Er zijn ook vliegtuigen die alleen Mode S ELS ondersteunen, deze transponders versturen geen DAPs. Meer informatie over de genoemde standaarden en regelgeving is te vinden in Hoofdstuk 5.

4.1 Mode S capabilities vliegtuigen Schiphol

Vliegtuigen versturen de informatie van DAPs via zogenaamde Comm-B Data Register (BDS). Een register kan meerdere DAPs bevatten:

- **BDS 0.0**
Not Valid
- **BDS 1.0: Data link capability report**
Technische informatie over capaciteiten van de Mode-S transponder
- **BDS 1.1: Data link capability report**
Continuation registers voor BDS 1.0 om meer informatie over de capaciteiten te versturen
- **BDS 1.7: Common usage GICB capability report**
Informatie over welke BDS registers door het vliegtuig verstuurd kunnen worden
- **BDS 1.D: Mode S specific Protocols capability reports**
Informatie over de kanalen die de Mode S transponder gebruikt voor de communicatie
- **BDS 4.0: Selected Vertical Intention**
DAPs in dit register zijn:
 - MCP/FCU Selected Altitude
 - FMS Selected Altitude
 - Barometric Pressure Setting
- **BDS 5.0: Track and Turn Report**
DAPs in dit register zijn:
 - Roll Angle
 - True Track Angle
 - Ground Speed
 - Track Angle rate
 - True Airspeed

- **BDS 6.0: Heading and Speed Report**

DAPs in dit register zijn:

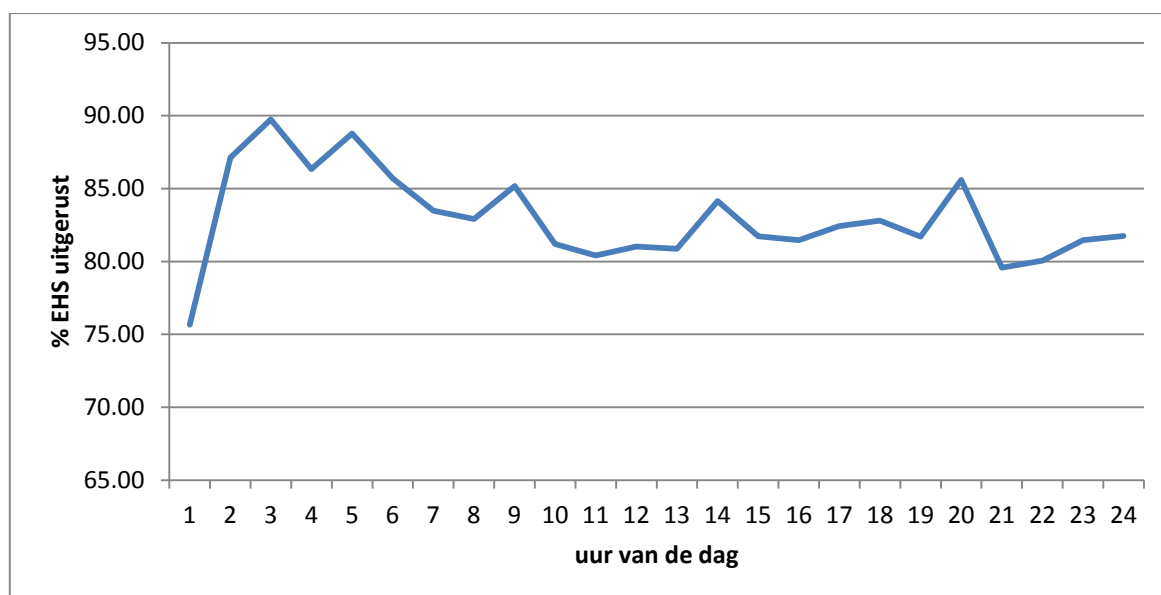
- Magnetic Heading
- Indicated Airspeed
- Mach Number
- Barometric Altitude Rate
- Inertial Vertical Velocity

- **BDS E.1: Mode-S Byte Built In Test Equipment**

Wanneer vliegtuigen worden ondervraagd door sensoren die Mode S ondersteunen (bijvoorbeeld Secondary Surveillance Radar, Wide Area Multilateratie systemen), kunnen deze vliegtuigen in een Mode S-bericht via het BDS register 1.7 de lijst met ondersteunde registers meesturen. Dit kunnen alleen vliegtuigen doen die daadwerkelijk Mode S EHS ondersteunen.

Op basis van de datasets van de LVNL is een analyse gemaakt van het aantal vliegtuigen dat Mode S ondersteunt, het percentage vliegtuigen daarvan die Mode S EHS ondersteunen en vervolgens voor alle vliegtuigen die BDS register 1.7 hebben verstuurd is een analyse gemaakt van de percentages vliegtuigen die de verschillende BDS registers kunnen ondersteunen indien daarvoor specifiek ondervraagd.

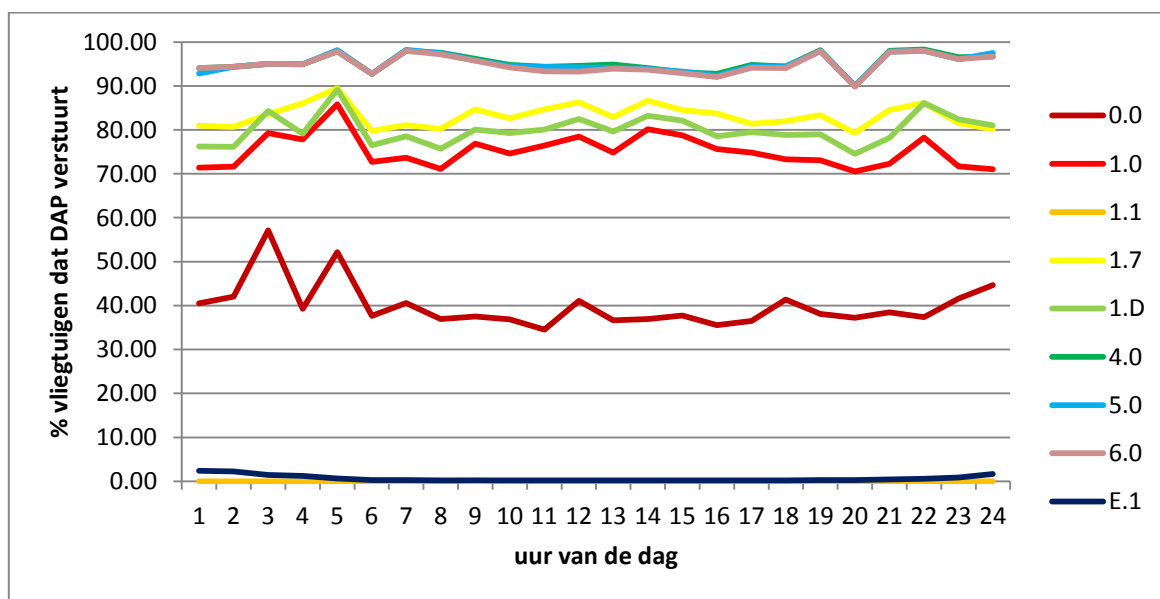
Figuur 2 laat voor de verschillende datasets zien wat het percentage vliegtuigen is dat EHS ondersteunt (vliegtuigen die Mode S adressen versturen en minimaal 1 BDS register). Op de x-as staan de datasets (elke dataset bevat 1 uur data). De y-as is het percentage ten opzichte van alle vliegtuigen die Mode S ondersteunen (ELS en EHS). Uit dit figuur blijkt dat ongeveer 80-85% van de met Mode S uitgeruste vliegtuigen ook in staat is om Mode S EHS te ondersteunen.



Figuur 2: Percentage van Mode S vliegtuigen dat EHS ondersteunt

Van deze vliegtuigen die Mode S EHS ondersteunen is vervolgens gekeken welke BDS registers zijn verzonden. Daarbij is in elke dataset gekeken naar het aantal unieke vliegtuigen die bepaalde registers versturen.

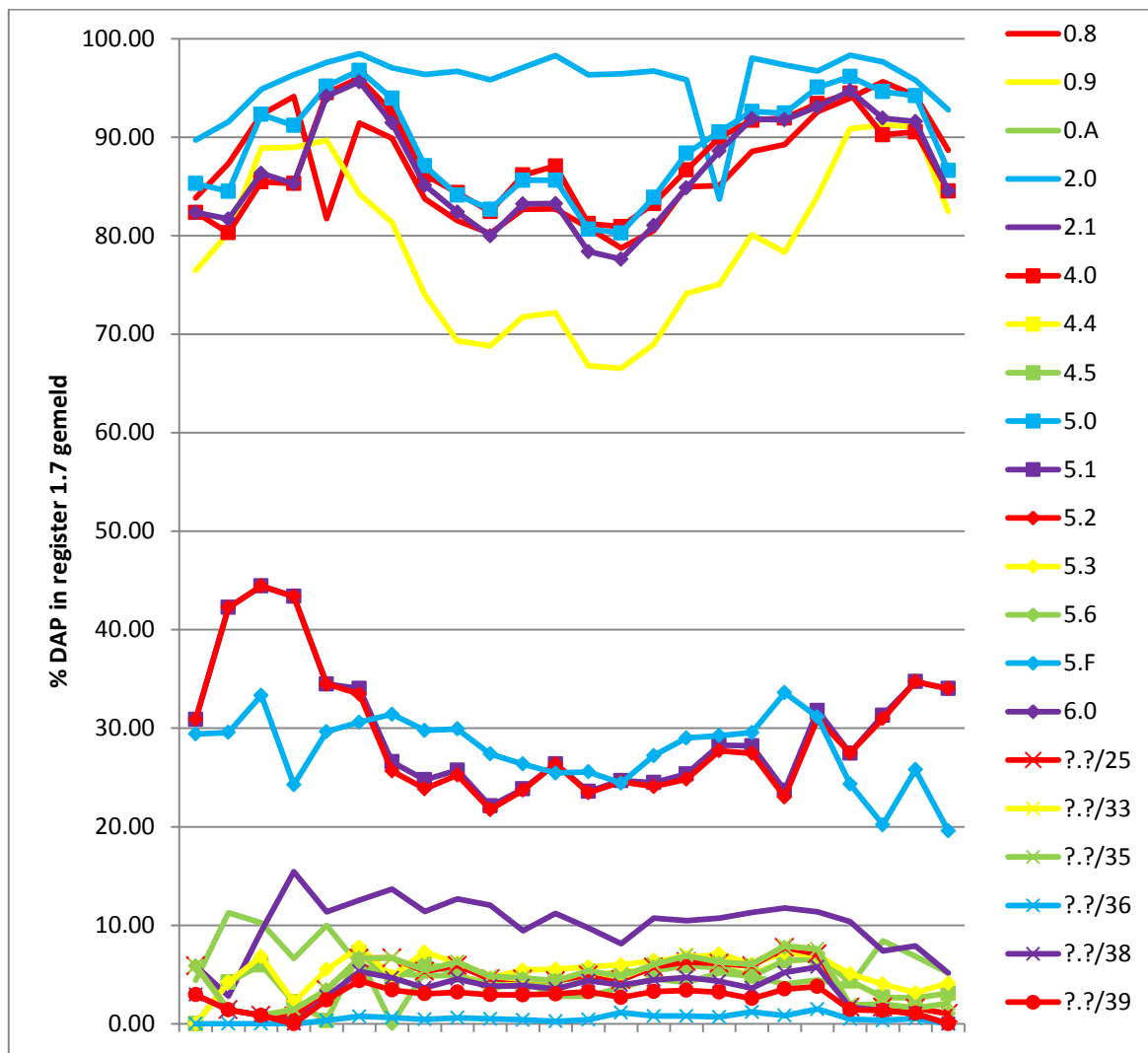
Figuur 3 laat zien hoe vaak welke BDS registers worden verzonden. Op de x-as staan opnieuw de datasets. Op de y-as staat het percentage van alle Mode S EHS vliegtuigen in de dataset die een bepaalde DAP verzenden. Uit het figuur blijkt dat BDS 4.0, 5.0 en 6.0 tussen de 90-100% worden verstuurd. Register 1.7 en 1.D (specificatie van de ondersteunde registers) worden in ruim 80% van de gevallen verstuurd. Dat betekent dat niet alle EHS vliegtuigen register 1.7 verzenden en dat dus ook niet altijd bekend zal zijn wat de technische mogelijkheden van een vliegtuig zijn.



Figuur 3: Percentage Mode S EHS vliegtuigen die een bepaalde BDS register verzenden

BDS register 0.0 wordt door 40% van de vliegtuigen verstuurd; officieel zou dit register niet voor mogen komen omdat register 0.0 niet bestaat. Register 1.1 werd slechts 1 maal verstuurd. BDS register E.1 wordt in elke dataset gerapporteerd voor 608 updates afkomstig van 2 vliegtuigen; het betreft hier hoogstwaarschijnlijk speciale (test referentie) transponders die altijd aan staan.

Vervolgens is gekeken naar de inhoud van register 1.7 zoals die door de Mode S EHS capable vliegtuigen is uitgestuurd. Figuur 4 laat de resultaten van deze analyse zien. Daaruit blijkt dat BDS register 2.0 (aircraft identification) door bijna alle vliegtuigen wordt ondersteund (95-100%). Dat is op zich ook te verwachten omdat elk vliegtuig bij Mode S ondervraging zijn identificatie moet doorsturen.



Figuur 4: Percentage DAPs dat in BDS register 1.7 is gerapporteerd

BDS register 0.8 (80-95%) en BDS register 0.9 (70-90%) zijn BDS registers die gereserveerd zijn voor ADS-B. BDS register 0.8 is te vergelijken met BDS register 2.0 en zendt de aircraft identification. BDS register 0.9 stuurt de airborne velocity uit.

BDS registers 4.0, 5.0 en 6.0 zijn in 80-95% van de gevallen aanwezig. Dat geeft aan dat deze gegevens vaak aanwezig zijn, maar dat er niet vanuit kan worden gegaan dat ze ook altijd aanwezig zijn. Uit analyse van de individuele radar ondervragingen voor Mode S EHS vliegtuigen blijkt dat deze BDS registers in 30% van de radar returns aanwezig zijn. Dit percentage is vrijwel constant voor alle datasets.

Verder blijken register 5.1 (position coarse), 5.2 (position fine) en 5.F (quasi static parameter monitoring) nog door 25-30% van de EHS vliegtuigen te worden verzonden.

Alle andere registers die in het figuur staan worden door de Mode S EHS capable vliegtuigen in dermate lage percentages uitgestuurd (<10%) dat het gebruik hiervan niet logisch lijkt. Uit de analyse bleek ook dat de bits 25, 33, 36, 38 en 39 in register 1.7 regelmatig zijn gezet. Officieel

zijn de bitnummers vanaf 30 en hoger niet in gebruik; het kan hier dan ook een fabrikant-eigen uitbreiding zijn, danwel een fout in de transmissie van het Mode-S reply.

In vergelijking met Figuur 4 lijken de capabilities zoals die in register 1.7 worden opgegeven voor o.a. BDS registers 4.0, 5.0 en 6.0 conservatief ten opzichte van de geconstateerde aanwezigheid van deze registers in de LVNL datasets.

4.2 Mode S datakwaliteit

Op basis van de datasets van de LVNL is gekeken naar de DAPs die daadwerkelijk in de datasets zaten en waarvan wordt aangenomen dat deze gebruikt kunnen worden in toekomstige systemen voor de ondersteuning van het vliegverkeer. Dat betekent dat de analyse naar de Mode S datakwaliteit zich heeft gericht op de volgende items:

- **BDS register 5.0**
 - Roll Angle
 - True Track Angle
 - Track Angle Rate
 - True Airspeed
- **BDS register 6.0**
 - Barometric Altitude Rate

Bij de voorliggende analyse zijn twee verschillende methodes gebruikt. Enerzijds is gekeken of de gegevens in de DAPs zelf consistent zijn. Anderzijds is gekeken naar de correlatie tussen de gegevens in de DAPs en de track data zoals die door het tracking systeem van de LVNL (ARTAS) zijn berekend. De resulterende grafieken zijn opgenomen in Bijlagen 2 tot en met 9.

Tijdens de analyses zijn een aantal zaken opgemerkt die niet nader zijn onderzocht. Zo lijken er in bijna alle grafieken veel 0-waarden op X- en Y-as voor te komen. Een deel hiervan kan verklaard worden door een probleem in correlatie tussen twee berichten (Mode S- en tracker-bericht dan wel Mode S- en Mode S-bericht). Echter, de opzet van dit onderzoek is om een eerste indicatie te geven van de bruikbaarheid van de DAPs; de zaken die niet geheel verklaard kunnen worden, kunnen in een ander onderzoek verder geanalyseerd worden.

Mode S datakwaliteit: interne integriteit

Omdat de gegevens in de DAPs uit de avionica-systemen van het vliegtuig komen, mag verwacht worden dat DAPs die in verschillende registers in wezen dezelfde data representeren, een grote correlatie laten zien:

- a) De gerapporteerd *barometrische hoogte* in twee opeenvolgende rapporten moet correleren aan de *vertical barometric rate* in BDS register 6.0
- b) De gerapporteerde *track angle rate* in BDS register 5.0 moet correleren aan de *roll angle* uit register 5.0 en de *true air speed* uit BDS register 5.0
[$TAR == \tan(RA) * 1091 / TAS$]

De resultaten voor analyse a) zijn in Bijlage 2 per dataset van 1 uur opgenomen. Uit deze analyse blijkt dat er een goede correlatie bestaat tussen de barometrische hoogte en de vertical barometric rate. Er is echter wel een zekere spreiding te zien; dit is te verklaren doordat de berekende vertical rate uitgaat van twee opeenvolgende rapporten met de DAP informatie waardoor een mismatch kan ontstaan tussen de tijdstippen van de berekende en de gerapporteerde vertical rate. Verder is de barometrische hoogte slechts beschikbaar in resolutie van 25 ft. De grafieken laten zien dat deze DAPs goed te gebruiken zouden zijn.

De resultaten voor analyse b) zijn in Bijlage 3 per dataset van 1 uur opgenomen. Uit deze analyse blijkt dat er een bijna perfecte correlatie bestaat tussen de track angle rate en de roll angle en true airspeed. Dat geeft aan dat deze DAPs goed te gebruiken zouden zijn.

Mode S datakwaliteit: correlatie track data

- a) De gerapporteerde *vertical barometric rate* in BDS register 6.0 moet correleren met de *vertical rate* als berekend door de tracker
- b) De snelheid in x-richting (VX), afgeleid van de *true airspeed* (TAS) in BDS register 5.0 en de *track angle* (TA) in BDS register 5.0, moet correleren met de *grondsnelheid in x-richting* als berekend door de tracker

$$[\text{TAS} * \sin(\text{TA}) == \text{VX}]$$
- c) De snelheid in y-richting (VY) afgeleid van de *true airspeed* (TAS) in BDS register 5.0 en de *track angle* (TA) in BDS register 5.0 moet correleren met de *grondsnelheid in y-richting* als berekend door de tracker

$$[\text{TAS} * \cos(\text{TA}) == \text{VY}]$$
- d) De *true track angle* in BDS register 5.0 moet correleren met de *course* als berekend door de tracker
- e) De gerapporteerde *track angle rate* (TAR) in BDS register 5.0 moet correleren met de *transversale versnelling* (R) berekend uit de true airspeed (TAS) in BDS register 5.0, de *roll angle* (RA) in BDS register 5.0 en de *snelheid in x- en y-richting* (VX, VY) als berekend door de tracker

$$[R = \text{TAS} * \text{TAS} / (11.26 * \tan(\text{RA})) ;$$

$$V = \text{SQRT}(\text{VX} * \text{VX} + \text{VY} * \text{VY}) ;$$

$$\text{TAR} == (V / R) / 50]$$
- f) De gerapporteerde *track angle rate* in BDS register 5.0 moet correleren met twee opeenvolgende berekeningen van de *track angle* door de tracker

De resultaten voor analyse a) zijn in Bijlage 4 per dataset van 1 uur opgenomen. Uit deze analyse blijkt dat er een goede correlatie bestaat tussen de barometric vertical rate en de track data. De afwijkingen van de perfecte correlatie is te verklaren doordat de tracker na-ijlt bij het ingaan van de daling/klim en de beëindiging daarvan. Dat geeft aan dat deze DAPs goed te gebruiken zouden zijn en dat ze sneller een indicatie van klim/daling geven dan de track data.

De resultaten voor analyse b) zijn in Bijlage 5 en de resultaten voor analyse c) zijn in Bijlage 6 per dataset van 1 uur opgenomen. Uit deze analyse blijkt dat er een goede correlatie bestaat tussen de true airspeed en track angle en de track data. De afwijkingen van de perfecte correlatie zijn te verklaren doordat de tracker na-ijlt bij het ingaan van bochten en de beëindiging daarvan. Dat

geeft aan dat deze DAPs goed te gebruiken zouden zijn en dat ze sneller een indicatie van het inzetten van een bocht geven dan de track data.

De resultaten voor analyse d) zijn in Bijlage 7 per dataset van 1 uur opgenomen. Uit deze analyse blijkt dat er een bijna perfecte correlatie bestaat tussen de track angle en de track data.

De resultaten voor analyse e) zijn in Bijlage 8 per dataset van 1 uur opgenomen. Uit deze analyse blijkt dat er een zeer goede correlatie bestaat tussen de true airspeed, roll angle, track angle en de track data. Dat geeft aan dat deze DAPs goed te gebruiken zouden zijn.

De resultaten voor analyse f) zijn in Bijlage 9 per dataset van 1 uur opgenomen. Uit deze analyse blijkt dat er een zeer slechte correlatie bestaat tussen de track angle rate en de berekende track angle rate op basis van de track data. Er is een grote spreiding te zien; dit is te verklaren doordat de berekende track angle rate uitgaat van twee opeenvolgende rapporten met de track informatie waardoor een mismatch kan ontstaan tussen de tijdstippen van de berekende en de gerapporteerde track angle rate. Deze mismatch zegt daarmee echter niets over de kwaliteit van de DAP gegevens maar meer over de slechte bruikbaarheid van deze correlatie.

4.3 Conclusies technische analyse

Op basis van de analyse van BDS register 1.7 kan gesteld worden dat er weinig registers zijn, anders dan registers 2.0, 4.0, 5.0 en 6.0, die op dit moment gebruikt kunnen worden voor additionele tools. Slechts een zeer beperkt aantal vliegtuigen geven aan dat ze capable zijn andere registers uit te sturen. Uit de analyse van de LVNL datasets blijkt wel dat BDS registers 4.0, 5.0 en 6.0 een zeer hoge aanwezigheid hebben.

Op basis van het vergelijken van de datasets van LVNL en de gegevens uit BDS register 1.7 blijkt ook dat er een discrepantie bestaat tussen wat volgens register 1.7 een vliegtuig uit kan sturen en wat er uitgestuurd wordt; registers 4.0, 5.0 en 6.0 blijken vaker aanwezig te zijn dan register 1.7 rapporteert. Verder blijkt BDS register 1.7 ook een aantal bits aan te zetten waarvan op dit moment de betekenis niet bekend is.

Op basis van de analyse van de data in de BDS registers (4.0, 5.0, 6.0) zelf, blijkt dat de eerste indicatie van de bruikbaarheid van deze DAPs goed is. Barometrische hoogte, snelheden van track angles lijken intern consistent en geven ook een goede correlatie met de tracker data (gegeven de ruis die in de analyse bestaat naar aanleiding van de associatie tussen twee Mode S-berichten dan wel een Mode S-bericht en een tracker-update).

Dit onderzoek laat wel een aantal punten zien waar nader onderzoek gewenst is:

- BDS register 1.7 laat minder ondersteuning zien voor registers 4.0, 5.0 en 6.0 dan in de dataset uiteindelijk is aangetroffen.
- De aanwezigheid van niet gebruikte bits in BDS register 1.7.
- De ruis in de correlatie tussen Mode S-berichten en track data die leidt tot waarden op de 0-lijn van de X- en/of Y-as

5 Standaarden en regelgeving

5.1 Mode S transponder

Secondary Surveillance Radar (SSR) is een radarsysteem dat naast het meten van de positie van het vliegtuig, andere parameters opvraagt. SSR is gericht op vliegtuigen die gebruik maken van een transponder, die het uitgezonden signaal van de radar kan beantwoorden. De transponders in vliegtuigen hebben verschillende modes waar zij op ondervraagd kunnen worden:

- Mode A geeft de identiteit in de vorm van een numerieke code;
- Mode C geeft de drukhoogte door;
- Mode S 'selective' geeft specifiek antwoord op een individuele, specifieke ondervraging en is vervolgens in staat specifieke parameters te verzenden.

Er zijn vijf niveaus van Mode S transponders te onderscheiden, welke staan beschreven in *ICAO Annex 10 Aeronautical Telecommunications, Volume IV: Surveillance and Collision Avoidance Systems (Amendment 85)*^{vii}:

Tabel 6 ICAO Mode S transponder niveaus

Niveau voldoet aan mogelijkheid tot:	1	2	3	4	5
Overbrengen van Mode A identiteit en Mode C drukhoogte	X	X	X	X	X
Overbrengen van 'Intermode' en Mode S 'all-call' transacties	X	X	X	X	X
Transactie van surveillance hoogte en identiteit specifiek voor vliegtuig	X	X	X	X	X
Lockout protocollen	X	X	X	X	X
Overbrengen van basic data protocollen met uitzondering van data link mogelijkheden	X	X	X	X	X
Air-to-air service en 'squitter' transmissie	X	X	X	X	X
Standaardlengte communicatie (Comm-A en Comm-B)		X	X	X	X
Overbrengen van data link mogelijkheden		X	X	X	X
Overbrengen van identiteit luchtvaartuig		X	X	X	X
Ground-to-air Extended Length Message (ELM) communicatie			X	X	X
Air-to-ground ELM communicatie				X	X
Enhanced Comm-B en ELM communicatie					X

Volgens de *Wet luchtvaart, luchtverkeersreglement, regeling navigatie- en telecommunicatie-installaties*^{viii} moeten vliegtuigen in het Nederlandse luchtruim uitgerust zijn met een Mode S transponder met Elementary Surveillance (ELS). Dit is een SSR transponder waarbij aan ieder vliegtuig een uniek ICAO 24-bits adres wordt toegekend dat gebruikt wordt voor selectieve ondervraging.

In Nederlands luchtruim is het voor GAT vluchten op vliegniveau FL245 en hoger, met een maximaal toegelaten startmassa boven 5700 kg en/of een maximaal True Airspeed groter dan 250 knopen, verplicht om uitgerust te zijn met Mode S Enhanced Surveillance (EHS). Aanvullend op Mode S ELS verzendt een Mode S EHS transponder een 'data link capability report'. Een 'data link capability report' bevat informatie over de complete Mode S communicatiemogelijkheden van het

vliegtuig. Een aantal van deze extra communicatiemogelijkheden is bij Mode S EHS verplicht gesteld, zoals beschreven in de volgende sectie. De Mode S EHS transponder moet volledig voldoen aan ICAO niveau 2 (zie Tabel 6).

De Europese Unie heeft in *Commission Implementing Regulation (EU) No 1207/2011*^{ix} vastgelegd dat alle IFR/GAT opererende vliegtuigen in Europees luchtruim Mode S ELS moeten gebruiken. Vliegtuigen met een maximaal toegelaten startmassa boven 5700 kg en/of een maximaal True Air Speed groter dan 250 knopen, moeten met Mode S EHS (en 'ADS-B Out') opereren en een vaste set parameters kunnen uitzenden, zoals beschreven in de volgende sectie. Deze eisen zijn verplicht vanaf 8 januari 2015 voor 'nieuwe' vliegtuigen en vanaf 7 december 2017 voor bestaande vliegtuigen.

5.2 Downlink of Airborne Parameters

Een Mode S EHS heeft de mogelijkheid voor 'ground-initiated' communicatie, oftewel een verzoek vanaf de grond voor specifieke informatie uit het vliegtuig. Het protocol dat hiervoor gebruikt wordt heet Comm-B. Door middel van een numerieke code, de Comm-B Data Selector (BDS), kan de grond een verzoek doen tot bepaalde informatie in een register. In deze registers bevinden zich de Downlink Airborne Parameters (DAPs) afkomstig van vliegtuigsensoren en avionica-systemen. De complete lijst DAPs wordt beschreven in *ICAO DOC 9871: AN/464 Technical Provisions for Mode S Services and Extended Squitter*^x. Zie Bijlage 1 voor een overzicht van DAPs. In de *Minimum Operational Performance Standards for SSR Mode S Transponders (ED-73E)*^{xi} van EUROCAE staan aanvullende eisen voor DAP formats en resoluties.

In Regulation (EU) No 1207/2011 en in het Nederlandse AIP^{xii} in hoofdstuk GEN 1.5-4 is vastgelegd dat een vliegtuig Mode S EHS capable is als minimaal de volgende DAPs verstuurd kunnen worden. Zie voor een overzicht Tabel 7.

Tabel 7 Gemandateerde DAPs volgens EU IR 1207/2011

Register	Basic DAP Set
BDS 4,0	Selected altitude
	Barometric pressure setting ⁴
BDS 5,0	Roll Angle
	Track Angle Rate / True Airspeed (alternative)
	True Track Angle
	Ground Speed
BDS 6,0	Magnetic Heading
	Indicated Airspeed (IAS) / Mach no.
	Vertical rate (barometric rate of climb/descent or baro-inertial)

⁴ Barometric pressure setting is op dit moment nog niet verplicht volgens het Nederlandse AIP (09 JAN 2014).

De EASA *Certification Specifications and Acceptable Means of Compliance for Airborne Communications, Navigation and Surveillance (CS-ACNS)*^{xiii} beschrijft nadrukkelijk dat verstuurd parameters, zoals voorgeschreven in Regulation (EU) No 1207/2011; correct en correct aangeduid als beschikbaar, moeten zijn. Dit betekent dat de nauwkeurigheid en integriteit van parameters tussen de bron van de data en verstuurd door de transponder identiek moet zijn. Als de nauwkeurigheid of integriteit niet gegarandeerd kan worden of als data simpelweg niet beschikbaar is, moet de data als niet beschikbaar aangeduid worden in het data link capability report.

DAP Barometric Pressure Setting

Het format, zoals ICAO en EUROCAE de DAP barometric pressure setting voorschrijven, is niet volledig eenduidig, met als gevolg dat verschillende avionica-fabrikanten verschillende implementaties kennen. LVNL heeft eerder geconcludeerd dat deze DAP in zijn huidige vorm onbruikbaar is voor de operationele behoefte die LVNL heeft.

De CS-ACNS kent voor de DAP barometric pressure setting een aanscherping ten opzichte van AMC 20-13, de acceptable means of compliance uit 2006. Om in aanmerking te komen voor certificatie moet volgens de nieuwe CS-ACNS, wanneer er geopereerd wordt onder standaarddruk, de DAP barometric pressure setting de standaarddruk, equivalent aan 1013,25 hPa, versturen. De aanscherping van de CS-ACNS kan er op termijn voor zorgen dat de DAP alsnog geschikt wordt voor implementatie in grondsystemen.

Bijlage 1 Overzicht van DAPs

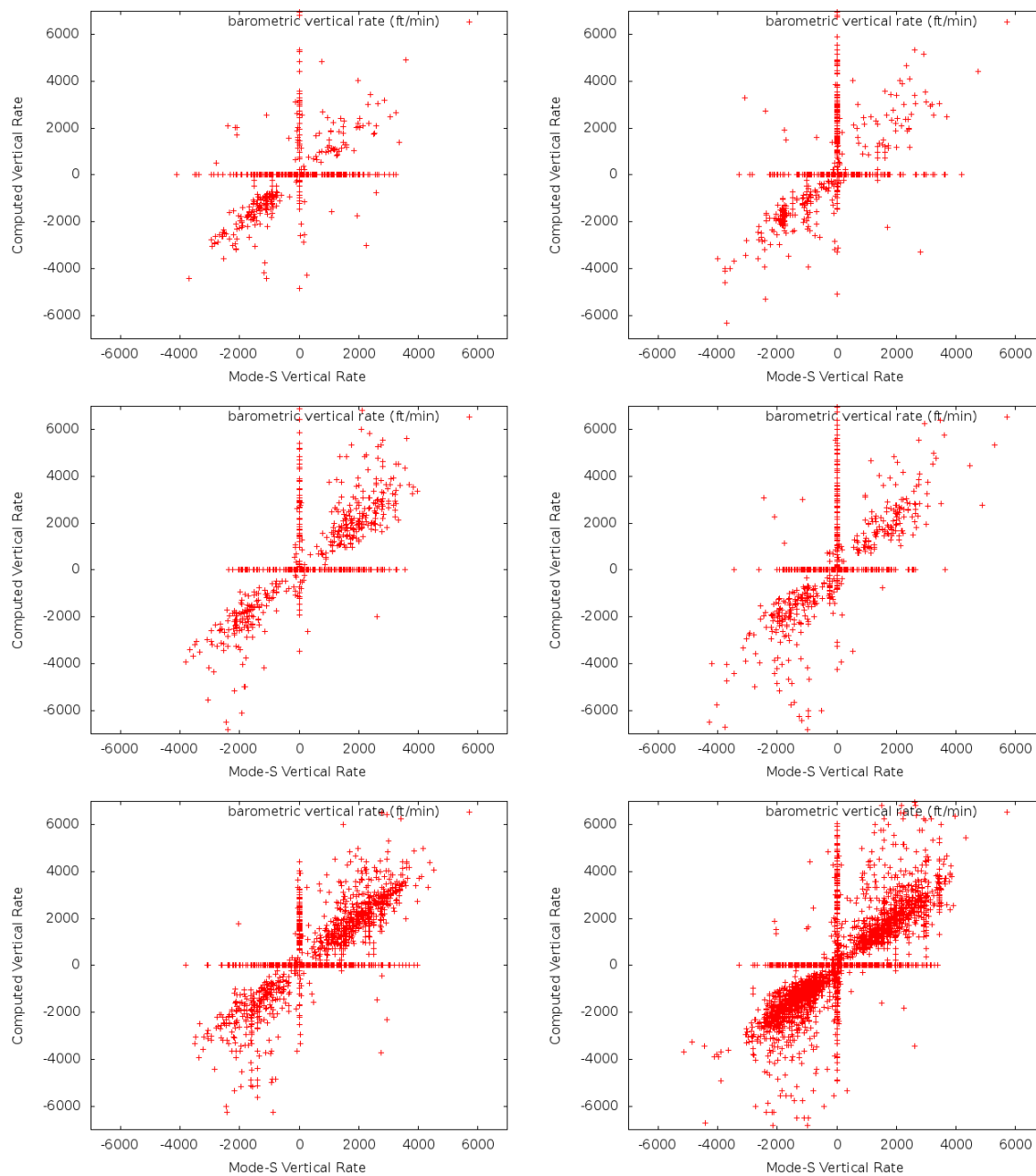
Register	Toewijzing	Parameters	EHS verplicht ⁵
4,0	Selected vertical intention	MCP/FCU Selected Altitude	Yes
		FMS Selected Altitude	No
		Barometric Pressure Setting	Yes
5,0	Track and turn report	Roll Angle	Yes
		True Track Angle	Yes
		Ground Speed	Yes
		Track Angle Rate	Yes
		True Airspeed (if Track Angle Rate not available)	Yes
6,0	Heading and Speed report	Magnetic Heading	Yes
		Indicated Airspeed	Yes
		Mach	Yes
		Barometric Altitude Rate	Yes
		Inertial Vertical Velocity	Yes
2,1	Aircraft and airline registration markings	Aircraft registration number	No
		ICAO airline registration marking	No
2,2	Antenna positions	Antenna 1,2,3,4	No
2,5	Aircraft type	Aircraft type	No
		Number of engines	No
		Engine type	No
		Model designation	No
		Wake turbulence category	No
3,0	ACAS active resolution advisory	RA Report ⁶	
4,1	Next waypoint identifier	-	No
4,2	Next waypoint position	Waypoint latitude	No
		Waypoint longitude	No
		Waypoint crossing altitude	No
4,3	Next waypoint information	Bearing to waypoint	No
		Time to go	No

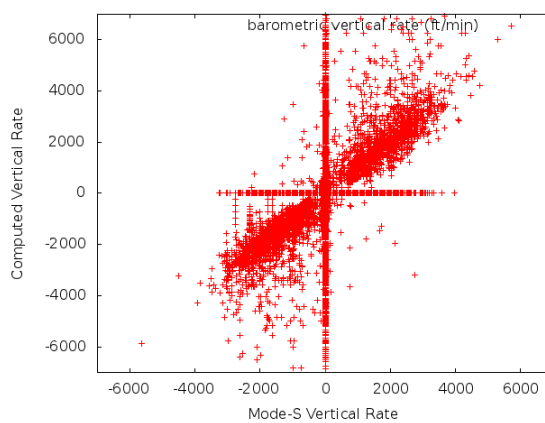
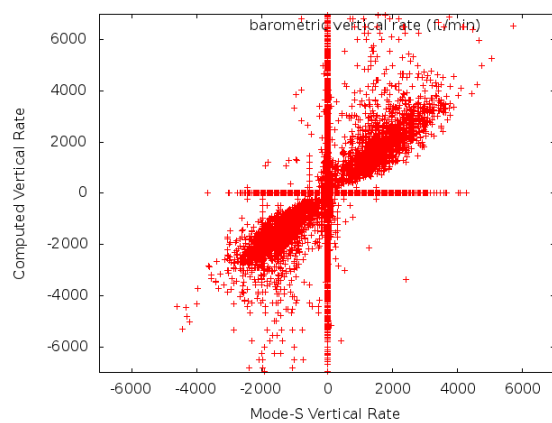
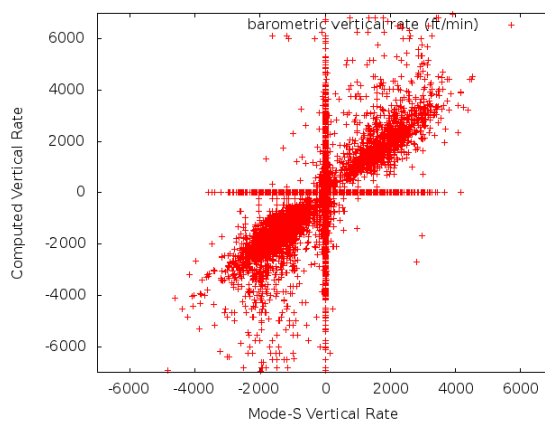
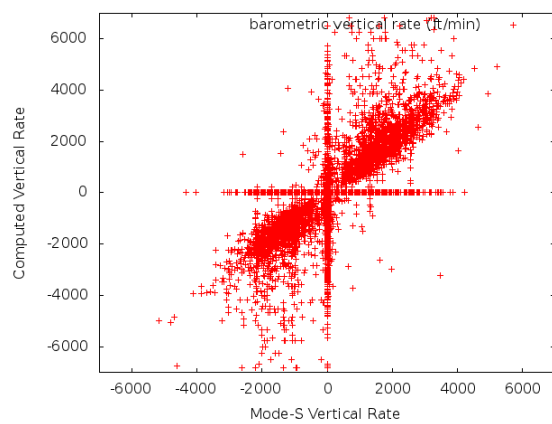
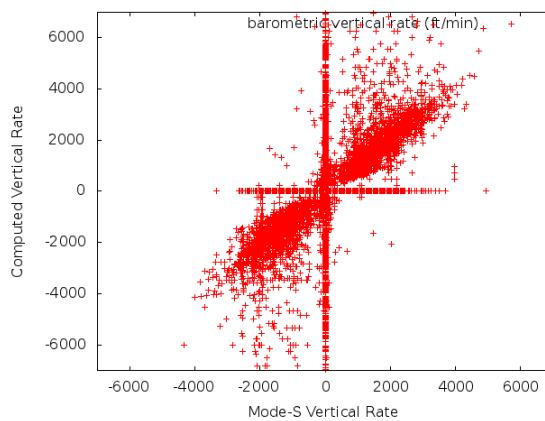
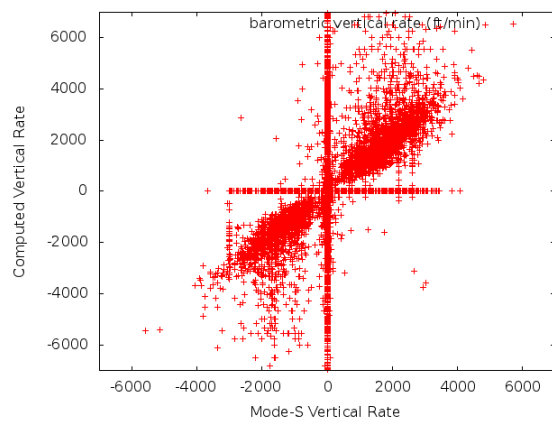
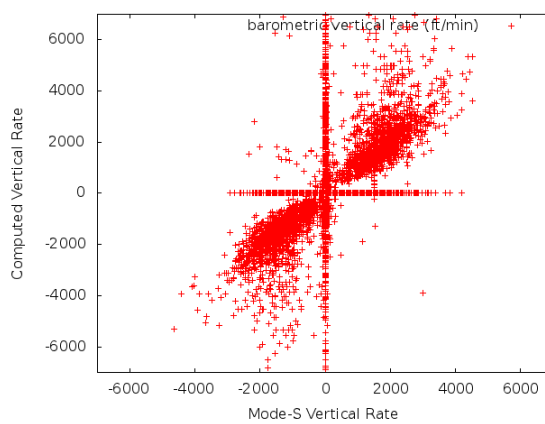
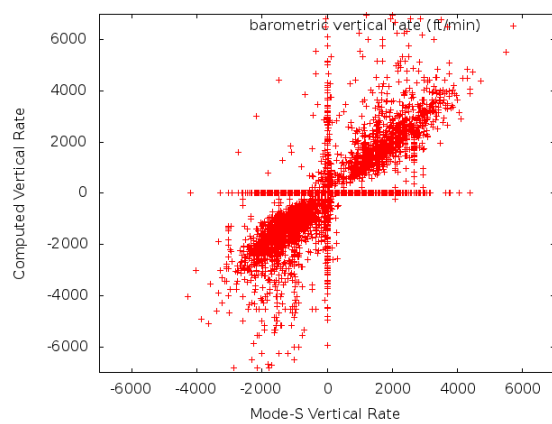
⁵ Parameters die verplicht gesteld worden in EU IR 1207/2011.

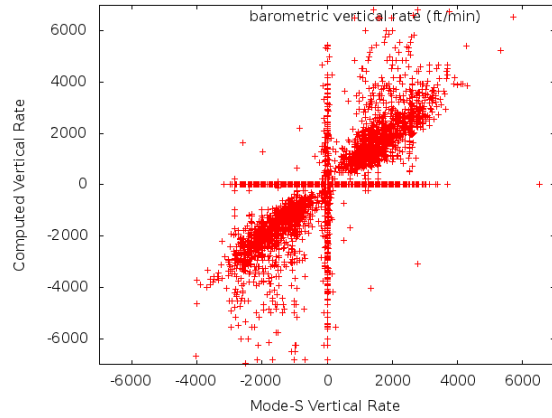
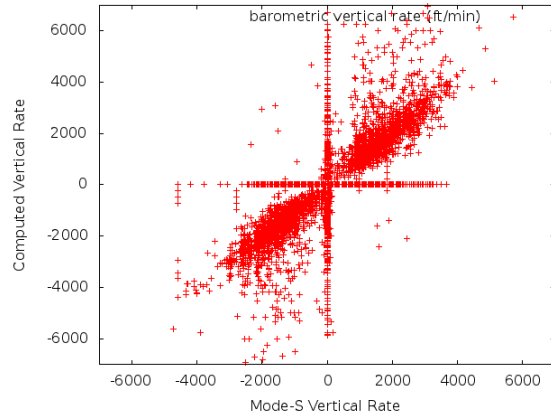
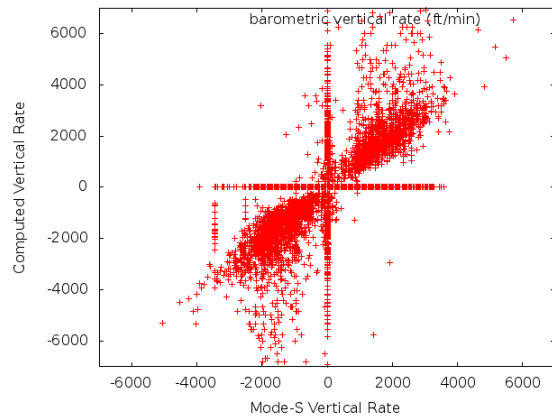
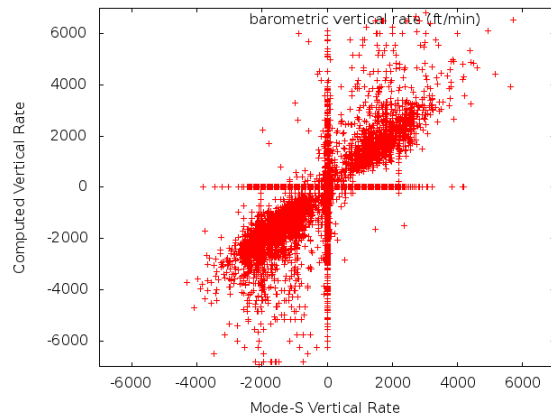
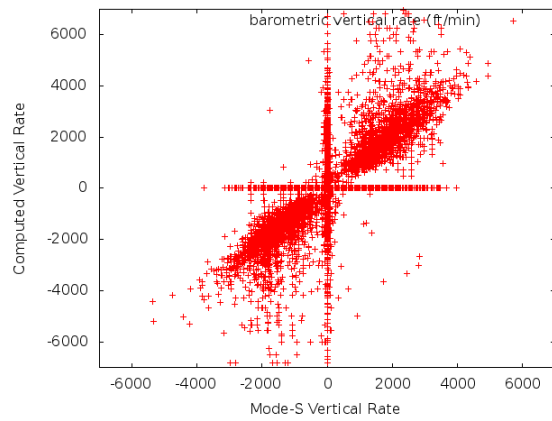
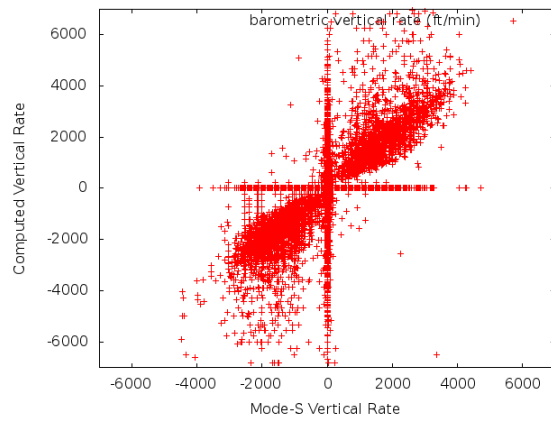
⁶ Alleen voor ACAS II capable vliegtuigen.

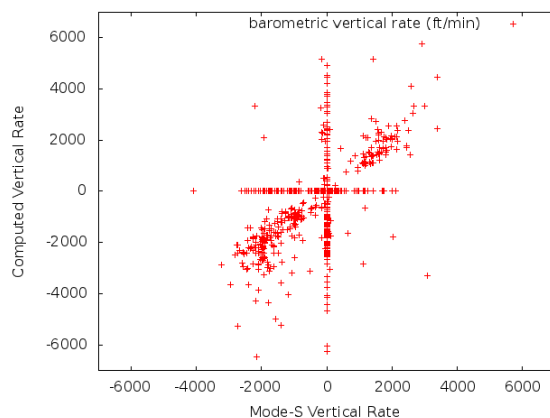
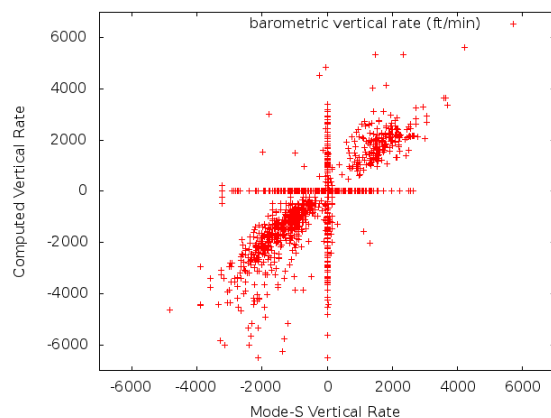
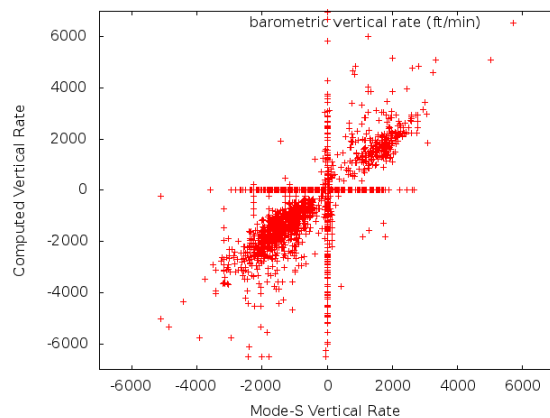
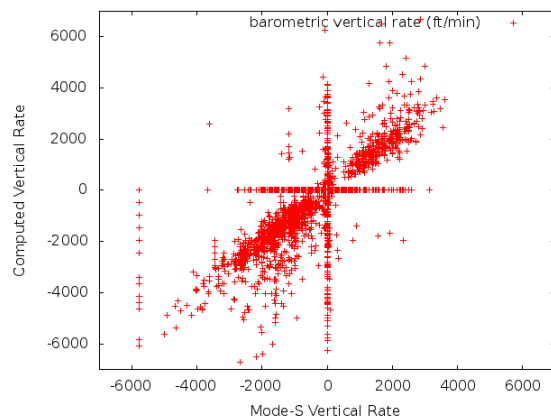
Register	Toewijzing	Parameters	EHS verplicht ⁵
		Distance to go	No
4,4	Meteorological routine air report	Wind speed and direction	No
		Static air temperature	No
		Average static pressure	No
		Turbulence flag	No
		Humidity	No
4,5	Meteorological hazard report	Turbulence	No
		Wind shear	No
		Microburst	No
		Icing	No
		Wake vortex	No
		Static Air temperature	No
		Average Static pressure	No
		Radio height	No
4,8	VHF channel report	VHF1	No
		VHF2	No
		VHF3	No
5,1	Position report coarse	Latitude	No
		Longitude	No
		Pressure altitude	No
5,2	Position report fine	Latitude fine	No
		Longitude fine	No
		Pressure altitude or GNSS	No
		Height	No
5,4-6	Waypoint 1,2,3	Character 1,2,3,4,5	No
		Estimated time of arrival (normal flight)	No
		Estimated flight level (normal flight)	No
		Time to go (direct route)	No

Bijlage 2 Interne Integriteit Barometrische Hoogte

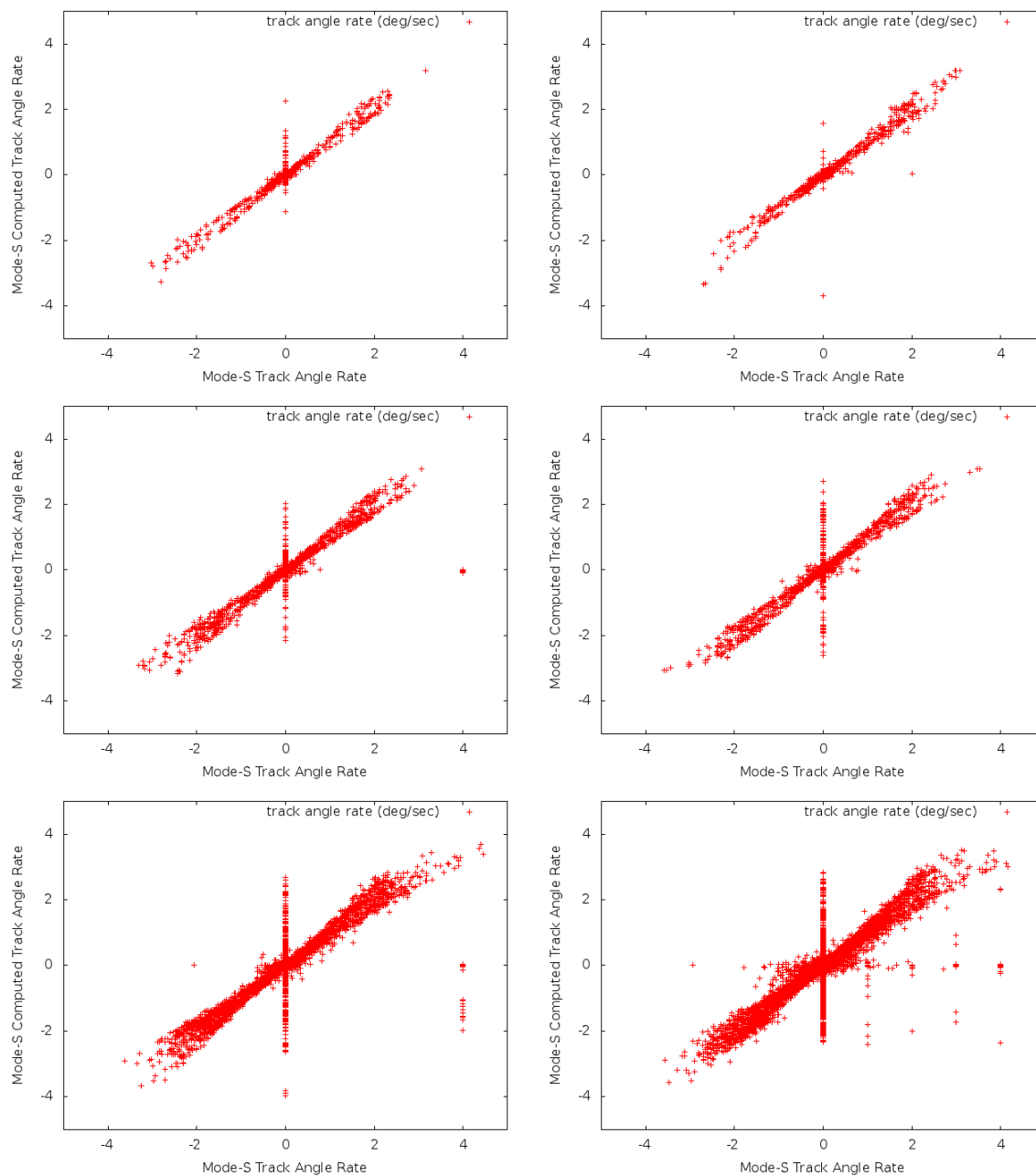


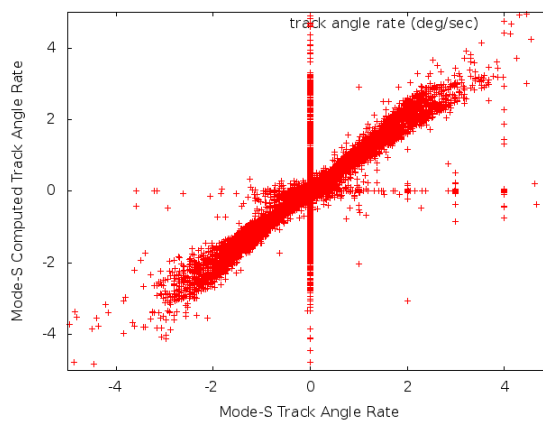
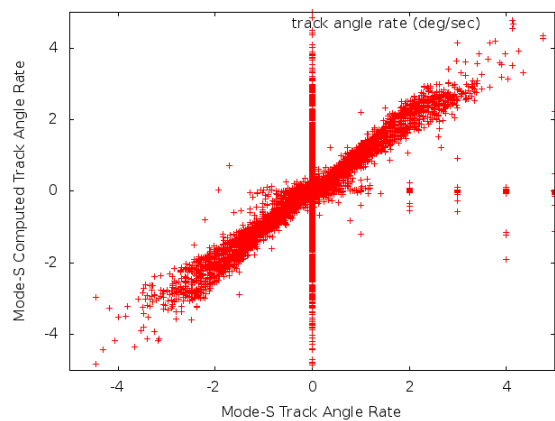
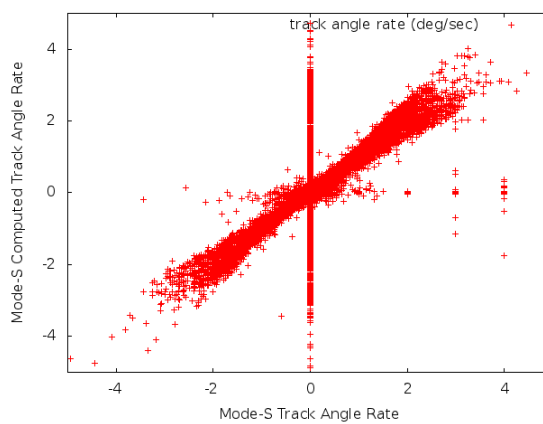
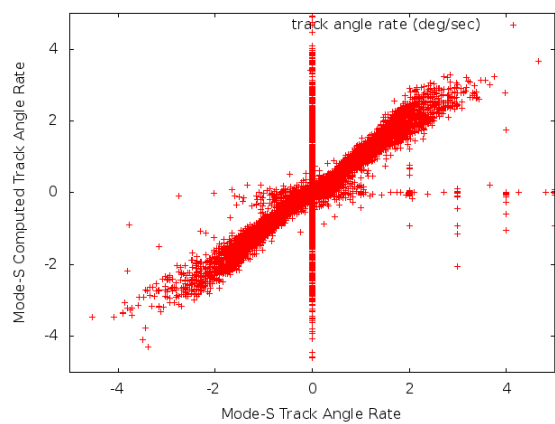
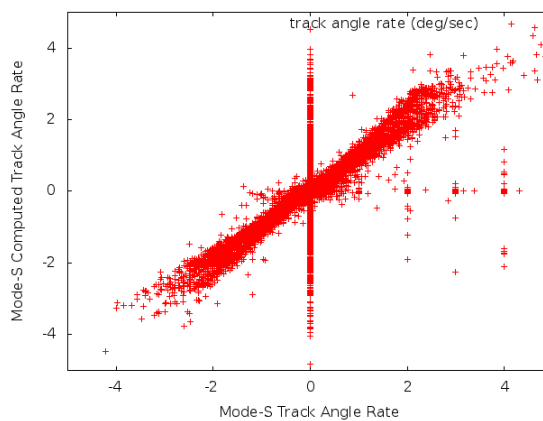
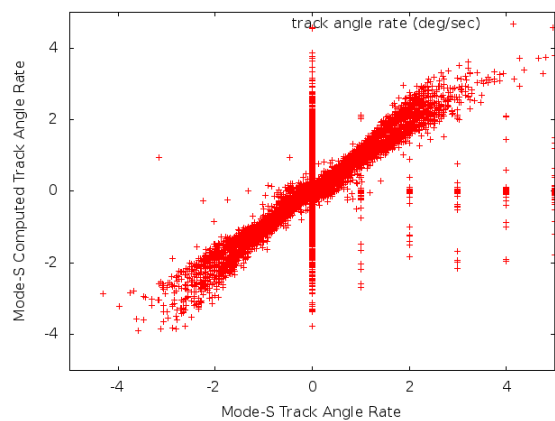
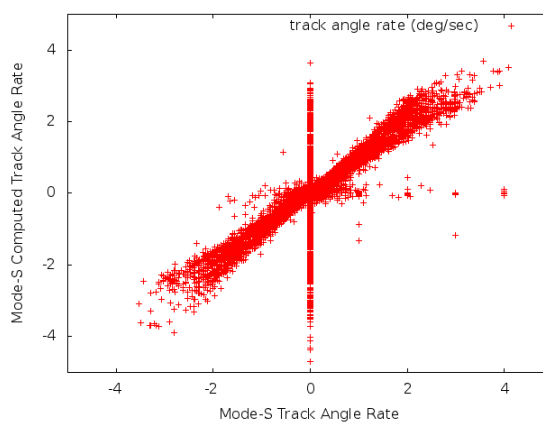
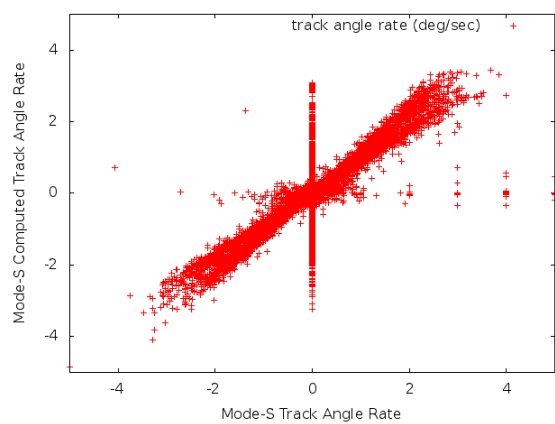


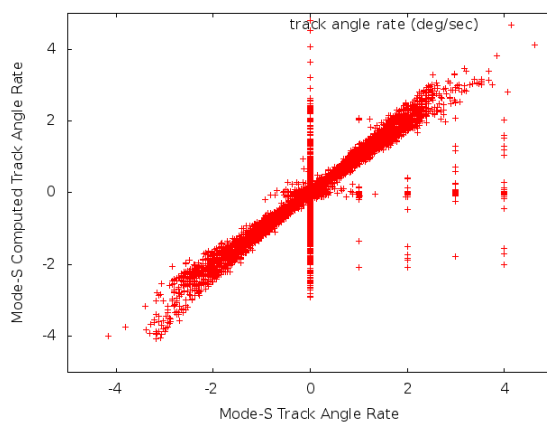
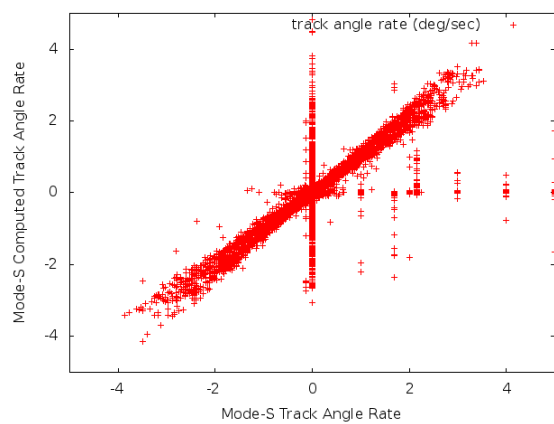
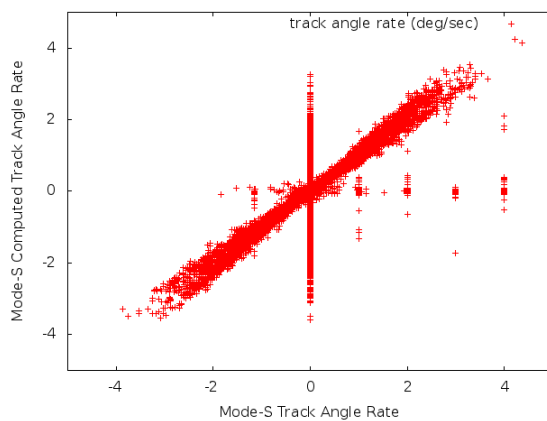
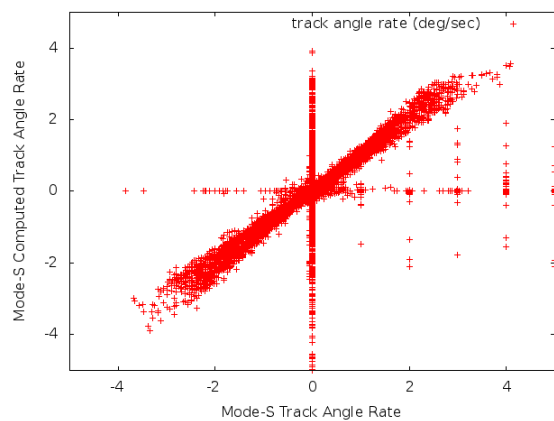
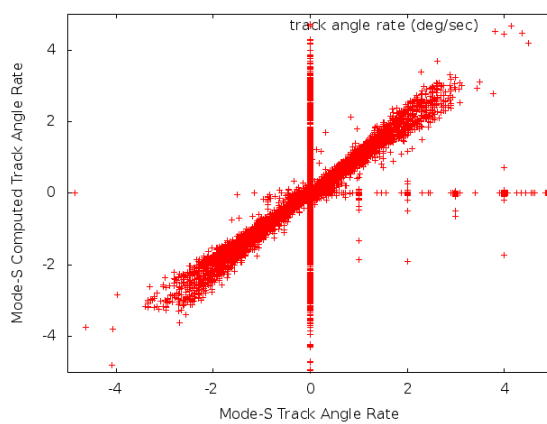
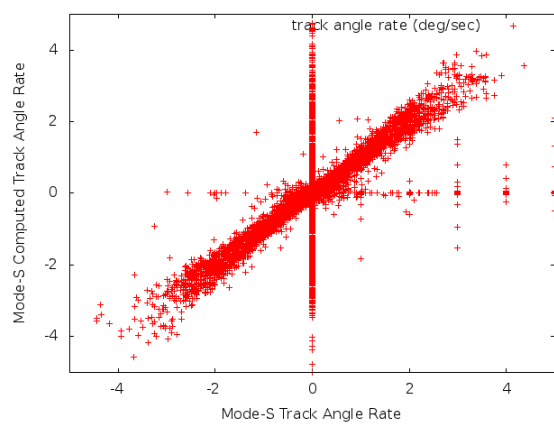


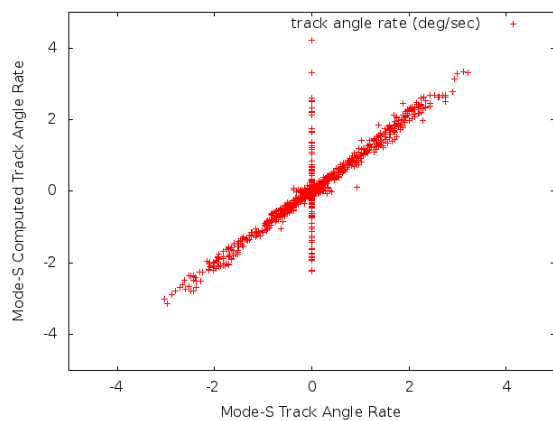
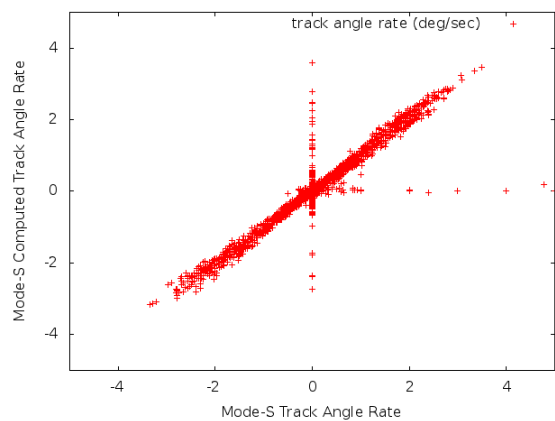
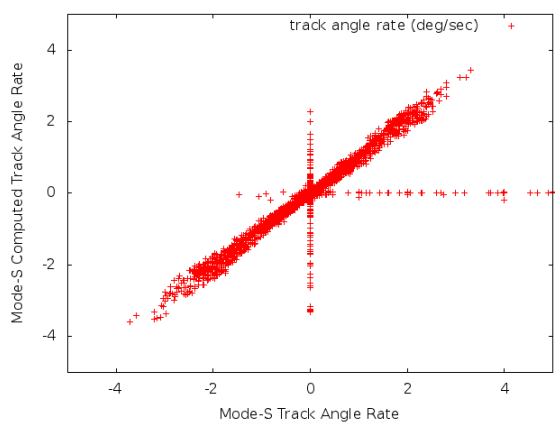
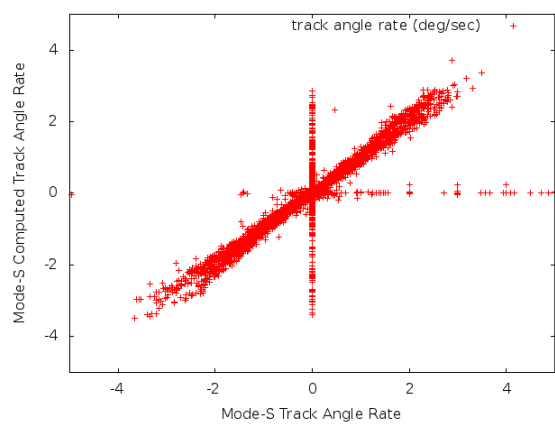


Bijlage 3 Interne Integriteit Track Angle Rate

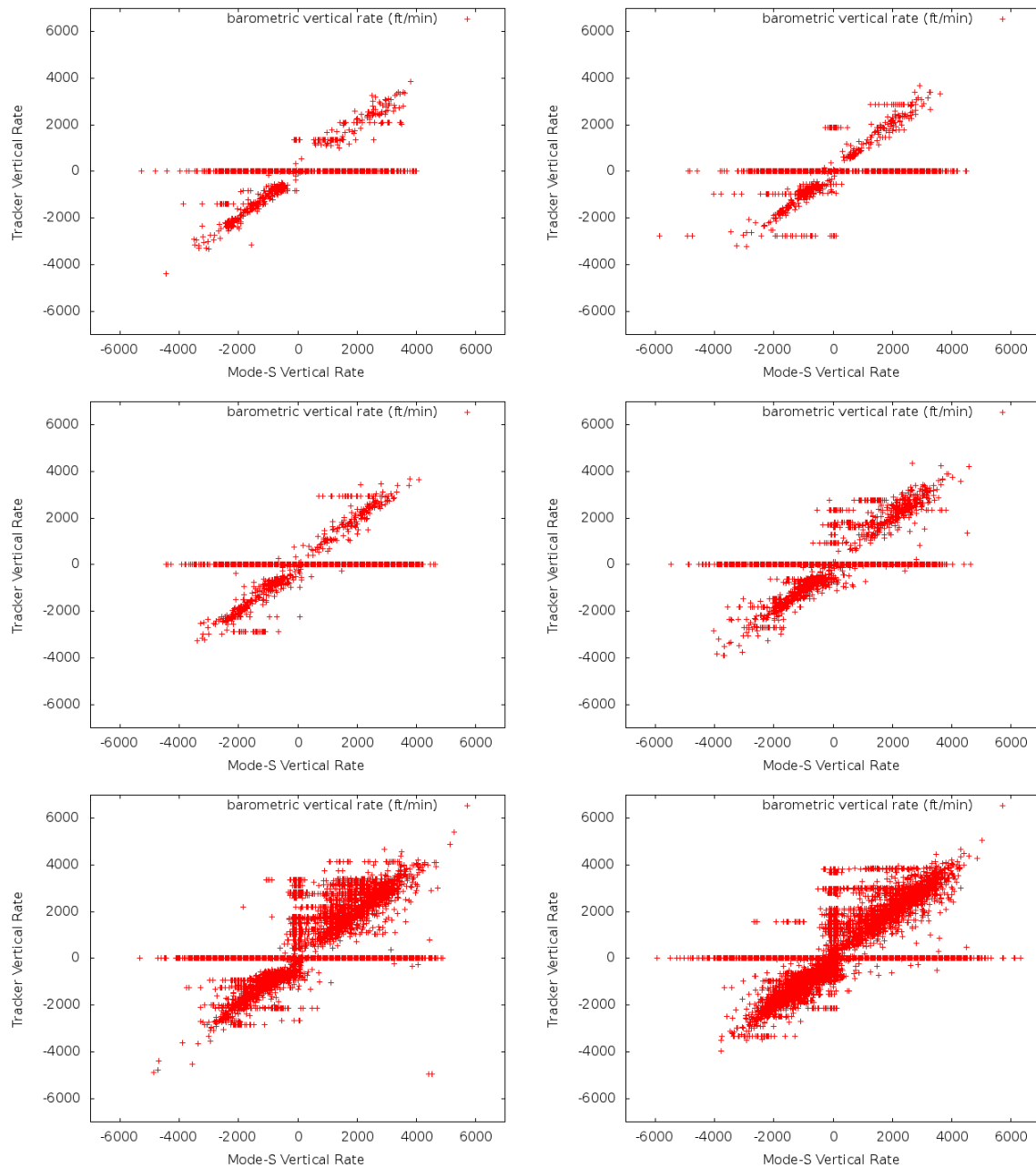


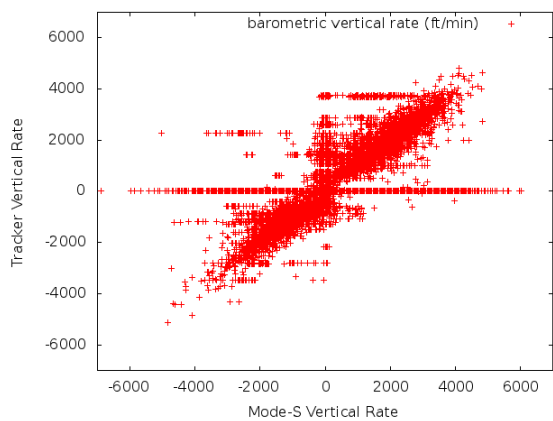
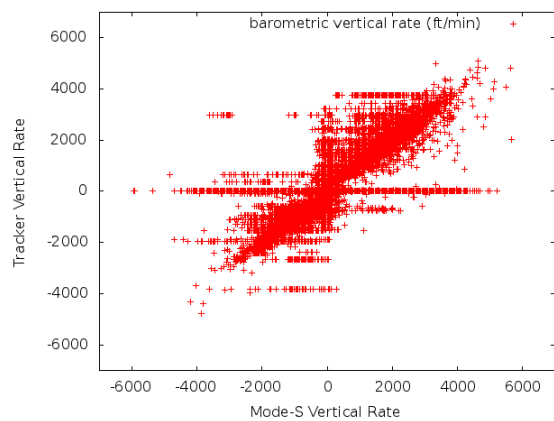
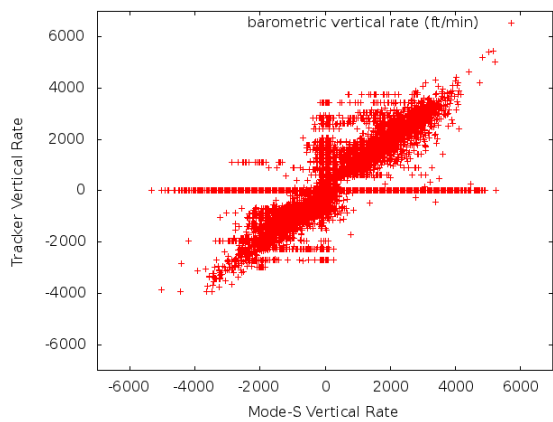
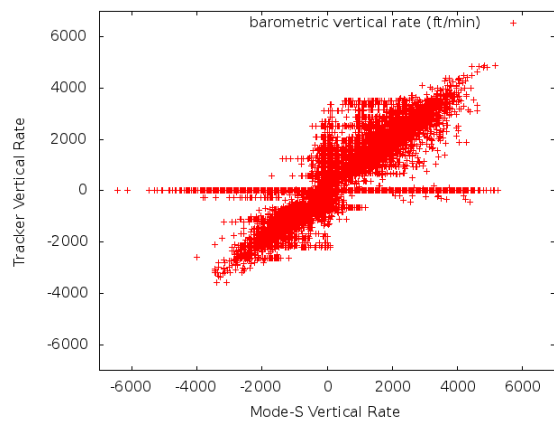
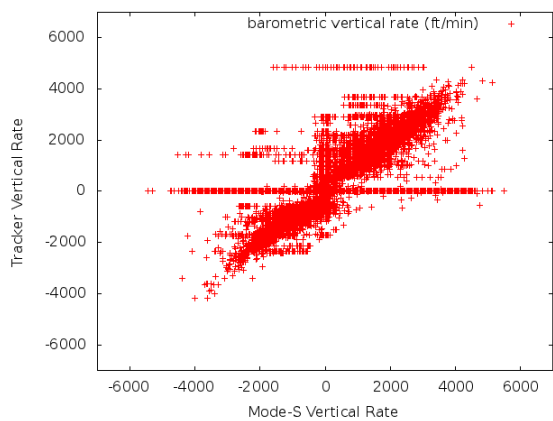
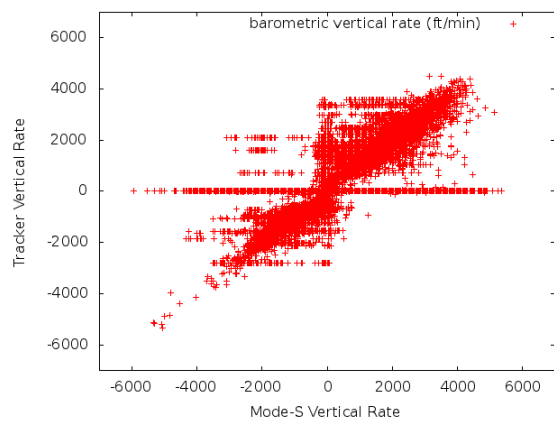
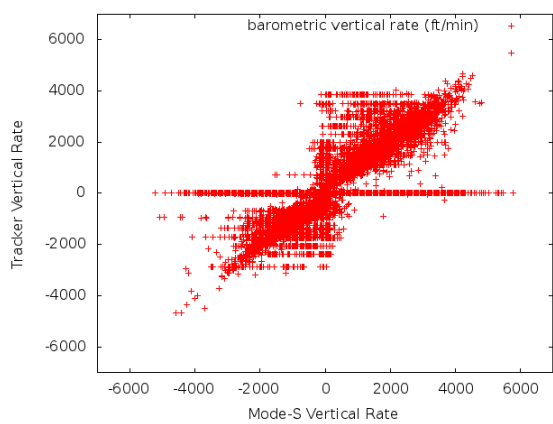
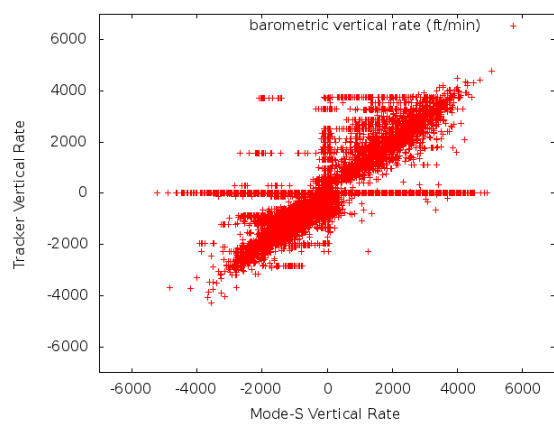


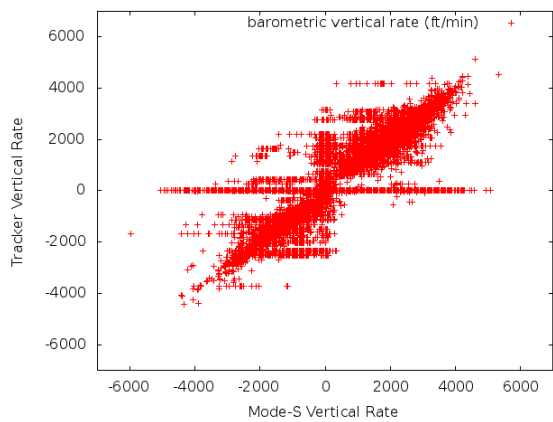
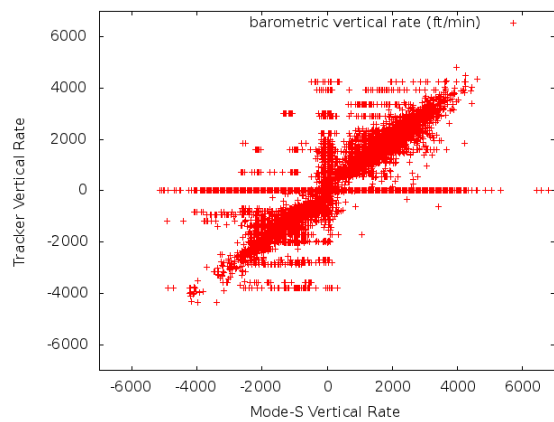
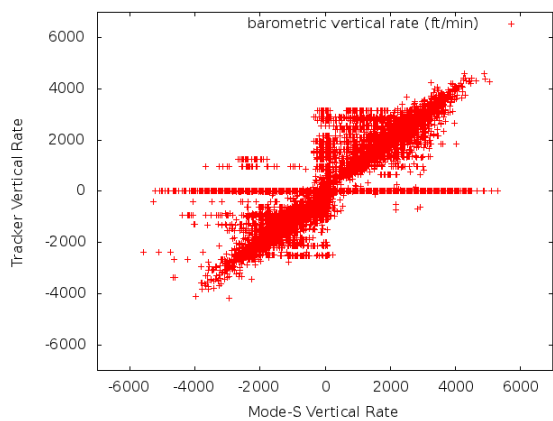
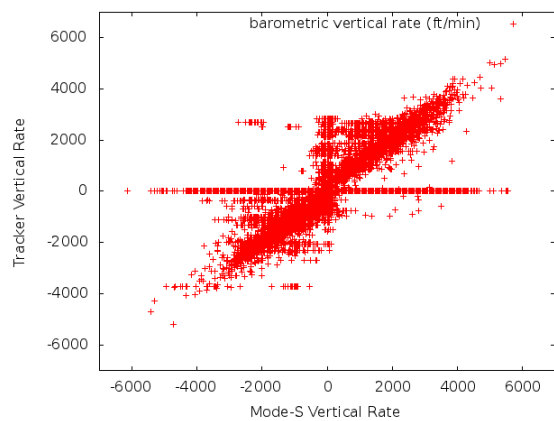
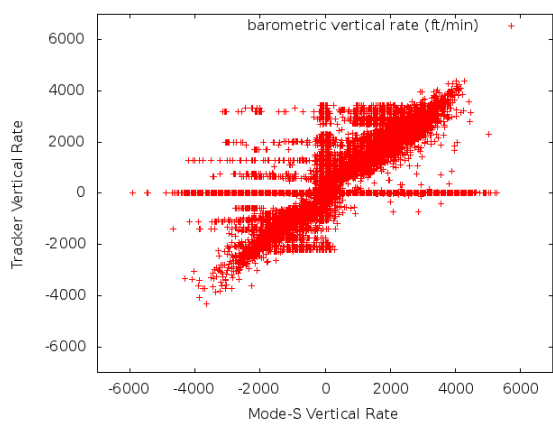
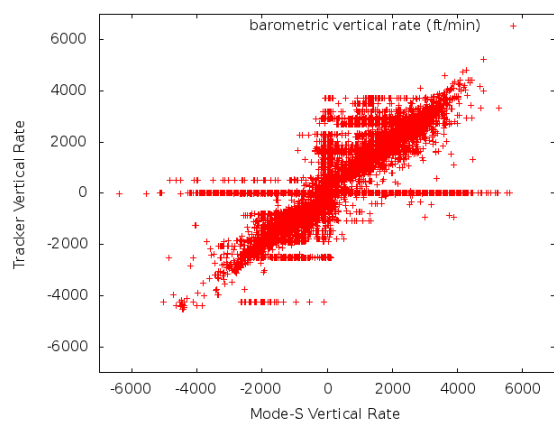


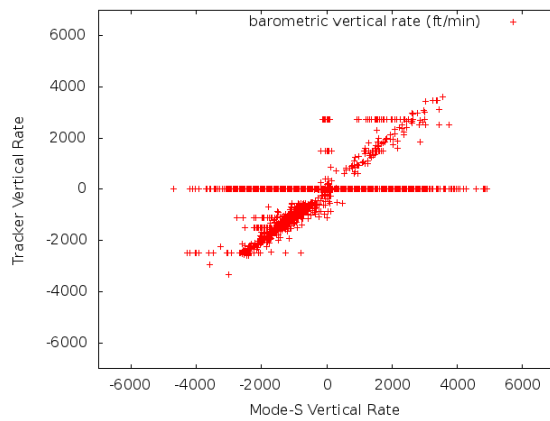
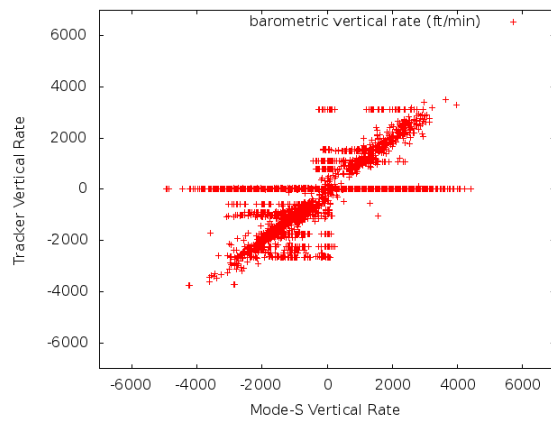
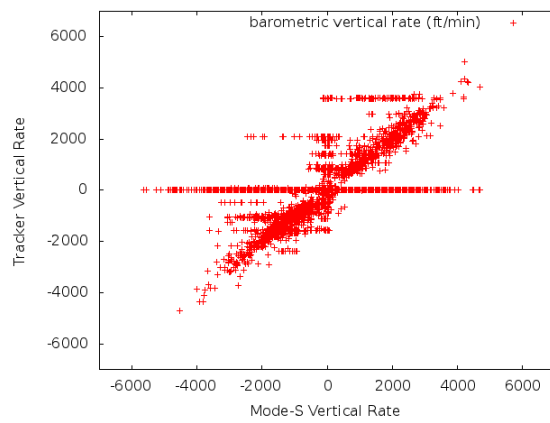
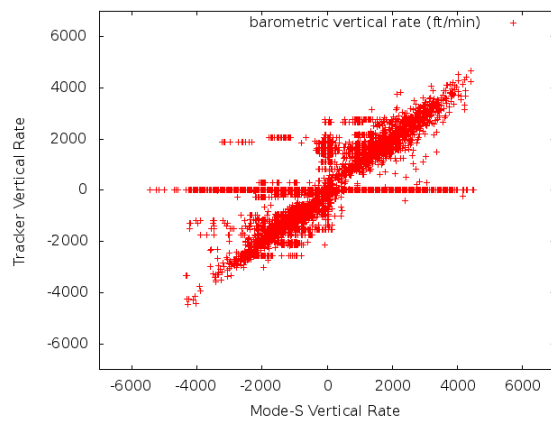


Bijlage 4 Correlatie Vertical Rate

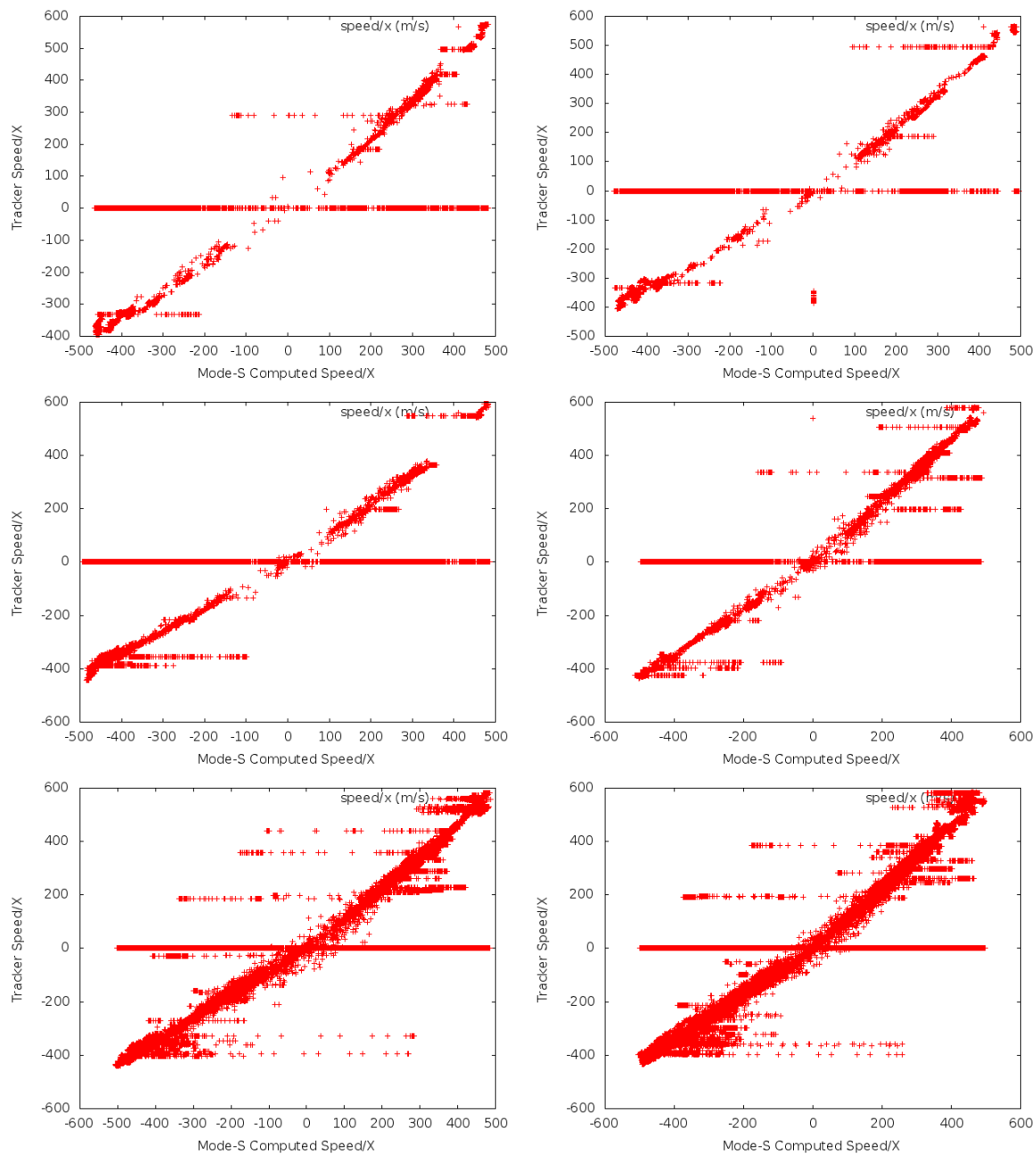


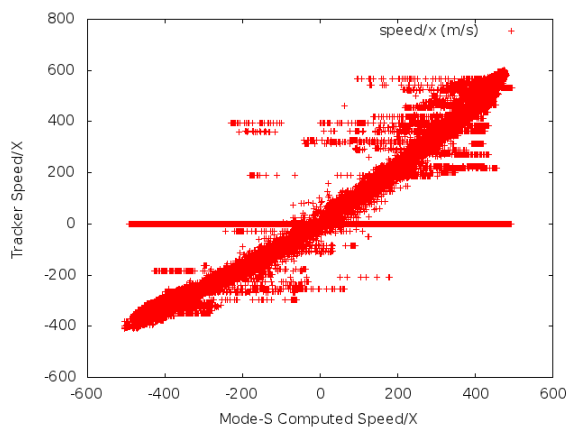
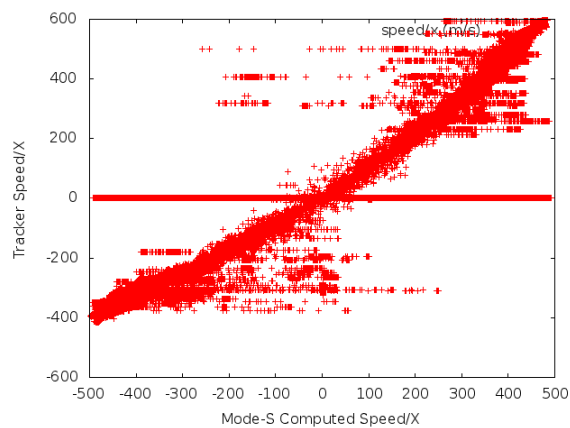
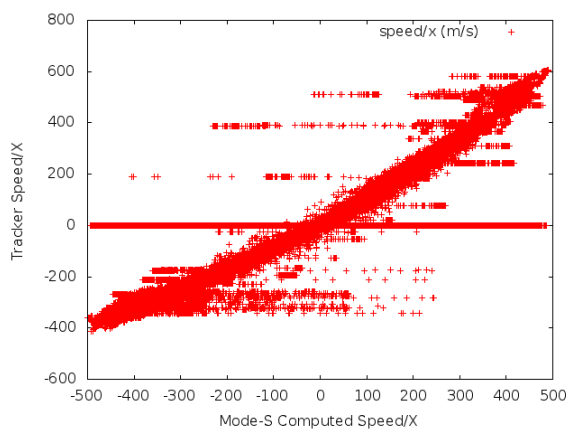
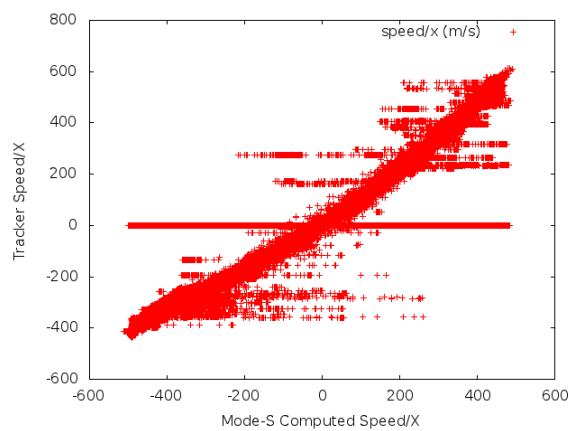
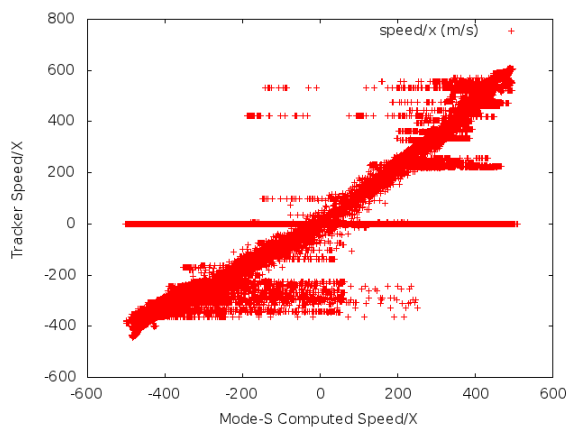
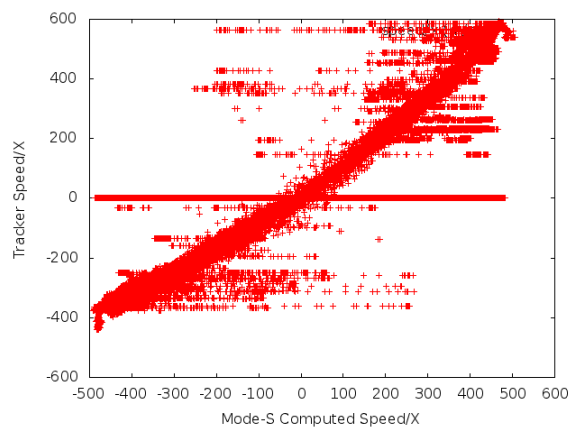
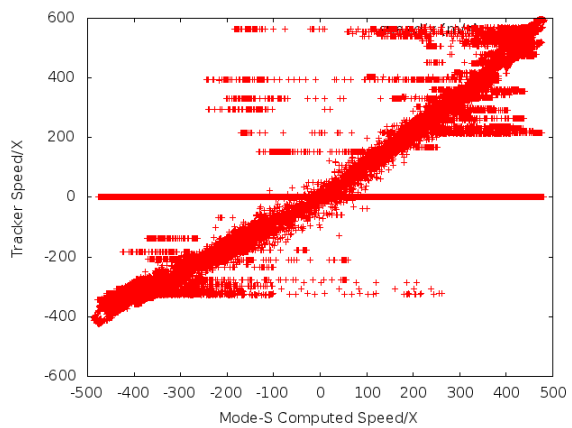
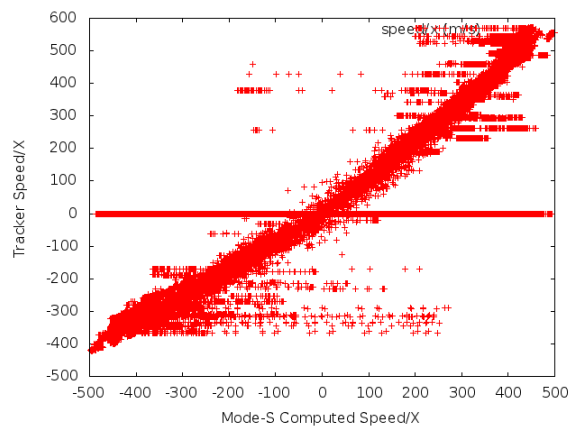


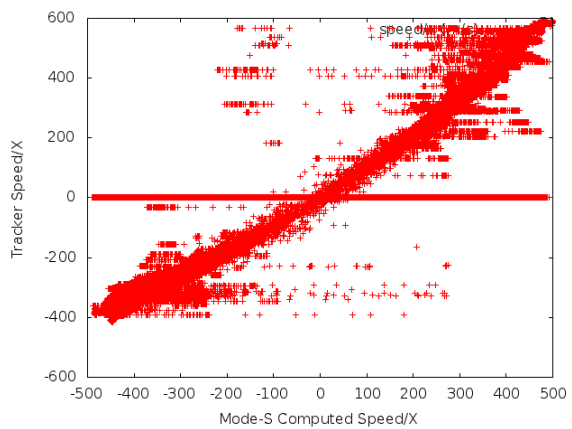
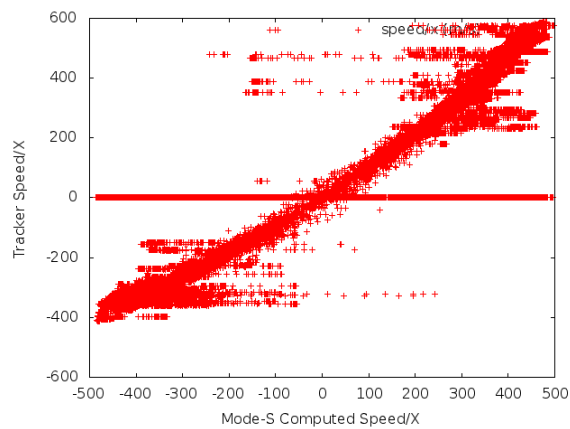
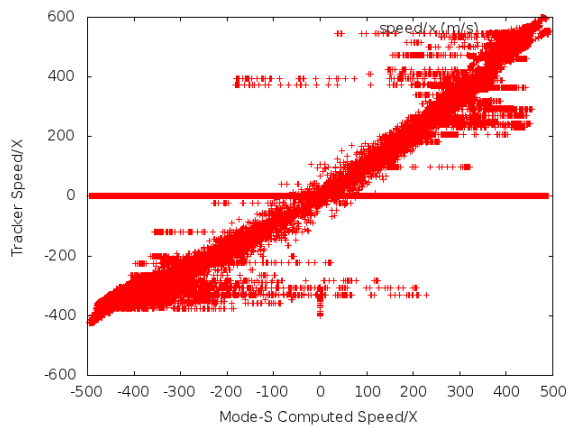
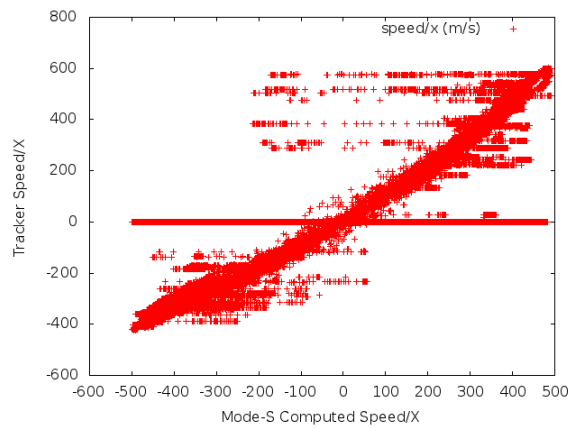
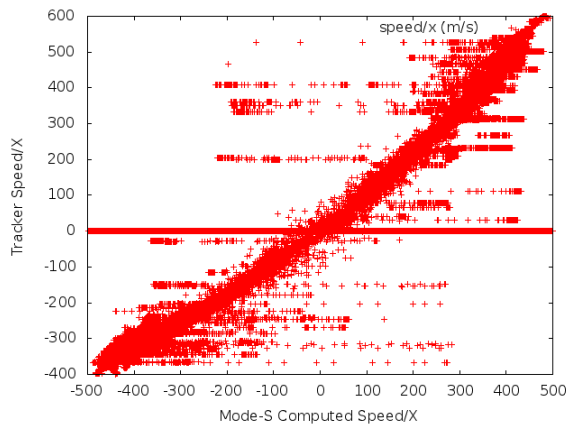
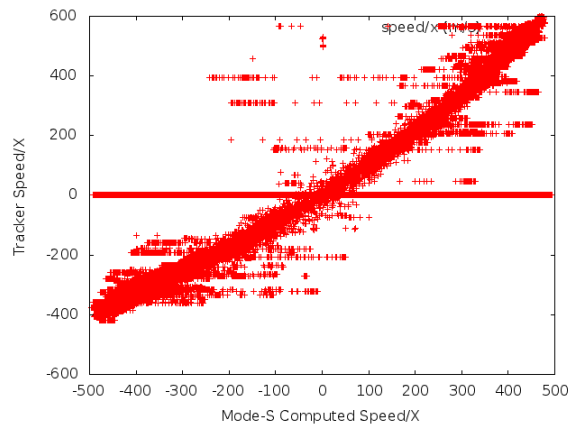


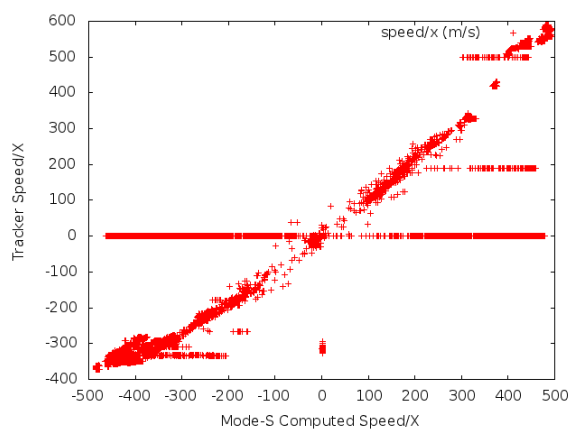
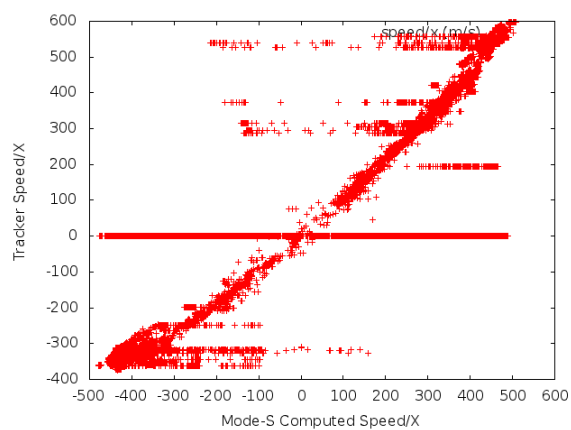
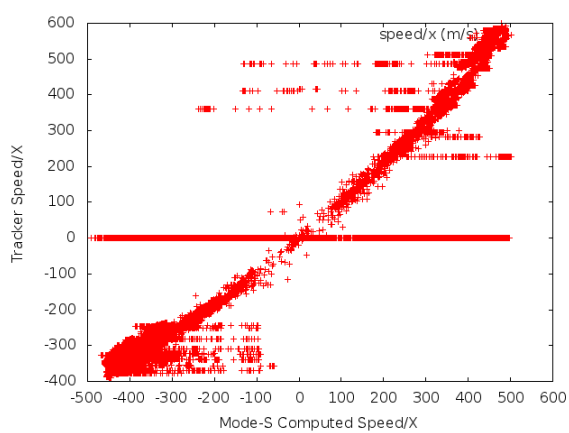
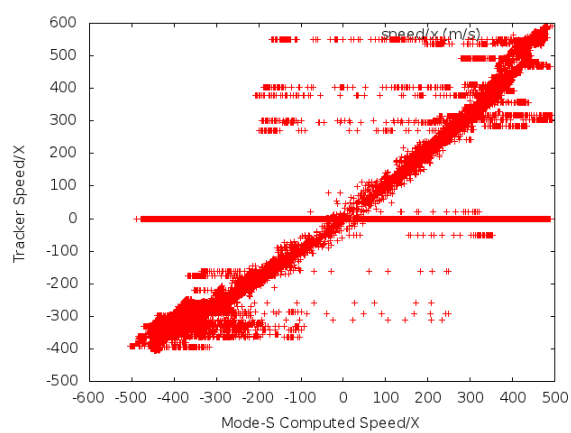


Bijlage 5 Correlatie Snelheid in X-Richting

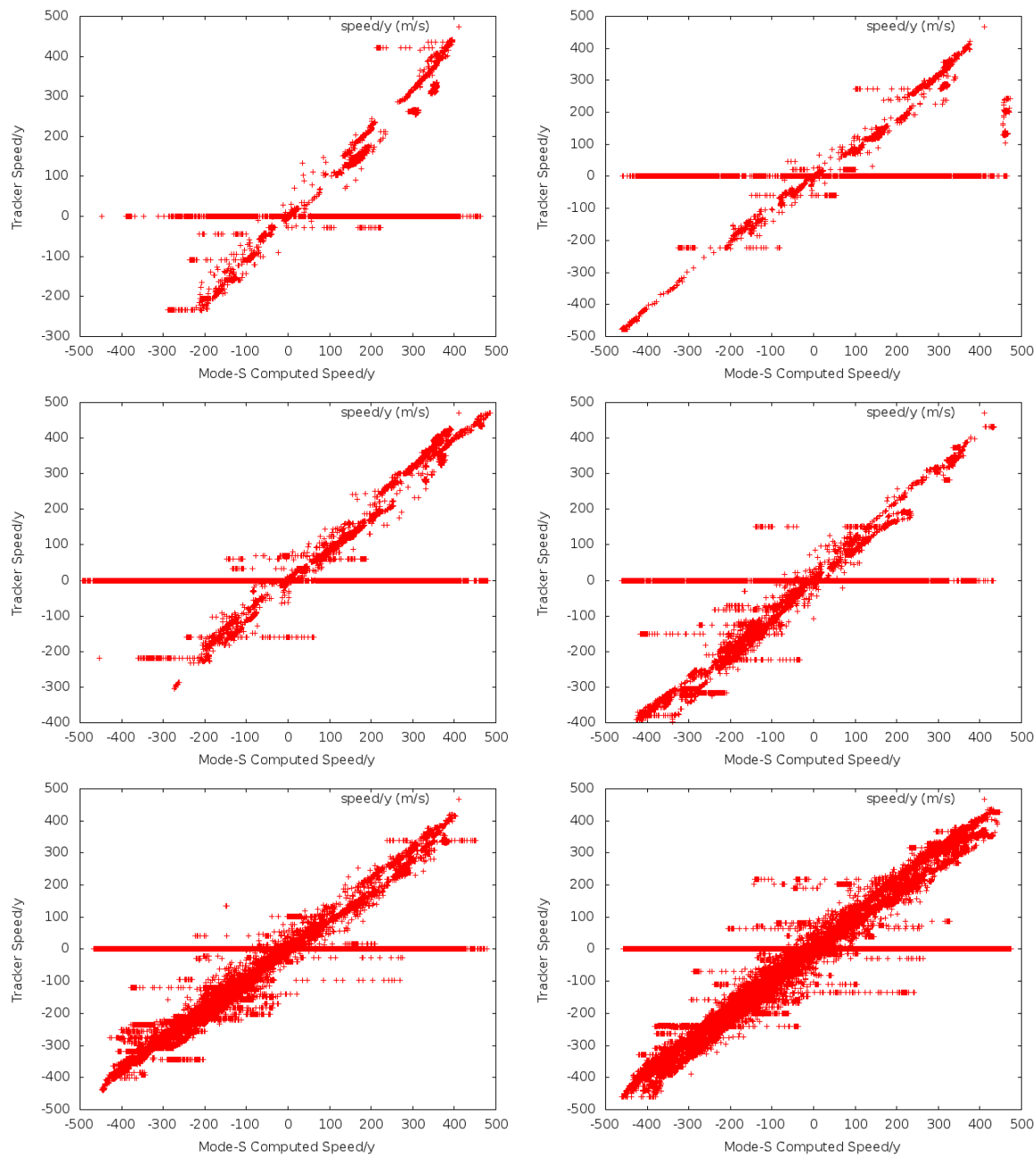


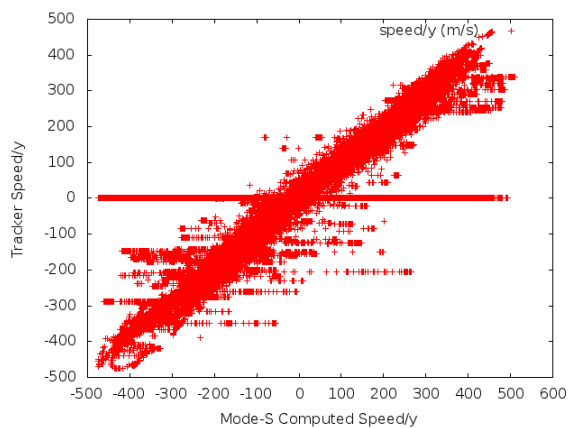
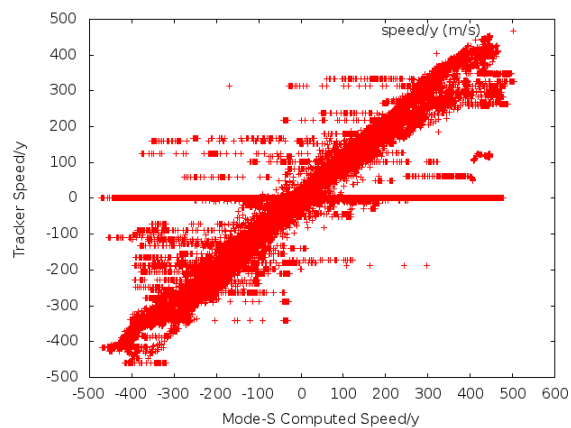
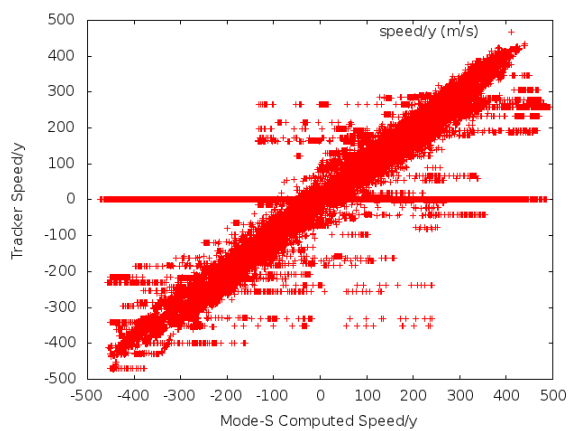
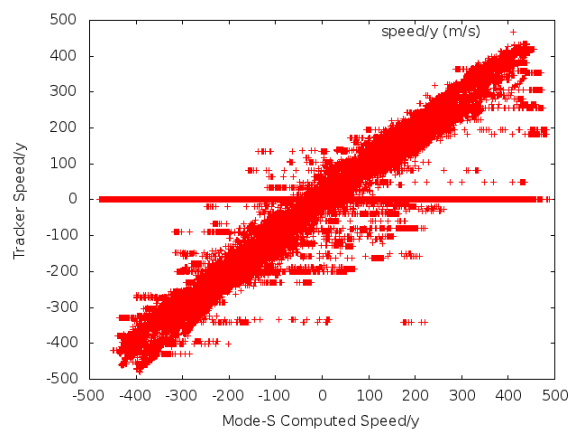
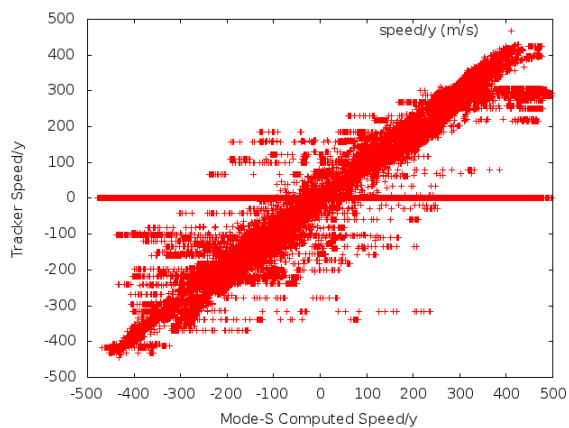
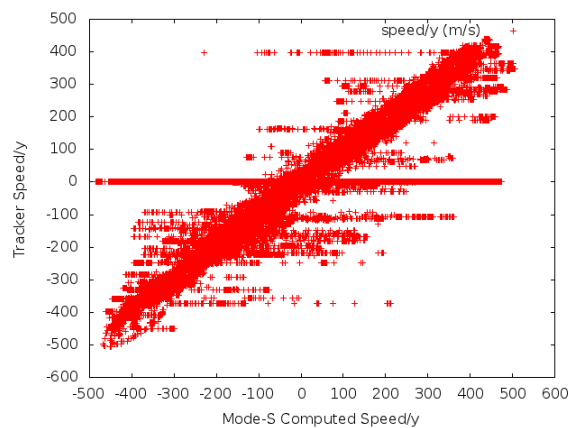
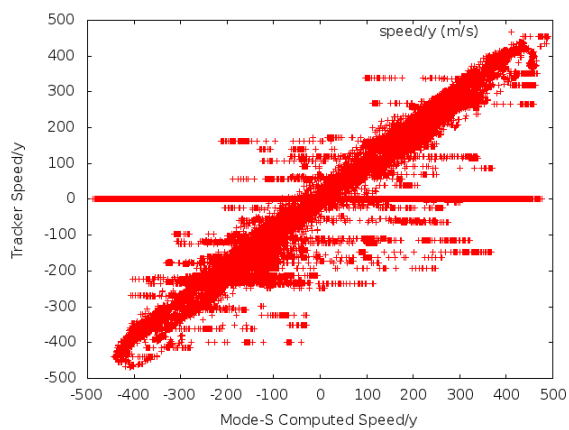
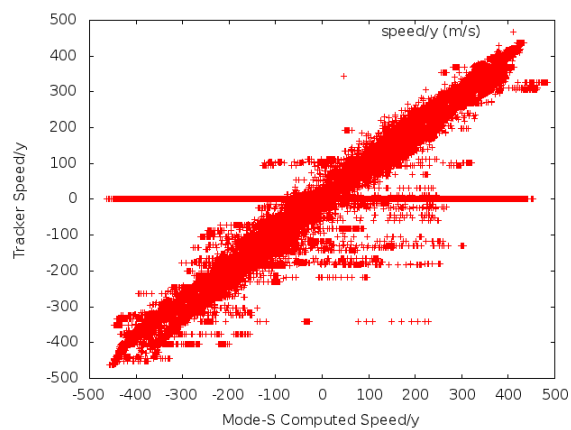


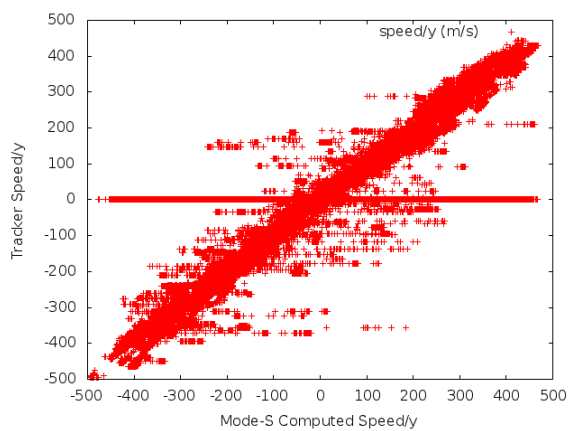
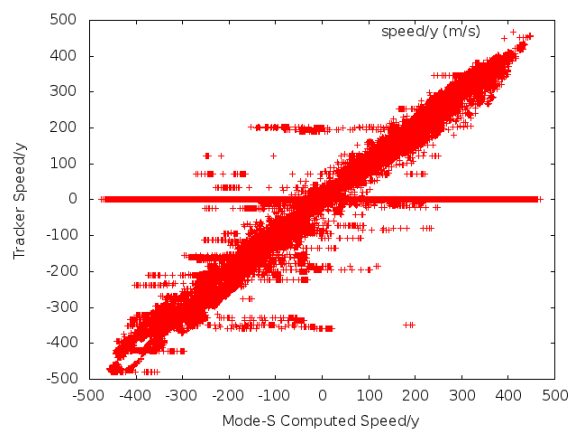
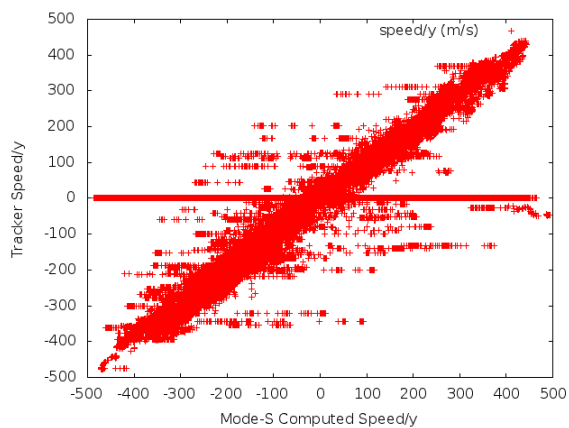
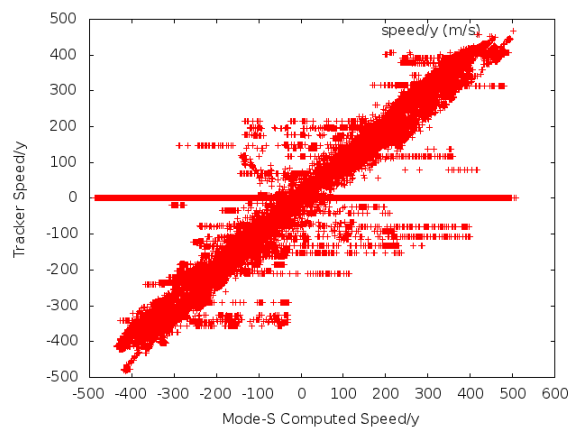
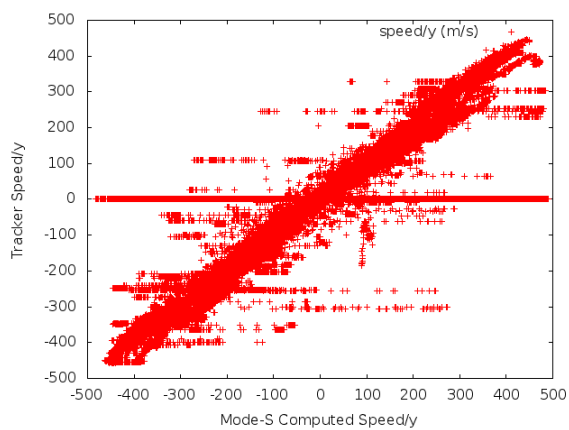
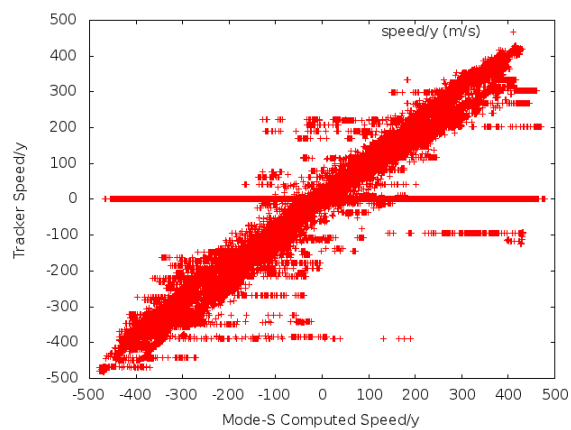


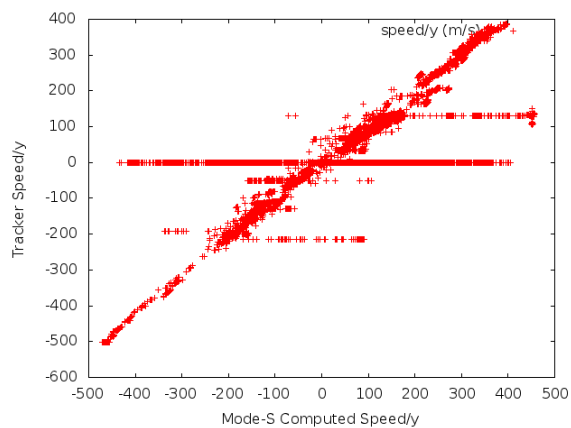
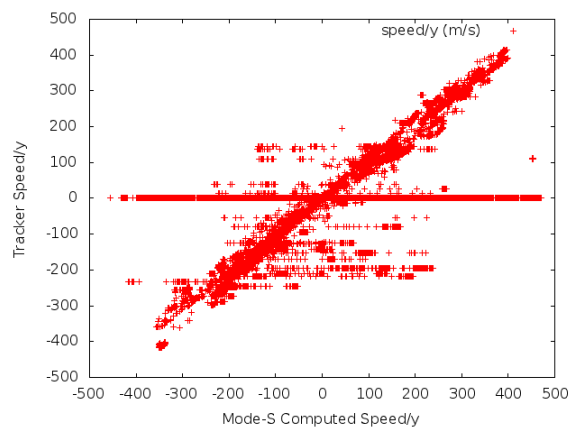
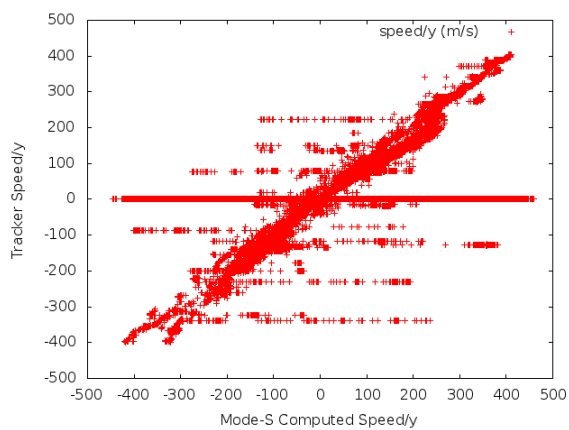
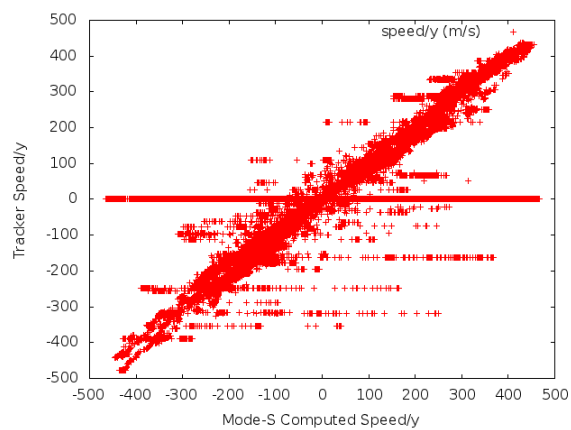


Bijlage 6 Correlatie Snelheid in Y-Richting

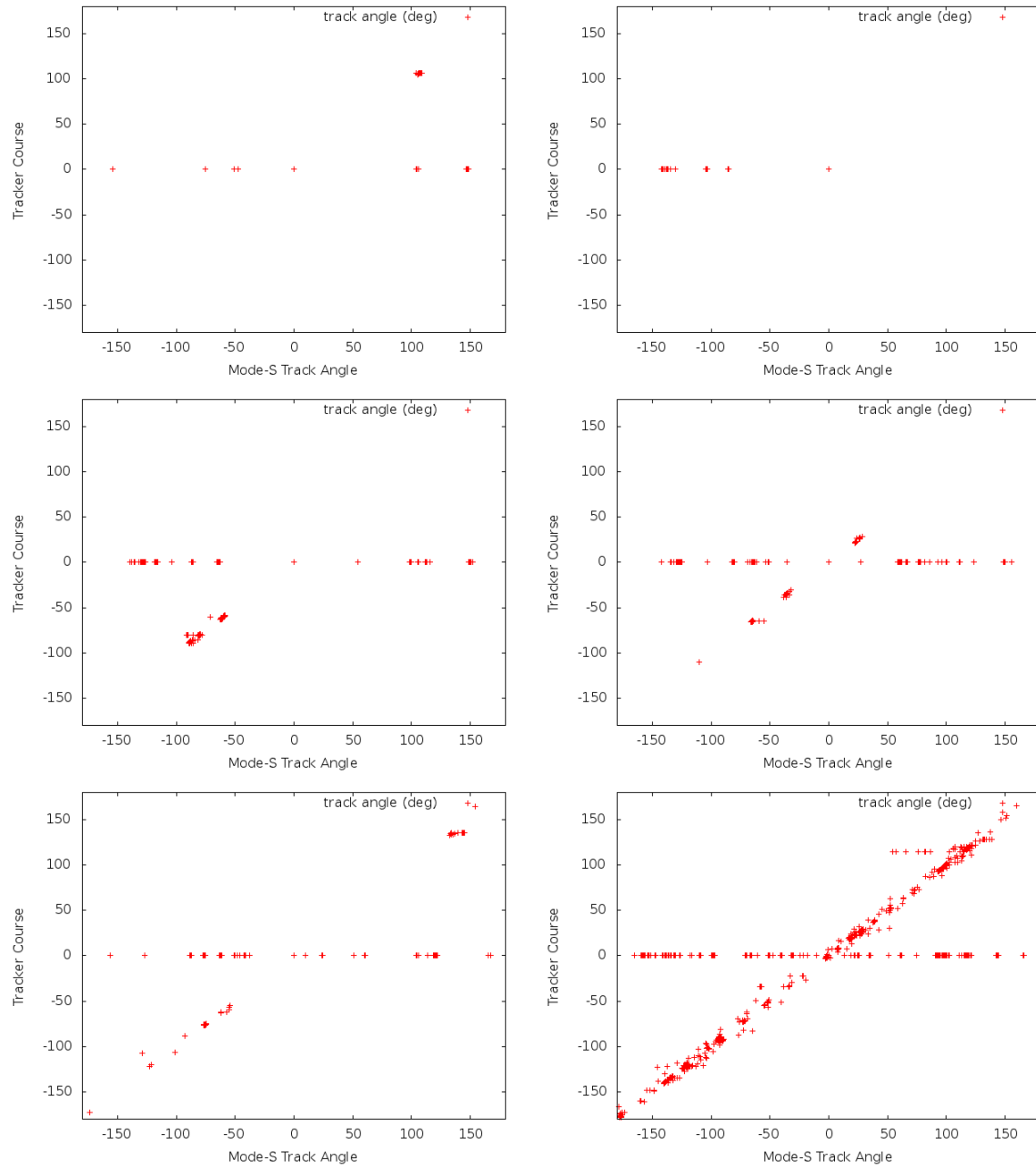


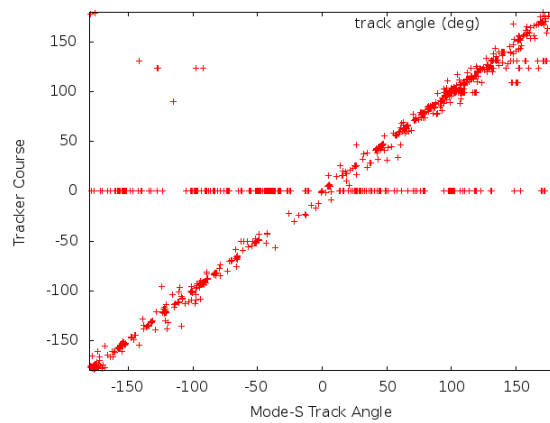
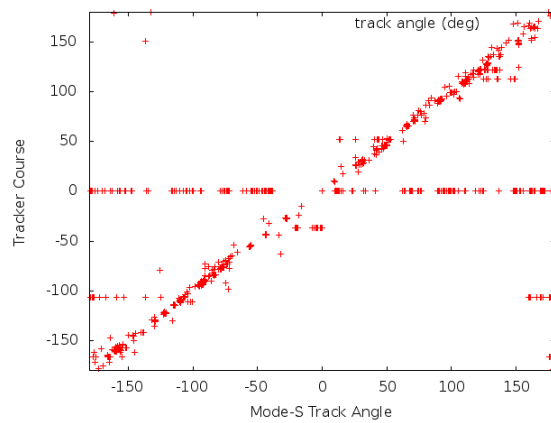
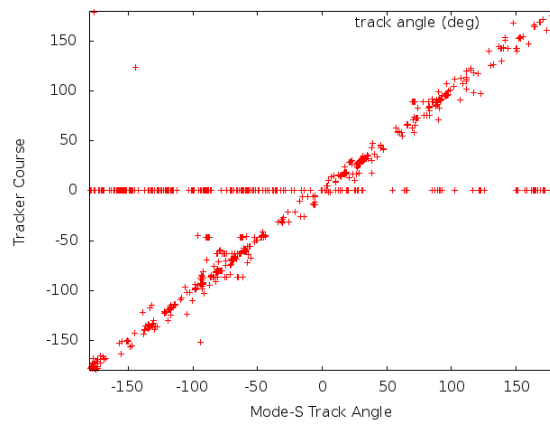
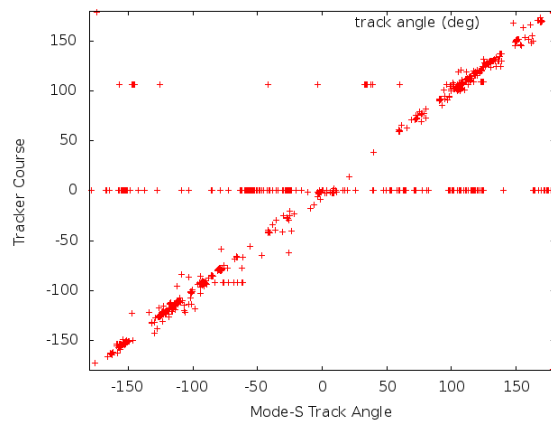
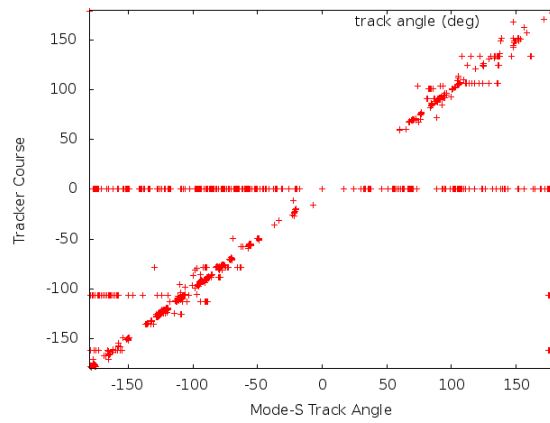
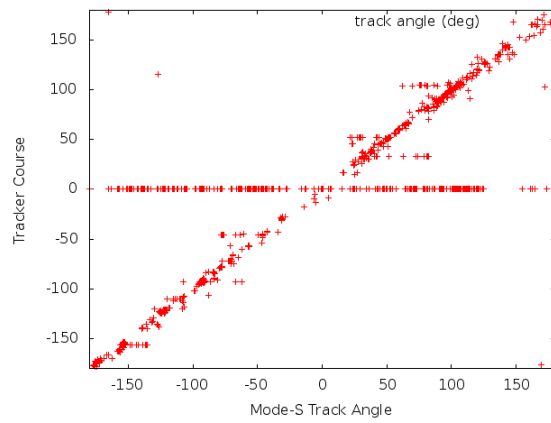
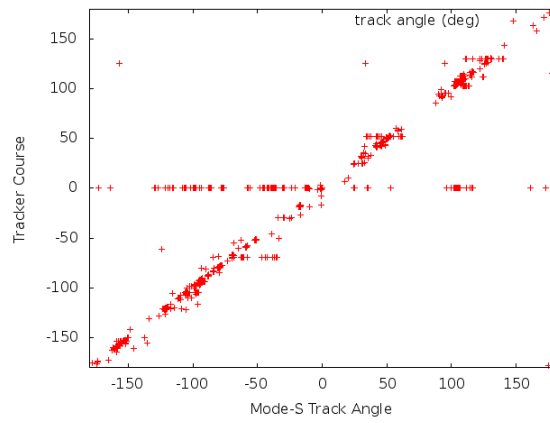
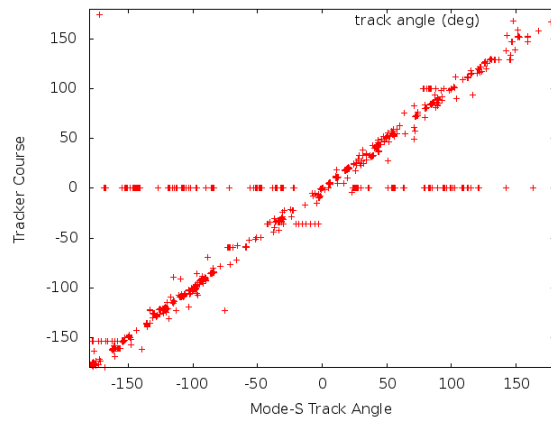


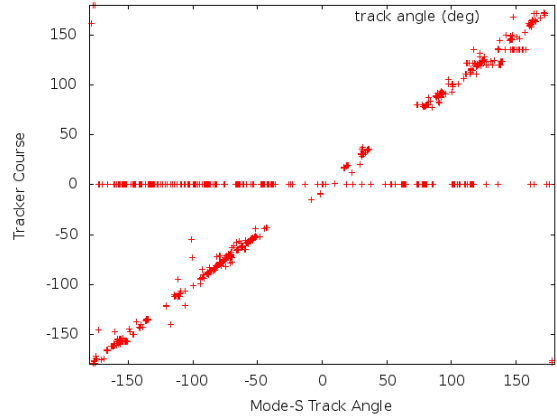
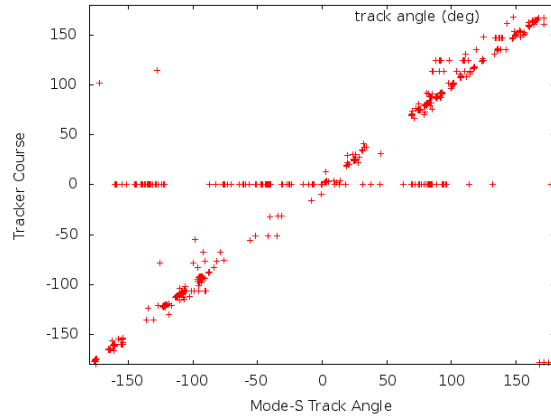
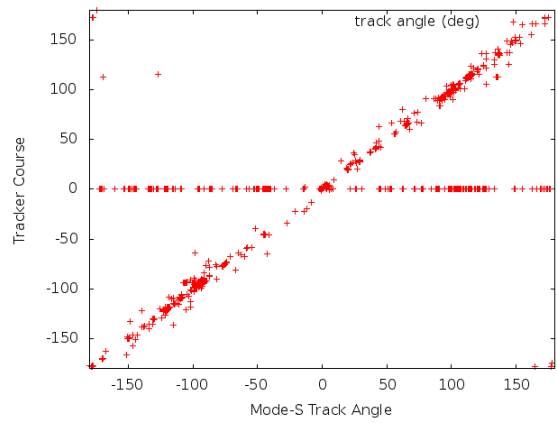
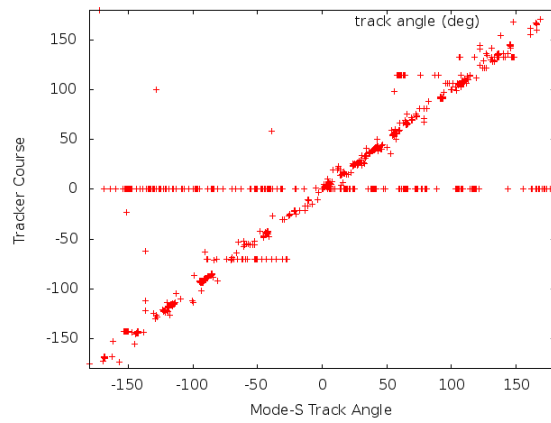
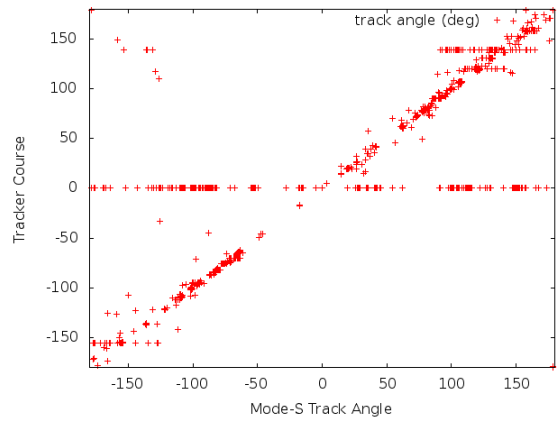
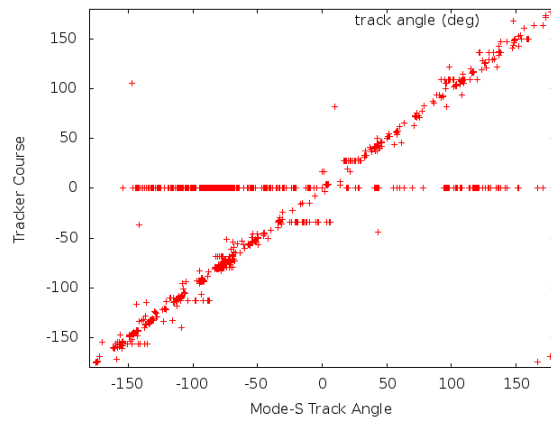


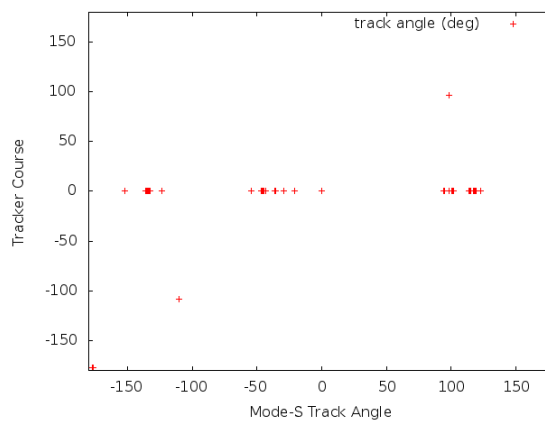
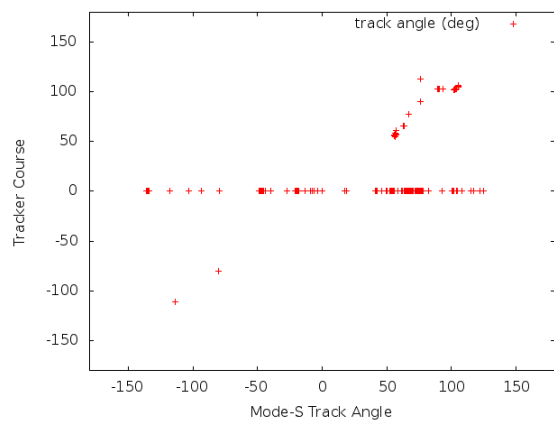
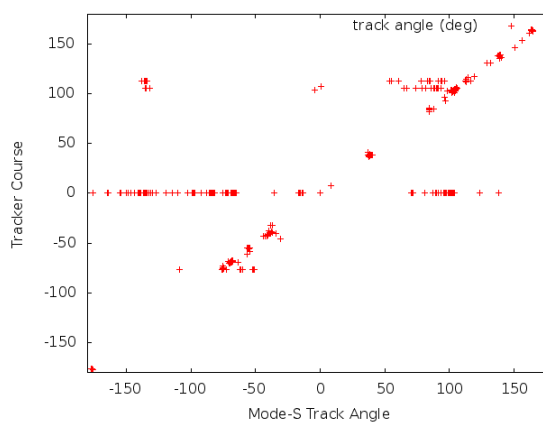
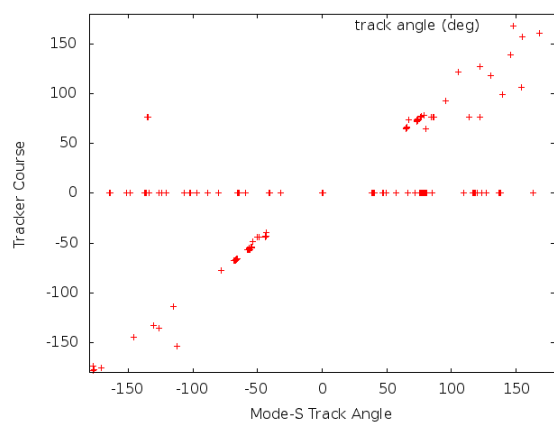


Bijlage 7 Correlatie True Track Angle

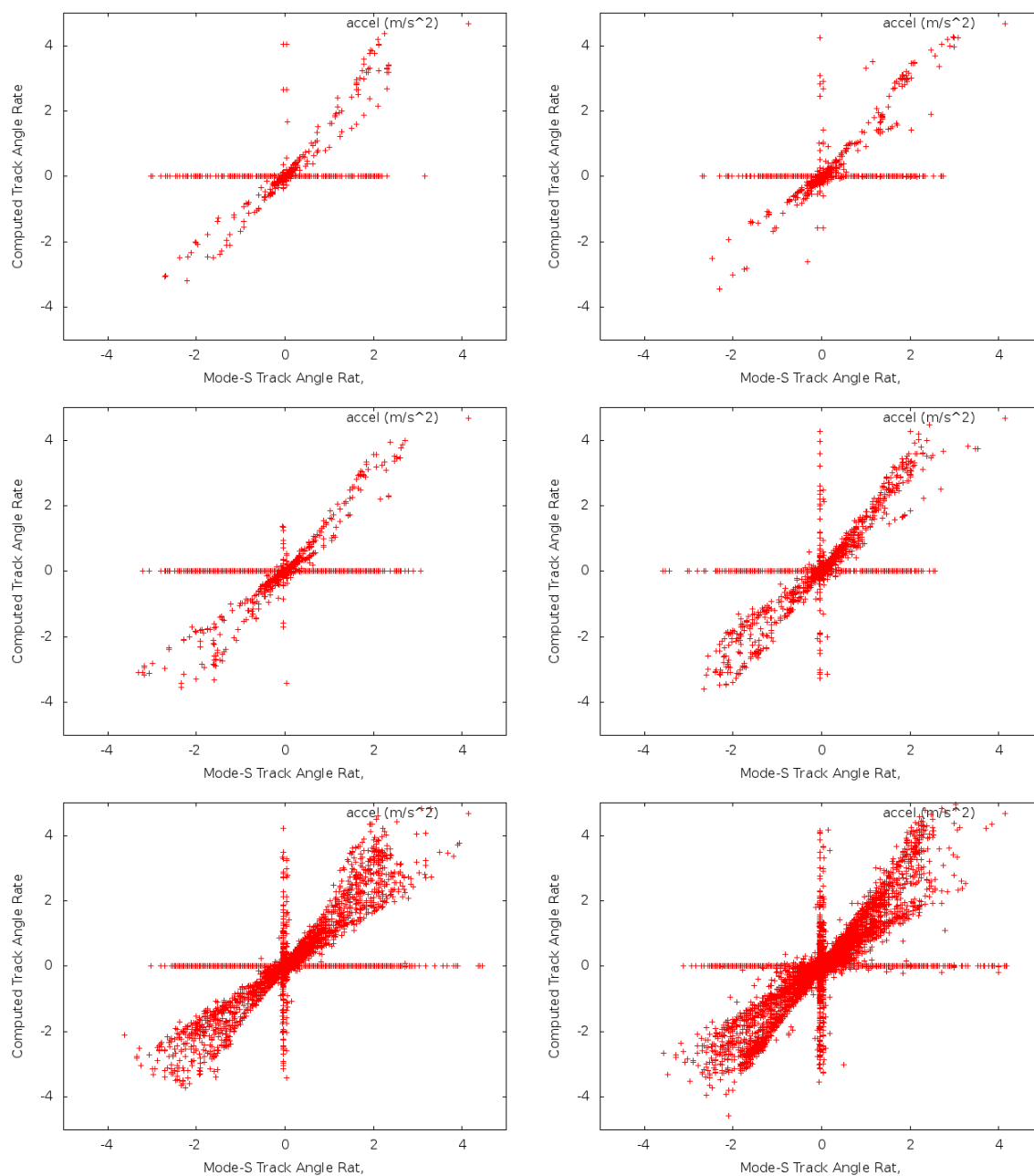


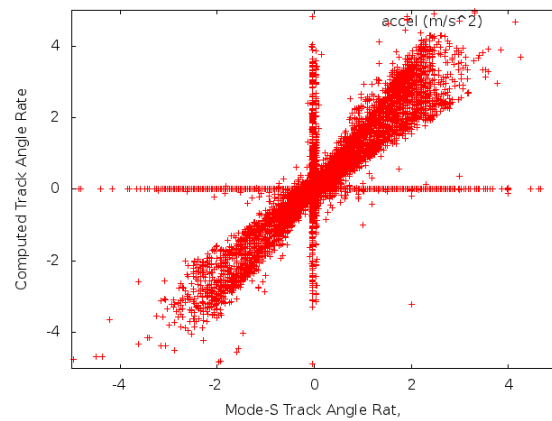
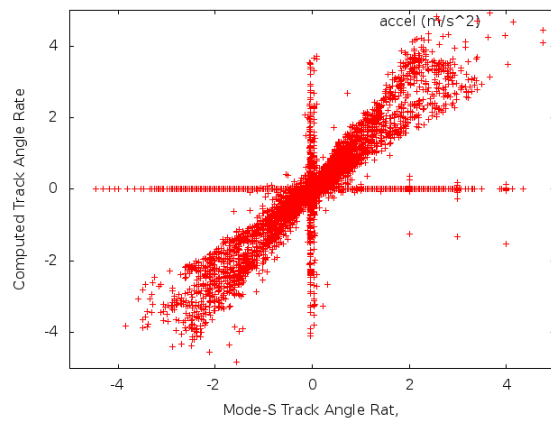
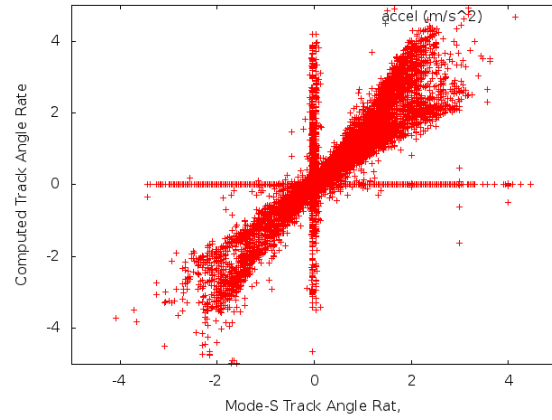
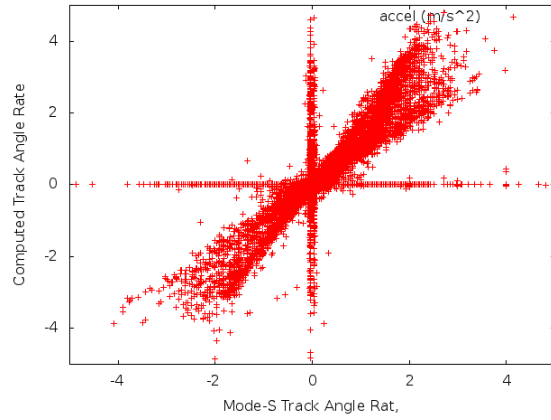
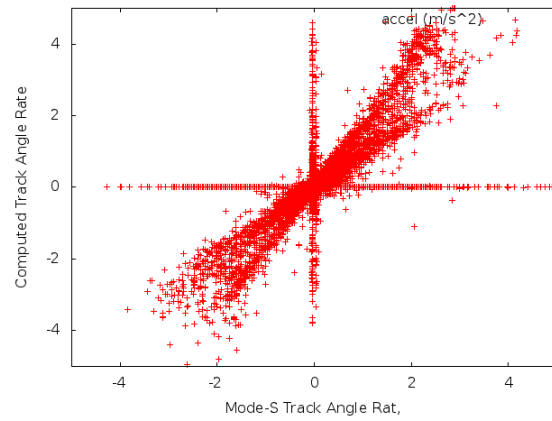
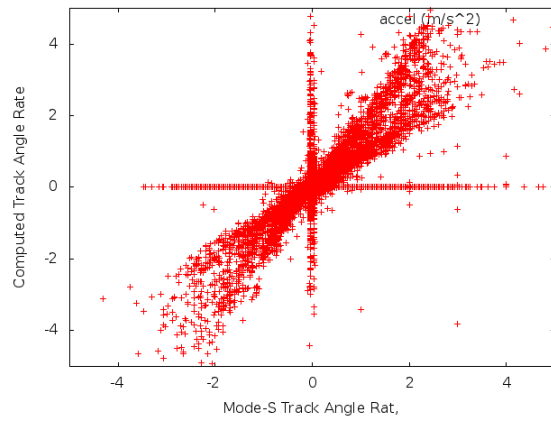
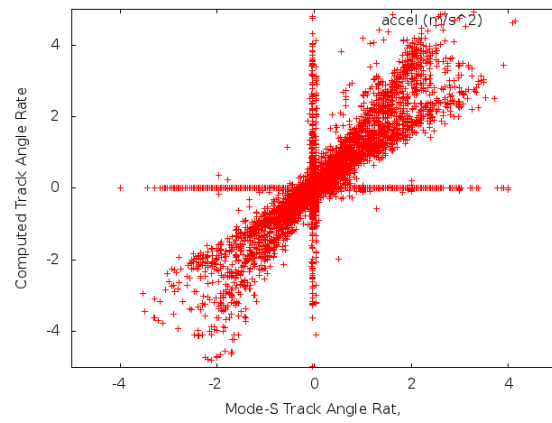
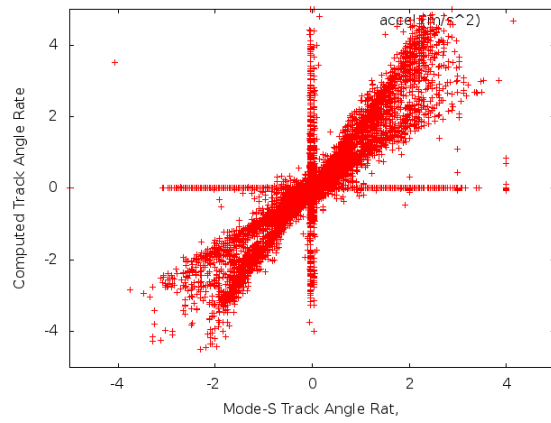


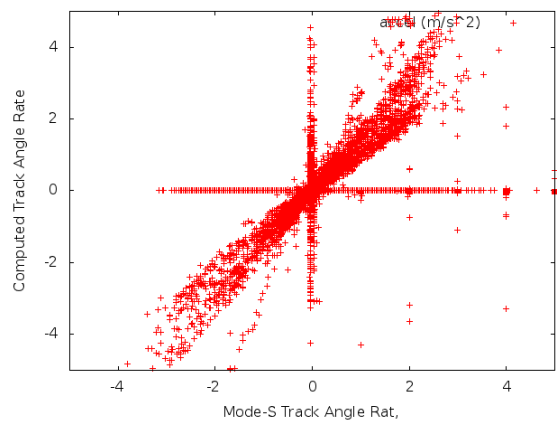
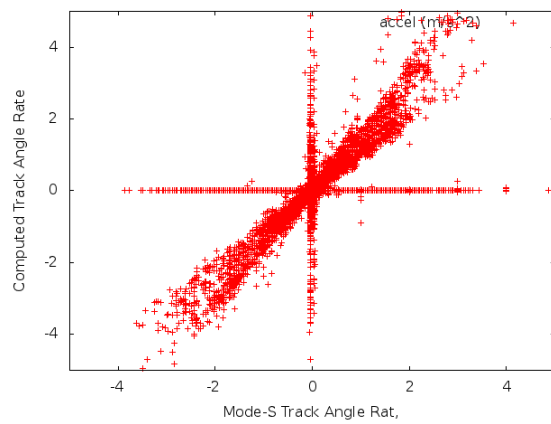
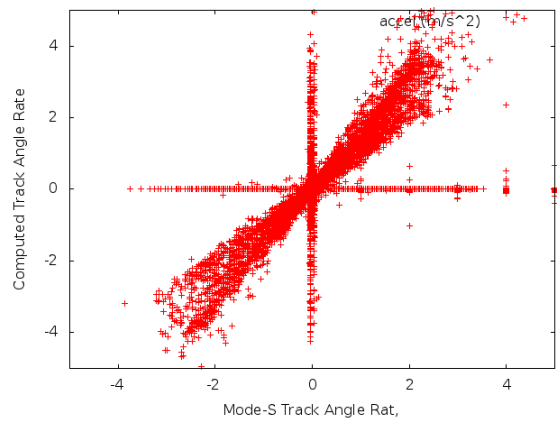
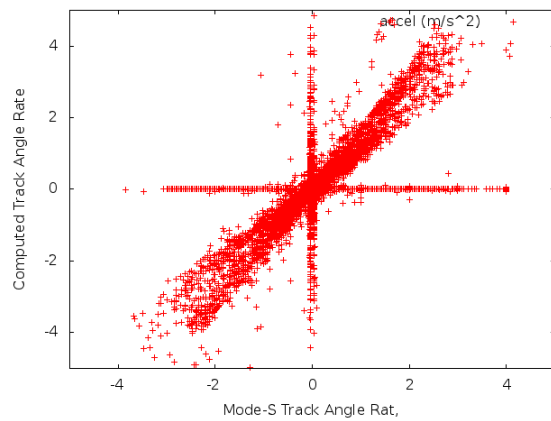
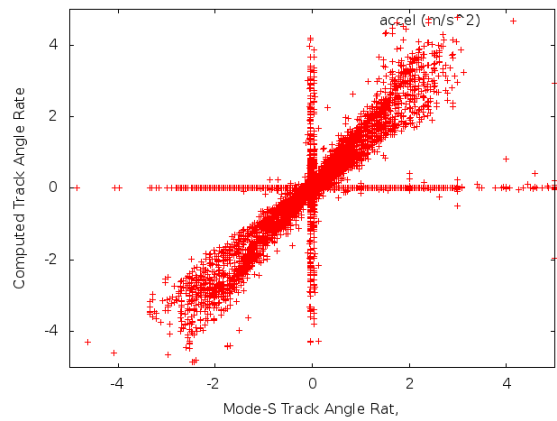
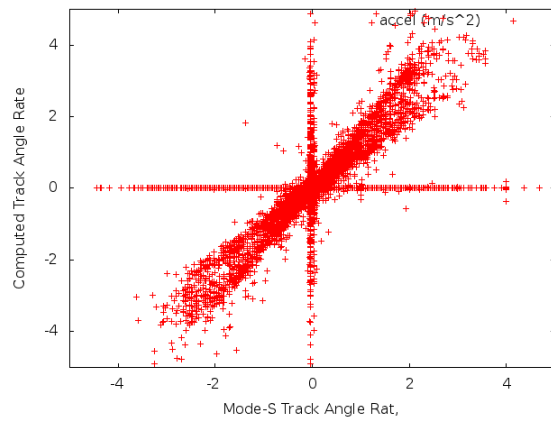


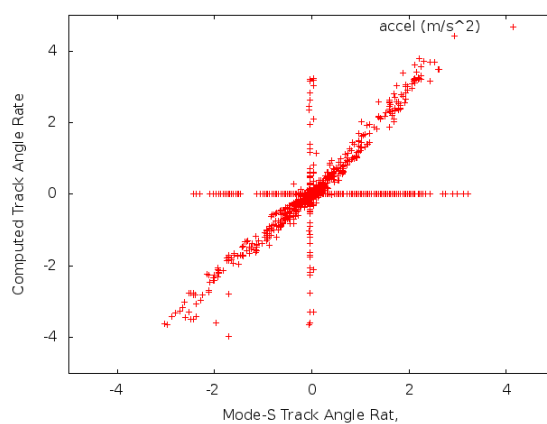
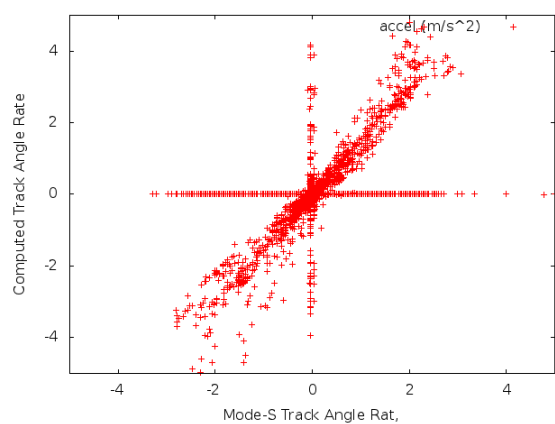
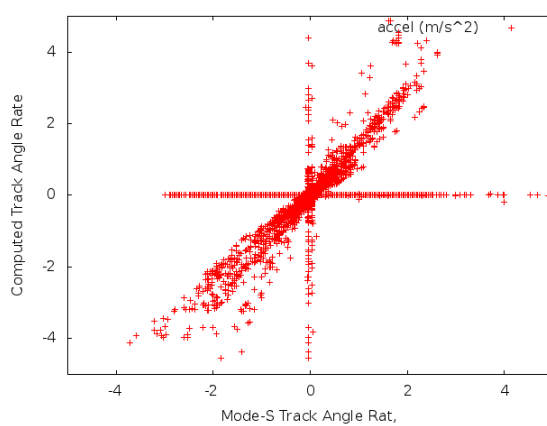
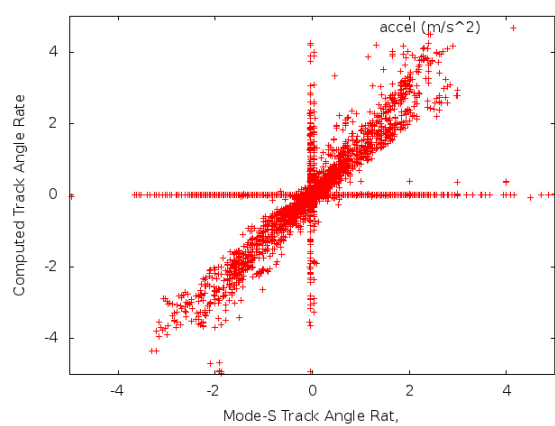


Bijlage 8 Correlatie True Airspeed, Roll Angle, Track Angle

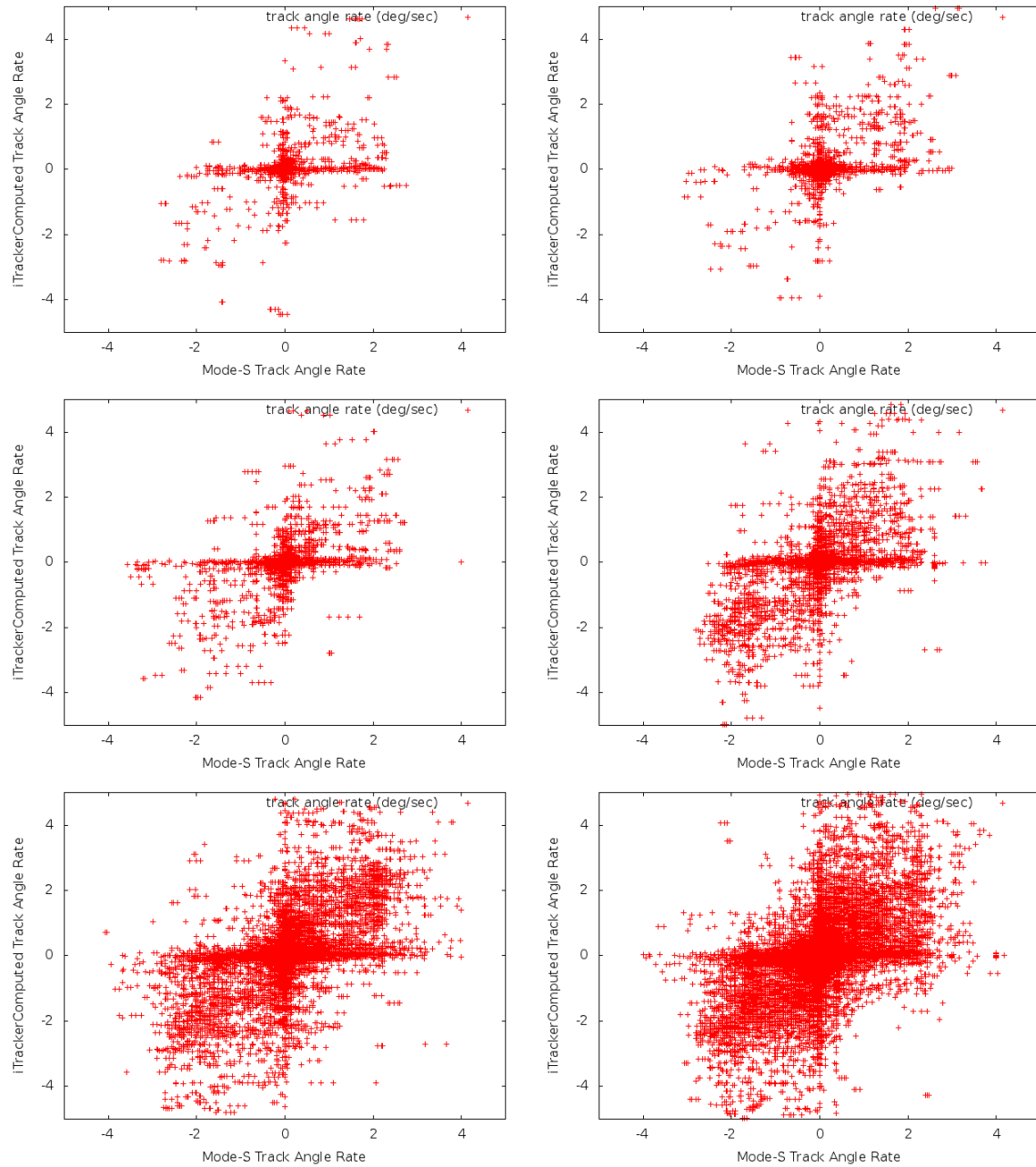


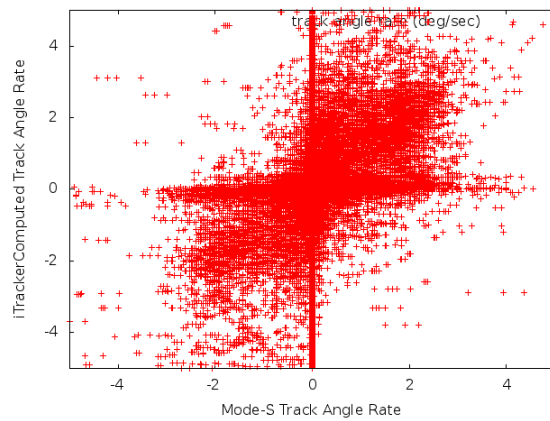
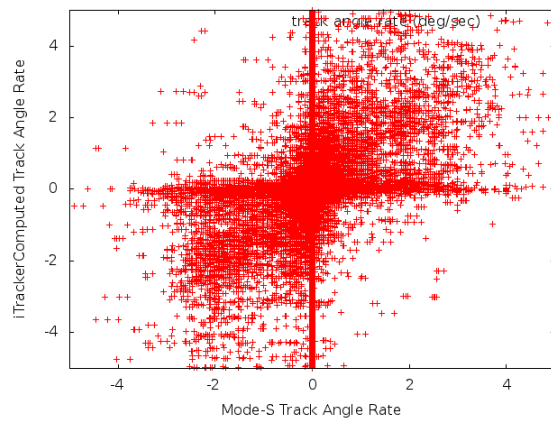
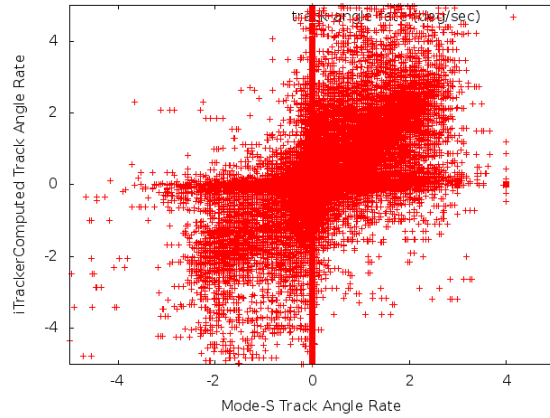
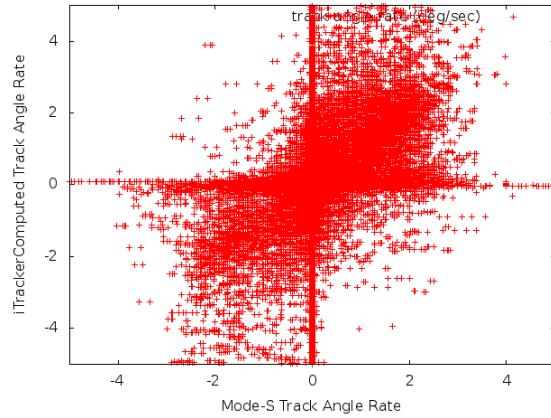
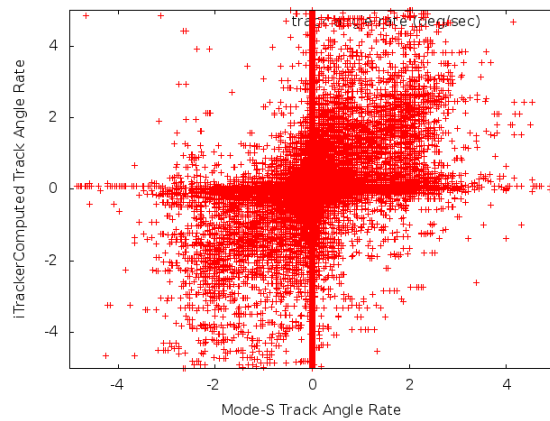
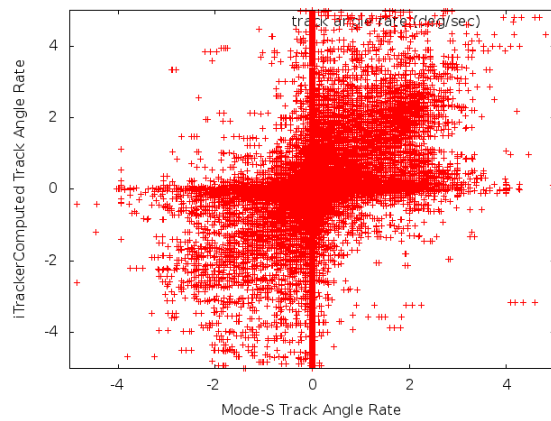
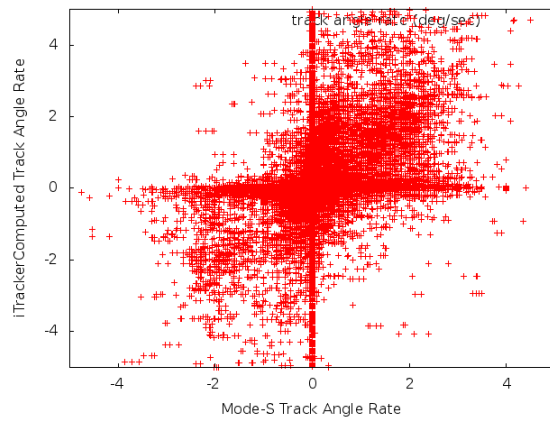
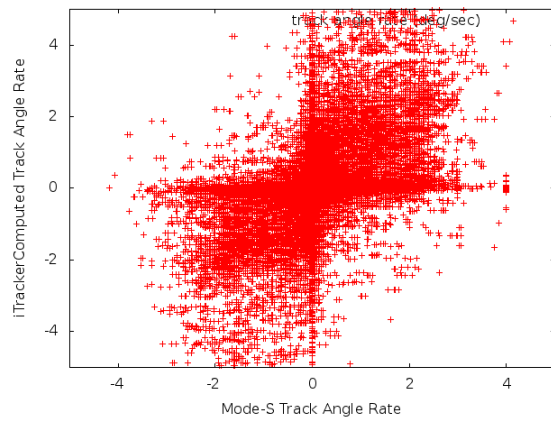


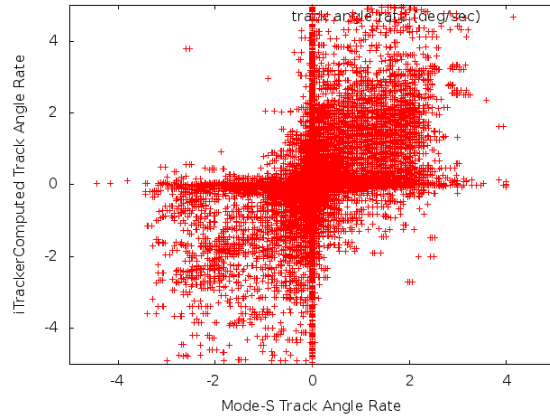
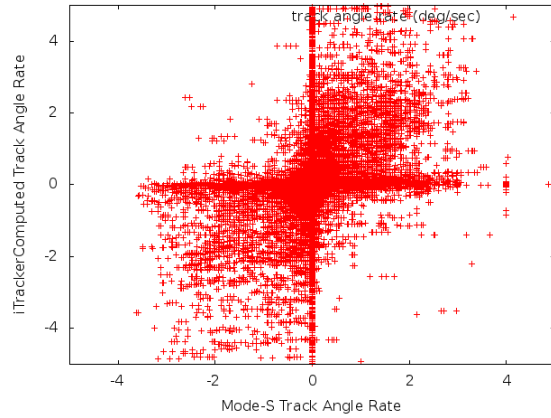
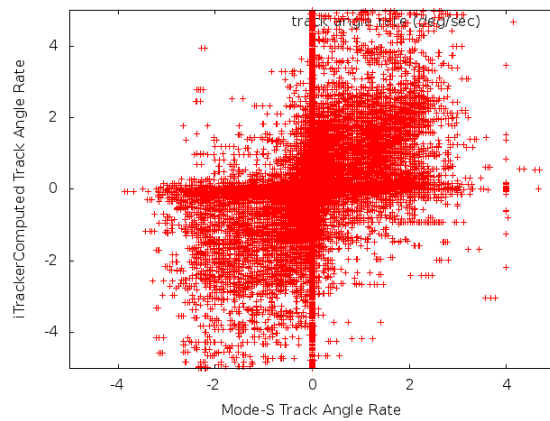
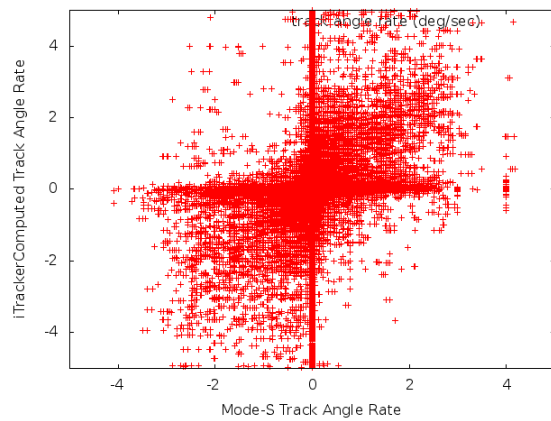
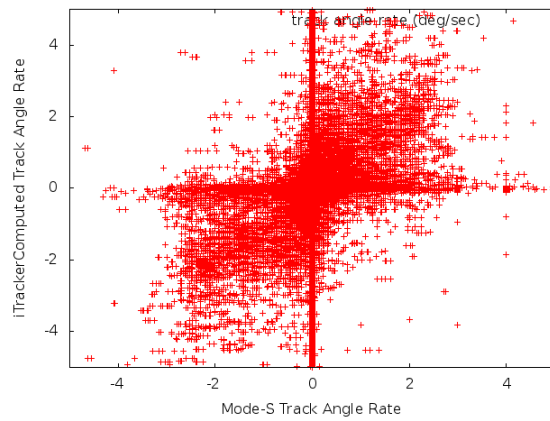
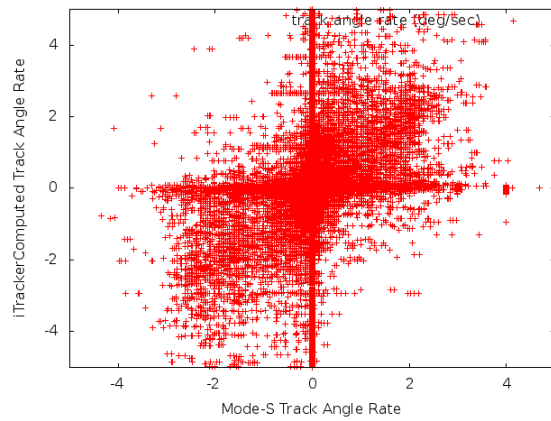


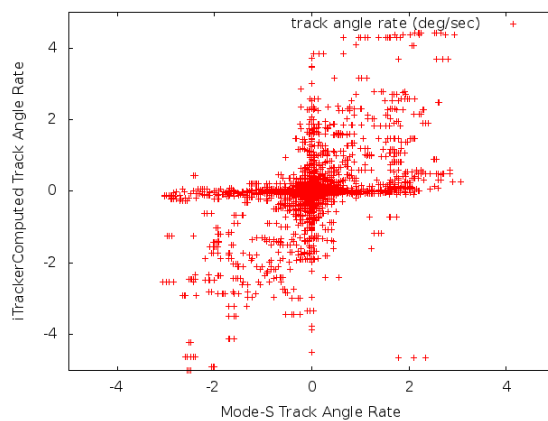
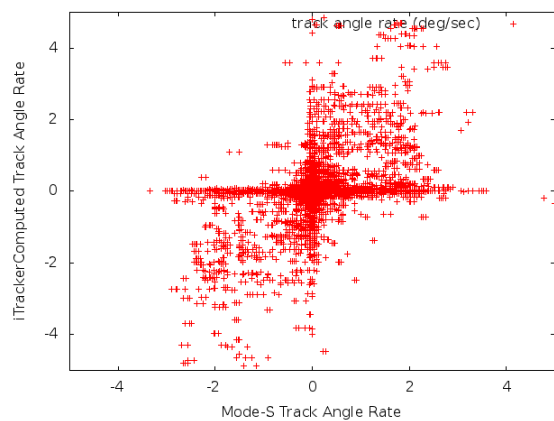
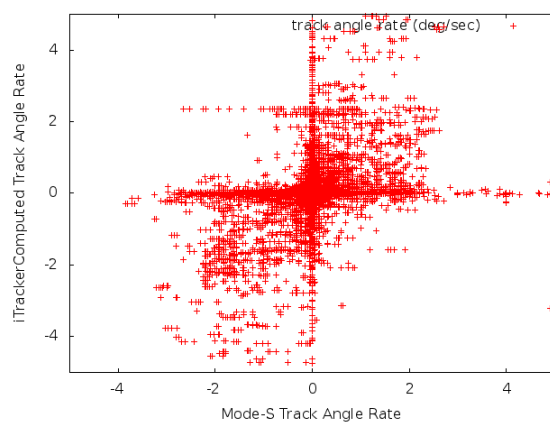
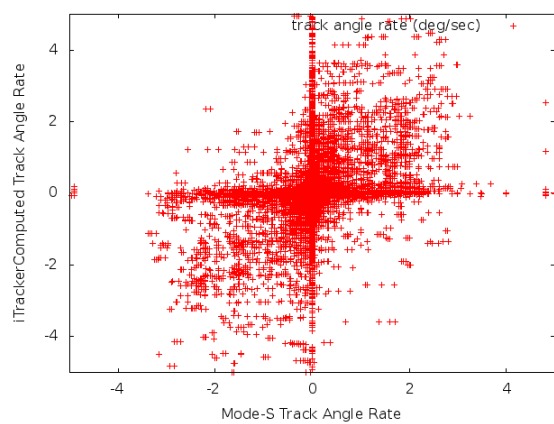


Bijlage 9 Correlatie Track Angle Rate









Bijlage 10 Referenties

Voor dit rapport zijn de volgende bronnen gebruikt:

-
- ⁱ *Integratie van Downlink Airborne Parameters in de verkeersleiders gebruikersinterface*, NLR, 2010
 - ⁱⁱ *Offerteaanvraag KDC "New Applications of Downlink Airborne Parameters"*, KDC, 16 mei 2013
 - ⁱⁱⁱ *The Pyramid Principle*, Barbara Minto, november 2008, derde herziene druk
 - ^{iv} Interview Renee Pauptit, LVNL verkeersleider ACC, 24 oktober 2013
 Interview Henk van der Meer, LVNL verkeersleider TWR/APP, 25 oktober 2013
 Interview Bart Jan Jansen, LVNL verkeersleider TWR/APP, 4 november 2013
 Interview Paul de Kraker, LVNL Systemen & Infrastructuur\ SIA, 3 januari 2014
 - ^v *Displaying TCAS RAs on Controller Working Positions*, IFATCA
 - ^{vi} *The viability and Safety Benefits of using the Mode-S Barometric Pressure Setting*, NATS, 29 oktober 2010
 - ^{vii} *Annex 10 Aeronautical Telecommunications Volume IV Surveillance and Collision Avoidance Systems (Amendment 85)*, International Civil Aviation Organization ICAO, februari 2010
 - ^{viii} *Wet Luchtvaart Luchtverkeersreglement Regeling navigatie- en telecommunicatie-installaties*, Minister van Verkeer en Waterstaat, 9 januari 2014
 - ^{ix} *Implementing Regulation (EU) No 1207/2011*, European Union, 22 november 2011
 - ^x *Doc 9871 AN/464 Technical Provisions for Mode S services and Extended Squitter*, ICAO, 2008, eerste druk
 - ^{xi} *ED-73E Minimum Operational Performance Standards MOPS for Secondary Surveillance Radar SSR Mode S Transponders*, EUROCAE, mei 2012
 - ^{xii} *Integrated Aeronautical Information Package eAIP GEN 1.5 Aircraft instruments, equipment and flight documents*, Luchtverkeersleiding Nederland LVNL, 9 januari 2014
 - ^{xiii} *Certification Specifications and Acceptable Means of Compliance for Airborne Communications, Navigation and Surveillance CS-ACNS*, European Aviation Safety Agency (EASA), 17 december 2013, eerste druk