

L5 – der erste echte Lichtblick im dunklen Wald?

Leipziger Landkreis, im Sommer 2024

Die einzigartig spezielle Problematik von Positionsbestimmungen in dichten Wäldern, insbesondere unter einer relativ geschlossenen Decke von höheren Laubkronen mit evtl. größeren Wassermengen in und/oder auf den Blättern (bzw. Nadeln), ist seit jeher nur für wenige Anwender von Bedeutung.

Und während der Milliardenmarkt für Ortungstechniken in Städten, Industrieanlagen, Verkehrsmitteln und sonstigen von Menschenhand gestalteten Umgebungen derzeit geradezu explosionsartig wächst, stagniert diese ohnehin schon sehr kleine Teilmenge von GNSS-Nutzern in ihrem absoluten Umfang und verliert sich damit zusehends in einer relativen Bedeutungslosigkeit, zumindest für die primären Innovatoren und marktbeherrschenden Anbieter solcher Ortungstechniken.

Noch weniger Betroffene werden es, wenn deren Anforderungen an die Genauigkeit ihrer Ortungen anspruchsvoller sind als z.B. die von Waldwanderern, um üblicherweise nur Wegkreuzungen bzw. Abzweigungen hinreichend sicher identifizieren zu können, jedoch ist gerade diese in Relation zu den allermeisten anderen GNSS-Anwendergruppen so winzige Schar von Förstern, Forstwissenschaftlern, Waldbesitzern usw. nicht selten mit physikalischen Umgebungsverhältnissen konfrontiert, gegen die bisher tatsächlich "kein Kraut gewachsen" war.

Für diejenigen Leser, denen die technischen Grundlagen von (zivilen) GNSS-Positionsbestimmungen mit höchstmöglichen Genauigkeiten bislang weniger vertraut sind, folgt an dieser Stelle nur ein sehr oberflächlicher Hinweis auf die hierfür maßgeblichen Techniken, verbunden mit meiner Empfehlung, diesbezüglich ggfs. anderswo weiterführende Erläuterungen zu suchen, um so v.a. das nachfolgend beschriebene Dilemma unter Baumkronen bestmöglich nachvollziehen zu können.

Zunächst einmal lassen sich sämtliche GNSS-Empfänger selbstverständlich so zur Echtzeitortung ihrer aktuellen Position (bzw. der ihrer Antenne) nutzen, wie es von den Erfindern und Betreibern all dieser Satellitensysteme für zivile Anwendungen lediglich vorgesehen wurde.

Hierbei werden "nur" die von den einzelnen Satelliten jeweils eindeutig gesendeten Signalkodes vom Empfänger eingelesen, und sobald er dies gleichzeitig mit mehreren Satelliten in einer hinreichend auswertbaren Konstellation realisieren kann, ergibt sich so für ihn die mathematische Möglichkeit, aus den bekannten Momentanpositionen dieser Satelliten seine eigene Position abzuleiten.

Obschon recht grob vereinfacht, ist dieses Funktionsprinzip in allen zivilen GNSS-Ortungsdiensten verwirklicht und konzeptionell ursprünglich auch nur für Ortungen mit einer Fehlerdimension von etlichen Metern vorgesehen (unter freiem Himmel, wohlgemerkt).

Was darüber hinaus an Funktionalitäten, Diensten und vielerlei Produkten nicht nur irgendwie "im Elfenbeinturm erfunden", sondern nun bereits im Laufe mehrerer Jahrzehnte mit immer besseren Genauigkeiten, stetig zunehmender Zuverlässigkeit und jetzt auch schon erfreulich kostengünstiger Technik für immer größere Anwendergruppen praxistauglich wurde, sollte eigentlich als ein Wunder anerkannt sein können – wenn nicht gar als eine Art "weiße Magie" ... :-)

Denn tatsächlich waren es allein diese "Zaubertricks" einer früheren Ingenieurgeneration, um nicht nur die Signalkodes der GNSS-Satelliten auszuwerten, sondern im Empfänger auch die Trägerphasen der elektromagnetischen Wellen selbst fortlaufend zu analysieren, dank der sich für uns "arme kleine Zivilisten" das Tor zu Submeter-, Subdezimeter- und nun sogar schon Subzentimeter-Genauigkeiten überhaupt erst öffnen konnte!

Bislang beruhen alle empfängerseitigen Techniken für Ortungsgenauigkeiten in solchen Dimensionen zunächst auf dieser möglichst unterbrechungsfreien Phasenverfolgung der GNSS-Signalträgerwellen an sich, als nunmehr gängigste Begriffe hierfür haben sich insbesondere "*Real-Time Kinematic*" (RTK, <https://de.wikipedia.org/wiki/Echtzeitkinematik>) sowie "*Precise Point Positioning*" (PPP, siehe ggfs. in Englisch unter https://en.wikipedia.org/wiki/Precise_Point_Positioning) etabliert.

Zusätzliche Datendienste seitens der GNSS-Betreiber sowie von Dritten, entweder mit Korrekturdaten zu den Satelliten bzw. den ionosphärischen Einflüssen auf deren Signallaufwege oder mit zeitgleichen Empfangsdaten ortsbekannter Referenzmesspunkte, werden bereits in vielerlei Praxisanwendungen mitverwendet, sofern sie nicht ohnehin für bestimmte Verfahren wie z.B. RTK zwingend erforderlich sind. Beispielsweise nutzen im größten Teil von Europa autonome GNSS-Empfänger zumeist schon selbstverständlich die SBAS-Daten von EGNOS-Satelliten, um die Fehlerdimension ihrer Ortungen unter hinreichend geeigneten Umgebungsbedingungen nicht selten erheblich verkleinern zu können.

Schöne neue Welt – und nicht zuletzt auch ein Trommelfeuer von Schlagworten seitens der Anbieter all dieser Ortungstechniken (bzw. der darauf beruhenden Produkte) ... :-)

Wer jedoch nicht z.B. in der Entwicklungsabteilung eines Automobilkonzerns arbeitet und sich ggfs. in aller Gründlichkeit dem Leistungsvergleich solcher Techniken bzw. Produkte widmen kann, sondern vielleicht als Forstwirt einfach nur „irgendwelche“ Gerätschaften dazu nutzen möchte, Einzelpunkte unter dichten Laubkronen möglichst genau georeferenzieren bzw. sicher wiederfinden zu können, ist leider in höchster Gefahr, schlimmstenfalls sogar Produkte oberster Preisklassen in ihrem Scheitern erleben zu müssen!

Der technische Hintergrund vieler Fehlfunktionen von Ortungstechniken mittels GNSS-Trägerphasen liegt seit jeher oft im sogenannten „Multipath“ (<https://de.wikipedia.org/wiki/Mehrwegempfang>), für dessen Entstehen in der Praxis nicht selten Wasseroberflächen als leider sehr gute Reflektoren in den entsprechenden Frequenzbereichen (zwischen 1,2 und 1,7 GHz) verantwortlich sind, und zwar nicht nur von Gewässern, sondern z.B. auch auf wassergesättigten Böden, wo es hiesige Landwirte in ihren winterlichen Feldvermessungen bislang schon oft erfahren mussten.

Multipath von unten (Reflexionsflächen unterhalb der GNSS-Antenne) ist jedoch ein vergleichsweise leicht lösbares Problem (zumeist bereits mit einer entsprechend leistungsfähigen Antenne als ein für RTK & Co. kritischer Umgebungsfaktor hinreichend kontrollierbar), und selbst solcher Multipath wie in den heutigen Metropolen mit all ihren ggfs. regennassen und/oder metallisierten Hochhausfassaden muss für Ortungstechniken mit Phasenverfolgung nicht unbedingt „tödlich“ sein, da hierbei zumeist relativ gleichmäßig wirksame Reflexionsflächen in v.a. vertikaler Ausrichtung existieren.

Demgegenüber ist aber jede Laubkrone, sofern nur etwas wasserhaltig, die reinste „Dschungelhölle“!

Während die Störwirkung einmaliger Reflexionen auch von oberhalb der GNSS-Antenne (wie z.B. an Häuserfassaden) auf die GNSS-Empfangsauswertung ggfs. noch durch empfängerseitige Techniken wie der „Dual-Feed“-Signalabnahme in einer Patch-Antenne verringert werden kann (siehe dazu auch <https://www.tallysman.com/app/uploads/2019/11/Tallysman-Accutenna-Technology-EN-November-2019-v2.1.pdf>), ist das durch Baumkronen nicht selten verursachte Gemisch von ein- und mehrfach reflektierten sowie evtl. noch gebeugten (<https://www.wasoft.de/lit/zfvjan00.pdf>) Wellen für GNSS-Anwendungen im Wald oft ein so ernsthaftes Problem, dass bislang zumindest unter Baumkronen mit höheren Wassergehalten kein einziger Lösungsansatz eine seriöse Aussicht auf Genauigkeiten in der Größenordnung von 1-2 m oder gar darunter realisieren konnte, abgesehen lediglich von solchen Arbeitsabläufen, die GNSS (auf einer Lichtung o.ä. Freiflächen) mit Entfernungsmessern/Winkelmessern kombinieren.

Die Frage der reinen Abschattung war noch in den Jahren, als zunächst erst nur die GPS-Satelliten um die Erde kreisten, für forstliche Anwendungen kritisch, nun jedoch, da bereits vier weltweit nutzbare Systeme (neben GPS noch GAL, BDS und GLO) ggfs. für mehr als 40 „Sats in View“ sorgen können, ist kaum mehr der schlichte Mangel unter Bäumen problematisch, so dass normale GNSS-Ortungen auf Grundlage der Pseudostreckenmessung heutzutage zumindest prinzipiell auch im Wald funktionieren (<https://www.bkg.bund.de/DE/Observatorium-Wetzell/Messverfahren/Global-Navigation-System/global-navigation-system.html> bzw. <https://de.wikipedia.org/wiki/Pseudorangeing>).

Je nachdem, wie hoch und dicht die Baumkronenschicht dabei über der GNSS-Antenne ist, sind die so bestimmten Positionen jedoch meist mit einer vielfach größeren Fehlerdimension als unter freiem Himmel behaftet, so dass es angesichts dieses lokalen Fehlerbudgets oft gänzlich irrelevant wird, ob hierbei überhaupt noch SBAS-Korrekturen wie z.B. von EGNOS zur Anwendung gelangen.

Sämtliche GNSS-Messverfahren jedoch, deren sonst so beeindruckende Genauigkeiten auf der vom Empfänger realisierten Phasenverfolgung der Trägerwellen beruhen (RTK/PPP), scheitern im Wald oft grundsätzlich, sobald der Anteil von reflektierten und/oder gebeugten Wellen in der Gesamtmenge des Empfangenen zu groß wird, wogegen bisher leider auch die teuersten geodätischen Produkte der namhaftesten Hersteller prinzipiell nicht gefeit sein können.

Wer vor der Aufgabe steht, allein mittels GNSS-Technik (also ohne Tachymeter, Theodolite oder auch nur einfache Laserentfernungsmesser) möglichst genaue Positionsbestimmungen durchzuführen, ist unter dichteren und ggfs. auch höheren Laubkronen somit grundsätzlich in einem massiven Dilemma zwischen den alternativen Lösungsansätzen, entweder ein trägerphasenbasiertes Messverfahren wie RTK oder PPP überhaupt nur funktionieren zu lassen (was in der Praxis aber leider relativ oft scheitert) oder eine normale GNSS-Ortung auf Grundlage der Pseudostreckenmessung wenigstens von einem so großen Teil des lokal verursachten Fehlers zu befreien, dass der eigentliche Zweck dieser Ortung in zumindest hinreichender Zuverlässigkeit erreicht werden kann: in praxi z.B. die möglichst eindeutige Georeferenzierung eines einzelnen Baumes.

Was die Zentimetergenauigkeit von trägerphasenbasierten Messverfahren an Grundstücksgrenzen, auf Baustellen u.ä. sachlich erfordert, ist im Wald zum Glück nur höchst selten in einer solch engen Dimension erforderlich, so dass dieser Lösungsansatz ggfs. am besten organisatorisch zu realisieren sein könnte (z.B. Messung im Winter und/oder mit Entfernungsmesser o.ä. von Lichtungen aus).

Für die allermeisten Forstpraktiker bestand – und besteht – somit die sinnvollste bzw. sogar nur einzig sinnvolle Strategie darin, ihre GNSS-Ortungen mittels Pseudostreckenmessung vom größtmöglichen Teil des lokalen Fehlers zu befreien. Dieser Teil ist im Wald (je nach Dichte, Höhe und Wassergehalt der Baumkronen) nicht selten viel größer als alle Fehlerquellen der Satelliten und der Signallaufwege durch die Atmosphäre zusammen und kann logischerweise niemals wie diese durch Korrekturdaten von außen wie z.B. EGNOS verringert werden.

Im Laufe der vergangenen Jahre war es in dieser Problematik v.a. hilfreich, immer mehr Satelliten zur Verfügung zu haben, so dass es zunächst vordringlich wurde, Empfänger und Antennen für möglichst alle vier globalen GNSS (GPS, GAL, BDS, GLO) einsetzen zu können.

Der nächststärkere Hebel lag dann schon ganz bei der Antenne selbst: idealerweise also ein großes, teures und relativ schweres Modell in geodätischer Qualität, und als wäre das nicht schon hinderlich genug, sollte deren Messposition auch noch möglichst hoch sein (z.B. auf einem Teleskopstab).

Kein Wunder, dass solche Maßnahmen in ihrer Wirksamkeit zwar wissenschaftlich belegt wurden, in der professionellen Praxis aber nur sehr selten Anwendung fanden ... :-)

Mit dem neuen L5-Signal können die Praktiker nunmehr jedoch drastische Verbesserungen erwarten, ohne hierfür mit unhandlichen Antennenkonstruktionen hantieren – oder auch nur wesentlich teurere Hardware (v.a. Empfänger und Antennen) erwerben – zu müssen!

Die physikalischen Grundlagen dieses Verbesserungspotenzials werden z.B. mit der nachfolgenden Erläuterung (unter <https://www.e-education.psu.edu/geog862/node/1864>) v.a. so beschrieben:

„L5 has the only civilian codes that are both ten times longer and ten times faster than the C/A code. Since the maximum resolution available in a pseudorange is typically about 1% of the chipping rate of the code used, the faster the chipping rate, the better the resolution.

L5 has about twice as much power as L1, and since L5 does not carry military signals, it achieves an equal power split between its two signals. In this way, L5 lowers the risk of interference and improves multipath protection. It also makes the data-less signal easier to acquire in unfavorable and obstructed conditions.“

In <https://content.u-blox.com/sites/default/files/documents/GPS-signals-migration-wp.pdf> erklärt u-blox diese Vorteilhaftigkeit noch stärker auf die eigentliche Anwendung hin:

„L1/L5 systems offer distinct advantages compared to an L1/L2/E5B design, particularly in terms of multipath mitigation and performance in environments with weak signals.

... L1/L5 and L1/L2/E5B receivers can achieve these diverse aims. Yet, L1/L5 offers greater resilience to multipath interference, resulting in improved reliability and navigation robustness, especially in dense urban environments.“

Dass u-blox hier nur den Großstadtdschungel nennt, wird wohl dem Marktpotenzial für Fahrzeuge in derlei Umgebungen geschuldet sein – verglichen damit dürfte selbst die weltweite Gesamtmenge der forstlichen GNSS-Nutzer geradezu verschwindend gering sein. :-)

Gleichwohl gilt das so für städtische Problemlagen Erklärte natürlich erst recht für den dunklen Wald!

Darin übrigens, wo sich Förster & Co. wohl kaum jemals so vorhersehbar horizontal bewegen wie v.a. die allermeisten Straßenfahrzeuge im Großstadtdschungel, sind auch solche technischen Lösungen wie z.B. die Sensorfusion mit Beschleunigungsmessern, Lagesensoren oder sogar auch den bereits in automatisierten Fahrzeugen verwendeten Radar-, LIDAR- und/oder Kamerasensoren leider ohne allzu große Erfolgsaussichten vorstellbar (außer evtl. der Arbeit mit vorgefertigtem LIDAR-Geländemodell).

Das strategische Ziel liegt aus derzeitiger Sicht in dieser so sehr speziellen Umgebung also einzig und allein in der Fokussierung darauf, die „gewöhnliche“ GNSS-Ortung mittels Pseudostreckenmessung bestmöglich von den fundamentalen Leistungsvorteilen der neuen L5-Signale profitieren zu lassen.

Vorrangig dürfte hierbei die Verwendung eines Empfängers sein, der in seiner technischen Gestaltung ebenso wie mit seiner Firmware-Funktionalität v.a. auch diesem Ziel zu dienen vermag, und die bisher von u-blox für seine F10N-Module postulierten Aussagen deuten genau hierauf hin – um schließlich in den eigenen Beobachtungen des Autors auch Bestätigung zu finden. :-)

Nachdem somit das F10N-Modul aktuell als wohl aussichtsreichster Kandidat besteht, stellt sich die Frage nach der besten bzw. sinnvollsten Antenne unmittelbar und folgt demnach der zwangsläufigen Annahme, dass insbesondere eine möglichst hohe Empfangsleistung im L5-Band (*Antennengewinn*, in den meist englischsprachigen Datenblättern oft als „*Peak Gain*“ bzw. „*Gain at Zenith*“ bezeichnet) der voraussichtlich stärkste Hebel sein dürfte, einen F10N-Empfänger diese Aufgabe in den so üblen Umgebungsbedingungen einer dichten und ggfs. relativ wasserhaltigen Baumkronenschicht erledigen lassen zu können!

In <https://www.optimalsystem.de/os/docs/2024-05-24-gnss-ant-l1l5.pdf> wurden bereits einige Details zur Thematik der Antennen erörtert, daher an dieser Stelle nurmehr wenige illustrative Informationen v.a. dazu, welche Leistungsunterschiede von derzeit handelsüblichen Modellen speziell in diesem einen Parameter für das L5-Band zu erwarten sein können.

Wer mit der Interpretation solcher Werte (je nach Datenblatt in dB, dBi oder dBic) bisher nicht vertraut ist, sollte sich dabei zumindest erst der grundlegenden Tatsache stellen, dass dieser Wert eben nicht die Empfangsleistung direkt als einen physikalischen Parameter repräsentiert, sondern „*ein relatives (logarithmisches) Maß gegenüber einer Bezugsantenne darstellt*“ (<https://de.wikipedia.org/wiki/Antennengewinn>)!

Jede Zunahme dieser Zahl (vor dem Komma) ist also keineswegs nur so viel mehr, wie man sich sonst bei linearen Maßangaben solche Steigerungen vorzustellen vermag ... :-)

Auf einer vereinfachten logarithmischen Skala in dem für unsere GNSS-Antennen relevanten Bereich entspricht ein Wert von 0 dB dem gleichen Gewinn wie bei der zugrundeliegenden Referenzantenne, ein Wert von 3 dB hingegen bereits der doppelten Empfangsleistung.

Bei 6 dB besteht dann schon ein ungefähr viermal so starker Antennengewinn, und mit 10 dB bereits tatsächlich die zehnfache Empfangsleistung jener (theoretisch zugrundeliegenden) Bezugsantenne!

Somit dürfte nun unser vordringliches Streben danach doch leichter verständlich sein, im L5-Band der von uns am F10N-Empfänger dann zu verwendenden Antenne möglichst mehr als 3 dB Gewinn haben zu können, bestenfalls jedoch so weit wie möglich in Richtung der „magischen“ 10 dB (die es bei den handelsüblichen Antennenmodellen m.E. aber nirgendwo zu geben scheint), nicht wahr?

Dies grundsätzlich vorangestellt, hiermit noch einige konkrete Beispiele zur Veranschaulichung:

	Gain	Axial Ratio		Gain	Axial Ratio
	dBic typ. at Zenith	dB at Zenith		dBic typ. at Zenith	dB at Zenith
L1	8.0	0.2	L1	7.0	0.8
L2	8.0	0.3	L2	6.0	0.5
L5	8.0	0.3	L5	5.0	0.5

Empfangsleistungen der Tallysman-Modelle VC6150 bzw. VP6335 in den drei Hauptbändern (L5 grün markiert)

Die VC6150 (*VeraChoke® High-Precision Full GNSS Spectrum Choke Ring Antenna*) stellt mit ihren in allen GNSS-Frequenzbändern gleichermaßen realisierten 8 dBic zweifellos bereits eine der höchsten Empfangsleistungen bereit, die sich in handelsüblichen Antennenmodellen überhaupt finden lassen.

Unterhalb dieser also schon beinahe höchstmöglichen Größen-, Gewichts- und Preisklasse können jedoch jegliche Modelle, welche plakativ (bzw. nominal) auch eine L5-Empfangsfähigkeit vorweisen, leider alle möglichen Werte ihres L5-Gewinns aufweisen – schlimmstenfalls sogar negative Zahlen!

Als wenigstens grober Richtwert dafür, was der Praxisanwender bei einer für den F10N-Empfänger gut geeigneten Antenne als L5-Gewinn sicherstellen sollte, sei hier vielleicht ein Minimum von 3 dBic zu nennen, wobei noch ergänzt werden mag, dass derzeit auch relativ preisgünstige Modelle mit 4 dBic oder sogar noch etwas mehr im L5-Band erhältlich sind.

In dieser so weiten Spreizung (bzgl. Größe, Gewicht und Preis) darf an dieser Stelle aber doch noch die „*Colosseum X XAHP.50*“ von Taoglas eine besondere Empfehlung v.a. hinsichtlich L5 erfahren:

Frequency (MHz)	1176.45	1227.6	1278.75	1561	1575.42	1602
VSWR (max.)	1.3:1	1.3:1	1.5:1	1.5:1	1.5:1	1.4:1
Passive Antenna Efficiency (%)	72	77	53	35	45	53
Passive Antenna Gain at Zenith (dBi)	7.4	6.2	6.8	3.2	4.2	4.2
Axial Ratio (dB) Ground Plane	1.2	0.6	0.2	1.2	1.2	1.3

Außerordentlich hohe L5-Empfangsleistung der (gerade eben noch relativ preisgünstigen) Taoglas XAHP.50

Damit jedoch genug der theoretischen Vorrede - und nun endlich hinein in den regennassen Wald!

Die Jahreszeit war hierfür sogar bestens geeignet: Ende Juni, aber alle Bäume noch voller Saft und Kraft, dank etlicher Regentage in den Wochen vorher auch keinerlei fröhsommerliche Trockenheit.

Als „Normalmaß“ für eine möglichst sinnvolle (bzw. praxistypische) Veranschaulichung der im Wald dann zu erwartenden Leistungsunterschiede zu einigen Alternativen (L1-GNSS bzw. RTK mit L1+L2) soll ein F10N-Empfänger zunächst v.a. im Verbund mit einer weder unangemessen großen, schweren und/oder teuren Antenne agieren, also eben ganz so, wie es ein preisbewusster Praktiker bevorzugen dürfte.

Die zeitgleich mitgeführten Vergleichsempfänger (z.B. ZED-F9P) sollten sinnvollerweise ebenso mit solchen Antennenmodellen arbeiten, die in puncto Größe, Gewicht und Preis möglichst äquivalent sind, wobei bestenfalls die Antenne am F10N einen L5-Gewinn in ungefähr gleicher Größenordnung hätte wie die Antenne am ZED-F9P mit ihrem L2-Gewinn (bzw. auch E5b) – dito bzgl. „Dual Feed“!

Als L5-Empfangsgerät kommt auch hier wiederum das bereits in den „Hobbit-Straßenschluchten“ (<https://www.optimalsystem.de/os/docs/2024-04-29-f10n-urban.pdf>) verwendete F10N-Mobilgerät in der von MagicMaps präferierten Bauform zum Einsatz, wobei an dieser Stelle leider angemerkt werden muss, dass u-blox uns mit den bisherigen F10-Modulen auch eine doch etwas befremdliche Überraschung beschert hat. Waren bis dato alle vorherigen GNSS-Modulgenerationen von u-blox nicht nur für ihre überragend starken PVT-Leistungen zu loben, sondern nicht zuletzt auch für ihre immer reichhaltigere Ausstattung mit den üblichen Datenschnittstellen wie UART, I2C, SPI und v.a. auch USB (wobei deren USB-Ports seit jeher besonders anwenderfreundlich realisiert waren), glaubte ich beim ersten Blick in das F10N-Datenblatt eher an eine Sinnestäuschung meinerseits: ein einziger UART, sonst gar nix! :-)
Für jemanden wie mich, der mit solchen GNSS-Modulen handliche Mobilgeräte für den Außeneinsatz anfertigt, deren v.a. unverzichtbare Datenschnittstelle für den Endanwender üblicherweise Bluetooth (BR/EDR, SPP) ist, so dass intern stets schon ein UART-Port des GNSS-Moduls für die Verbindung zum Bluetooth-Modul benötigt wird, ergab sich damit ein durchaus ernstes Problem, denn z.B. bereits für Firmware-Updates oder auch für ein ggfs. notwendiges Zurücksetzen (etwa nach einer versehentlich falschen Konfigurationsänderung durch den Endanwender) wäre es m.E. völlig unverantwortlich, den einzigen Zugang zum Modul nurmehr via Bluetooth verfügbar zu haben – insbesondere angesichts der festgelegten UART-Parametrisierung zwischen diesen beiden Modulen, die auf beiden Seiten dieser internen Verkabelung stets identisch bleiben muss.

Zunächst erwog ich daher sogar die zusätzliche Verwendung einer relativ kleinen MCU, deren einzige Aufgabe dann darin bestünde, den einen UART-Port des F10N-Moduls bidirektional auf mindestens zwei separate Datenschnittstellen zu erweitern (Verteilung/Bündelung der rohen I/O-Bytestreams).

Da jedoch eine extra serielle Schnittstelle nach außen (traditionell RS-232 oder nunmehr v.a. USB als die für die meisten Praxisanwender komfortabelsten Typen) bei derlei Mobilgeräten nicht ständig und erst recht nicht parallel zur normalerweise verwendeten Bluetooth-Verbindung benötigt wird, sondern tatsächlich nur in relativ seltenen bzw. sogar Ausnahmefällen), entschloss ich mich stattdessen für einen sehr einfach funktionierenden UART-Multiplexer, den man sich am besten wie ein schlichtes elektronisches Relais vorstellen kann, mit dem der eine UART-Port des F10N lediglich via 0/1-Pegel an einem Steuerkontakt zwischen zwei separaten UART-Ports umgeschaltet wird, wobei primär stets die interne Verbindung zum Bluetooth-Modul besteht und erst ein zielgerichteter Impuls von außen (in diesem Fall die Busspannung an einer USB-Buchse) diese Umschaltung bewirkt, um den F10N-UART dann über ein v.a. „Baudraten-neutrales“ Transceiver-Modul über jene USB-Buchse von außen direkt zugänglich zu haben.

Dieser Exkurs ist natürlich völlig irrelevant für das eigentliche Thema dieses Beitrags, mag jedoch den Interessenten nützlich sein können, die vielleicht selbst damit beginnen möchten, aus dem F10N eine eigene GNSS-Empfangsanlage zu konstruieren. :-)

Der zum Vergleich - bzw. als wohlbekanntes Referenz - parallel mitgeführte GNSS-Empfänger war ein relativ ähnlich aufgebautes Mobilgerät auf Grundlage des Moduls ZED-F9P-04B von u-blox, zu diesem Zeitpunkt jedoch leider noch nicht mit der nur wenige Tage später veröffentlichten Firmware HPG 1.50 (https://content.u-blox.com/sites/default/files/documents/ZED-F9P_FW100HPG150_RN_UBXDOC-963802114-12826.pdf), die für mich v.a. mit der bei u-blox erstmalig aufgetauchten Option einer konservativeren RTK-Fixierung („*Conservative Ambiguity resolution mode for applications requiring reduced false RTK fixing while increasing time to ambiguity fix*“) natürlich insbesondere unter einer tropfnassen Baumkronenschicht äußerst interessant gewesen wäre, zudem aber auch noch etliche weitere höchst attraktive Details in petto hat (u.a. „*Increased robustness of receiving SBAS corrections*“).

Mangels eines hinreichend vielfältigen Lagerbestands ließ sich mein Vorhaben, das F10N- sowie das F9P-Gerät jeweils mit einer Zweiband-Antenne von möglichst gleicher Leistungs- und Preisklasse zu betreiben, zwar nicht ideal realisieren, für die vorgesehene Vergleichsmessung fand ich jedoch einen m.E. sinnvollen Kompromiss, um schließlich v.a. gar nicht erst den Verdacht aufkommen zu lassen, den F10N-Empfänger mit einer empfangsstärkeren Antenne in direkter Relation zum F9P irgendwie zu bevorteilen. :-)

Somit befanden sich also unmittelbar nebeneinander auf einem Antennenstab: für das F9P-Modul die seinerzeit von Tallysman zunächst wohl sogar v.a. als „F9P-optimierte“ Variante entwickelte TW3882 (https://www.calian.com/advanced-technologies/gnss_product/tw3882-dual-band-gnss-antenna/), am F10N wiederum das von mir mit einer 12-cm-Grundplatte in ein ABS-Gehäuse eingebaute Embedded-Modell TW1825 (https://www.calian.com/advanced-technologies/gnss_product/tw1825-accutenna-pre-filtered-embedded-dual-band-gnss-antenna/).

Wie gesagt, nicht ganz auf absolut gleicher Augenhöhe, da hätte es zur TW3882 wohl am ehesten der TW7875 bedurft, deren Keramikscheiben von jeweils gleicher Dimension sind, während diejenigen in der TW1825 doch erheblich kleiner ausfallen, auch wenn zum Glück die reinen Zahlenwerte letztlich nicht allzu sehr differieren, und zwar wohlgemerkt nicht nur beim passiven Antennengewinn („*Gain*“) selbst, sondern ebenso in ihrem jeweiligen „*Axial Ratio*“.

Dieses Leistungsmerkmal von GNSS-Antennen, wenngleich in Datenblättern seriöser Hersteller stets genannt und v.a. für schwierigere Umgebungsbedingungen zweifellos bedeutsam, wird jedoch in der „volkstümlichen“ Vermarktung leider kaum jemals hinreichend betont oder gar erläutert, obwohl dies z.B. erklären kann, warum das preisgünstige Single-Feed-Modell ANN-MB5 trotz eines ähnlich hohen Gewinns auf beiden Bändern letztlich eben doch nicht einmal annähernd so leistungsstark ist wie die TW1825.

Dankenswerterweise hat Tallysman aber auch jenseits der blumigen Superlative, in denen offenbar alle Verkäufer stets zu schwelgen scheinen, die eigentlichen Ingenieure noch immer zu Wort kommen lassen, z.B. unter <https://www.tallysman.com/gnss-antenna-radio-frequency-characteristics/>: „*GNSS signals are transmitted by the satellites as right hand circularly polarized (RHCP) (visualize a circular spiral signal leaving the GNSS satellite antenna and travelling through space), the GNSS receive antenna should also be RHCP, and strongly reject signals of the opposite rotational sense (LHCP). Axial ratio is a measure of this rejection normalized to reception of the RHCP (“co-polarized”). The axial ratio is the ratio between the semi major and semi minor axis. For a perfect antenna both values would be the same (i.e. equal to 1) or 0dB, over all azimuth and elevation angles and all frequencies within the antenna bandwidth.*“

Bzw. in <https://www.optimalsystem.de/os/docs/Tallysman-White-Paper-on-GNSS-Antennas.pdf>:

„The axial ratio of an antenna is the ratio of the gain at maximum and minimum orthogonal gain orientations, when illuminated by a linearly polarized signal, expressed in dB. An ideal circularly polarized antenna has an axial ratio of 0dB, i.e. the output power is the same for any antenna rotation. This is an indicator of how well the antenna will receive circular signals. Antennas with poor axial ratios have an elliptical response that is stronger at one rotation angle and weaker at others. The axial ratio of a “good”, circular antenna should be 3dB or better, over the full bandwidth (i.e. the gain in one orientation gain is not more than half that an orthogonal direction). Even less good antennas should not be worse than 6dB.“

Lange Rede, kurzer Sinn: F10N und F9P nutzten also zumindest ähnlich leistungsstarke Antennen im regennassen Laubwald, und v.a. war hierbei auch kein so extrem L5-empfangsstarkes Modell wie z.B. die XAHP.50.A.301111 von Taogloas im Spiel, so dass letztlich keinesfalls unterstellt werden kann, im F10N-Ergebnis hätte vielleicht dessen Antenne noch irgendeinen relativen Vorteil bewirkt.



Parallele Messanordnung von TW3882 und TW1825 (jeweils mit erweiterter Grundplatte) auf einem gemeinsamen Stab

Die von beiden Antennen gemeinsam genutzte Stabhalterung war so am Gepäckträger eines Fahrrads befestigt, dass möglichst wenige Schwankungen am oberen Stabende wirksam werden sollten, auch wenn diese Vorrichtung wohl zugunsten des RTK-Rovers gewesen sein mag, denn erfahrungsgemäß ist ein RTK-Fix ja nicht nur v.a. von allzu viel Multipath bedroht, sondern oft auch vom Hin und Her auf Antennenstäben, Traktordächern über unebenem Gelände, Wasserfahrzeugen bei Wellengang usw., das Fahrrad wurde während der Messungen im Wald jedoch nur zu Fuß geschoben bzw. sogar etliche Male abgestellt, um der m.E. am ehesten typischen Nutzungsweise von forstlichen Praktikern ähneln zu können.

Indem die Fortbewegung unter der weitgehend völlig geschlossenen Baumkronenschicht wirklich nur in sehr langsamer Schrittgeschwindigkeit stattfand bzw. eben auch immer wieder ganz zum Stillstand kam, konnten nachträgliche „Track-Glättungen“ dieser GNSS-Module kaum noch wirksam geworden sein.

Bevor ich für die eigentlichen Messungen den Wald betrat, liefen beide Rover bereits etliche Minuten, so dass vom F10N schon ein DGNSS-Fix (mit EGNOS) sowie vom F9P ein RTK-Fix (mit SAPOS HEPS) erreicht wurde.

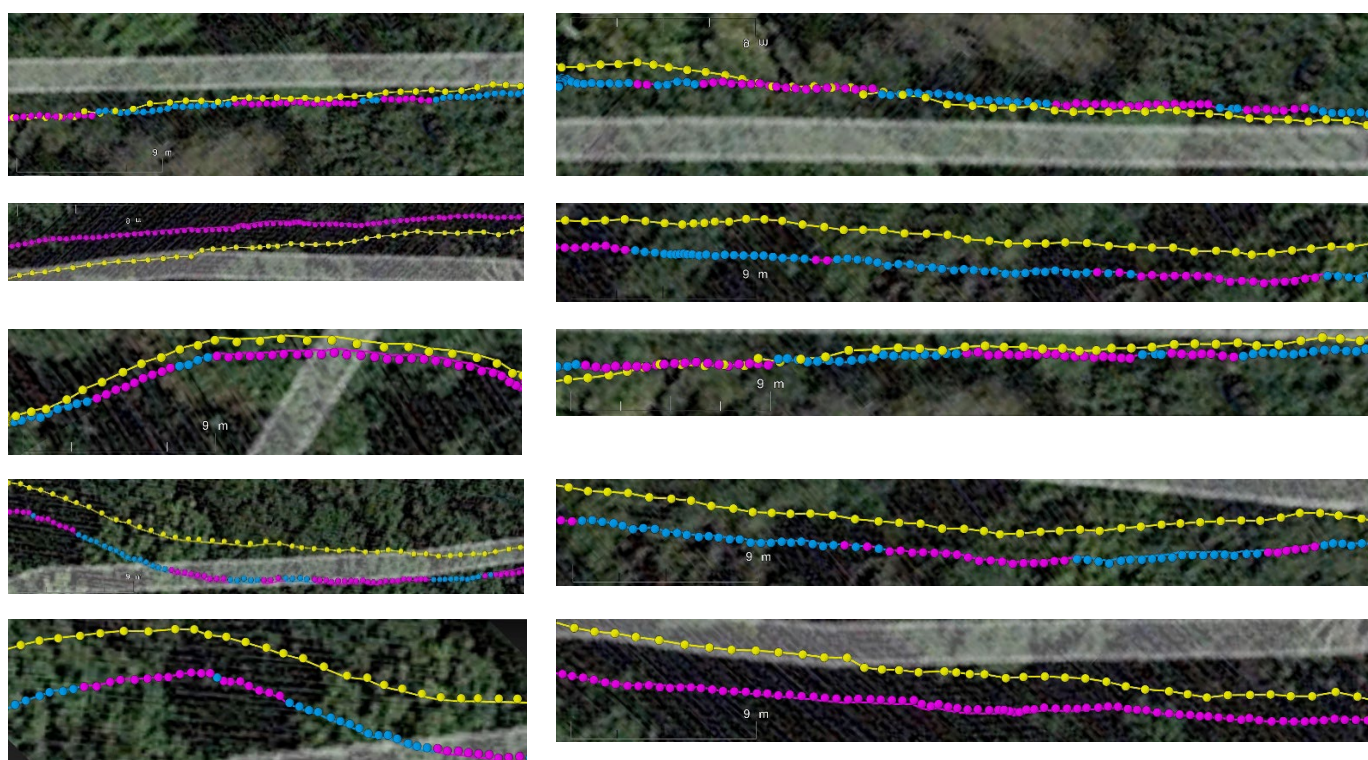
Der Ntrip-Client zum Abruf der VRS für den RTK-Rover lief während der ganzen Messung ohne jegliche Unterbrechung, die Fix-Abrisse im Wald resultierten also keinesfalls aus einer irgendwie lückenhaften RTCM-Zufuhr, sondern waren tatsächlich nur den dortigen GNSS-Empfangsbedingungen geschuldet, und zwar zweifellos praktisch allein der bereits erläuterten Multipath-Problematik.

Umso beachtlicher darf angesichts dieser ja ganz bewusst so schwierig gewählten Verhältnisse dann doch der geradezu verblüffend große Anteil von Abschnitten sein, in denen ein RTK-Fix gehalten bzw. sogar wieder neu erreicht werden konnte.

Vorab hatte ich kaum erwartet, unter der tropfnassen Laubkronenschicht überhaupt je mehr als ein (vielleicht auch nur lausiges) RTK-Floating zu sehen, die eigentliche Überraschung zeigte hierbei also die RTK-Leistung des F9P in einer so extrem hinderlichen Umgebung.

Selbst die - m.E. zweifellos unvermeidlichen - Fix-Abrisse führten im Pfadverlauf des F9P nirgendwo zu solchen „Seitwärts-Sprüngen“, wie sie z.B. für ackerbauliche RTK-Anwender seit jeher für Verdruss sorgten, wenn ihre Landmaschine beim Fix-Abriss plötzlich „virtuell aus der Ackerfurche hüpf“ und somit z.B. zentimeter- oder auch nur dezimetergenaues Arbeiten in der Praxis oft viel schwieriger war.

Mein vorrangiges Interesse galt jedoch dem F10N-Track, der erwartungsgemäß auch im regennassen Wald eine ebenso unerschütterliche „Multipath-Resistenz“ zeigen konnte wie in seinem „heimischen Habitat“ (v.a. den von u-blox so überzeugend dargestellten großstädtischen Straßenschluchten). :-)



Pfadabschnitte von F10N (gelb) und F9P (magenta bzw. blau entsprechend RTK-Fix/-Float)

Die hier beispielhaft gezeigten Abschnitte sollen und können keineswegs irgendeine Belege dafür sein, welche absoluten Genauigkeiten von den beiden Rovern im Wald realisiert wurden, denn hierzu hätte ich vorab noch Referenzpositionen mit gesicherter Güte auf dem Pfadverlauf benötigt.

Noch nicht einmal für quantitative Aussagen bzgl. der relativen Unterschiede zwischen F10N und F9P dürfen diese Darstellungen genutzt werden, da ich bewusst keinerlei Schritte unternommen habe, die beiden Messergebnisse auf einen deckungsgleichen Lagebezug zu bringen (F9P als RTK-Rover erhielt Bezugsrahmen von SAPOS-VRS, F10N als SBAS-DGNSS von EGNOS).

Was zu zeigen war und worum es bei dieser Messung letztlich auch nur ging, ist die auch von solch massivem Multipath noch kaum zu erkennbaren Ausreißern führende DGNSS-Fixierung des F10N, insofern hätte es vielleicht eindrucksvoller bzw. aussagekräftiger sein können, zum Vergleich nicht einen RTK-Rover wie eben das F9P-Modul heranzuziehen, sondern nur ein Einfrequenz-DGNSS wie z.B. das M9N-Modul von u-blox, welches sogar alle vier globalen GNSS (GPS, GAL, BDS, GLO) aktiv einbezogen hätte, bei langsamer Fortbewegung bzw. erst recht im Stillstand höchstwahrscheinlich jedoch trotzdem von wesentlich stärkeren Ausreißern („Punktwolken“) geprägt worden wäre.

Angesichts dessen, dass in einer so extrem von Multipath gestörten Umgebung auch ein RTK-Fix nur mit gesunder Skepsis betrachtet werden kann (zumal ohnehin lediglich ein steter Wechsel zwischen Fix und Float im Wald erreicht wurde), weswegen im Rückblick die zu diesem Zeitpunkt leider noch nicht verfügbare Option einer konservativeren Fixierung gewiss recht nützlich erschiene, ist ein auf Trägerphasen-Auswertungen beruhendes Messverfahren wie RTK (oder PPP) als Vergleichssystem zu einem L5-DGNSS in einem dichtbelaubten tropfnassen Wald sicherlich dann besonders interessant, wenn auf dem Pfadverlauf vorher (z.B. bei Trockenheit oder sogar in einer unbelaubten Jahreszeit) im besten Falle mehrere Referenzpositionen mit gesicherter Genauigkeit markiert werden können.

Aber wie gesagt, hier ging es lediglich darum, wie sehr bzw. ob überhaupt ein L5-DGNSS wie eben das neue F10N-Modul vielleicht von einer völlig durchnässten Laubkronenschicht zu Ausreißern gebracht wird, da sich die Multipath-Charakteristik hierin ja doch von der einer Straßenschlucht zwischen zwar ggfs. recht hohen, zumeist jedoch relativ gleichmäßig gestalteten Häuserfassaden unterscheidet.

Innerhalb dieser Selbstbeschränkung bzgl. seiner Aussagekraft ist dieses Ergebnis aber offensichtlich den vorherigen Erwartungen voll genügend: Was dem F10N im Großstadtdschungel so beeindruckend gelingt, funktioniert auch im schwierigsten forstlichen Umfeld bestens!

Ungeachtet evtl. denkbarer Erwägungen, wie sinnvoll ein Dreiband-RTK oder auch nur ein L1/L5-RTK wie z.B. das u-blox ZED-F9P-15B im Wald wohl sein könnte, lässt sich eine Aussage bereits jetzt mit völliger Gewissheit treffen: Wer bislang nur Einfrequenz-(D)GNSS für forstliche Anwendungen nutzen konnte, sollte auch in diesem Einsatzumfeld schnellstmöglich erstmal die ja schlicht physikalischen Vorteile von L5 wahrnehmen, wozu vermutlich auch nicht nur Produkte von u-blox taugen dürften. :-)

Mich selbst wird wohl demnächst auch schon die Frage beschäftigen, wie vorteilhaft u.a. im Wald die Verwendung einer ganz besonders L5-empfangsstarke GNSS-Antenne zu sein vermag ...



Anfahrt zum regennassen Waldstück (hinter den Maisfeldern beidseits der Straße), noch in der Morgendämmerung