

## GNSS Interferenzen und Störungen: Ergebnisse der Langzeitanalysen und Empfängertests im EU-Projekt STRIKE3

Martin Pölöskey<sup>1</sup>, M. Pattinson<sup>2</sup>, M. Dumville<sup>2</sup>, D. Fryganiotis<sup>2</sup>, Z. Bhuiyan<sup>3</sup>, S. Thombre<sup>3</sup>, M. Alexandersson<sup>4</sup>, E. Axell<sup>4</sup>, P. Eliardsson<sup>4</sup>, V. Manikundalam<sup>5</sup>, S. Lee<sup>6</sup>, J. Reyes Gonzalez<sup>7</sup>

<sup>1</sup> Automotive & Rail Innovation Center (ARIC) der AGIT mbH, DE, <sup>2</sup> Nottingham Scientific Ltd (NSL), UK, <sup>3</sup> Finnish Geospatial Research Institute, National Land Survey of Finland (NLS), <sup>4</sup> Swedish Defence Research Agency (FOI), <sup>5</sup> GNSS Labs, Indien, <sup>6</sup> ETRI, Republik Korea, <sup>7</sup> European GNSS Agency (GSA)

### Motivation

Der Einsatz von Satellitennavigationssystemen (GNSS - Global Navigation Satellite Systems) steigt in vielen Anwendungen und Sicherheitssystemen seit Jahren stetig an. Dies trifft insbesondere auch für Anwendungen in Kraftfahrzeugen zu, sowohl bei Fahrerassistenzsystemen als auch im Bereich des autonomen Fahrens. Zudem nutzen viele Dienste im Transportwesen oder im Verkehrsflussmanagement GNSS als wichtigen Baustein. Daher ist es unabdingbar, die Satellitensignale auf einer internationalen Ebene auf Korrektheit zu überwachen und vor auftretenden Störungen zu schützen. Insbesondere, da sie aufgrund ihrer sehr niedrigen Leistungsdichte äußerst empfindlich gegenüber Störungen und Interferenzen sind, die z.B. durch Jammer mutwillig erzeugt oder durch fehlerhafte elektronische Geräte unabsichtlich verursacht werden.

STRIKE3 ist ein laufendes europäisches H2020-Projekt, bei dem zunächst die real auftretenden Störungen der GNSS-Signale über Monitoring-Stationen erfasst, untersucht und analysiert wurden. Ausgehend von diesen Ergebnissen wurden dann im zweiten Teil verschiedene Verfahren zum Testen von GNSS-Empfänger bzgl. ihrer Robustheit gegenüber den Störsignalen entwickelt und in einer Testspezifikation beschrieben. Jetzt im laufenden dritten Teil werden verschiedene Empfänger exemplarisch diesen Tests unterzogen (Abb. 1).

Im Folgenden werden die Ergebnisse aus den Interferenz-Analysen, der daraus resultierende Entwurf der Testspezifikation sowie die erarbeiteten Methoden und Ergebnisse der Empfängertests vorgestellt.

Das STRIKE3 Konzept:

- Internat. Monitoring und Signalerfassung
- Datenbank/Signalauswertung
- Exemplarische Empfängertests

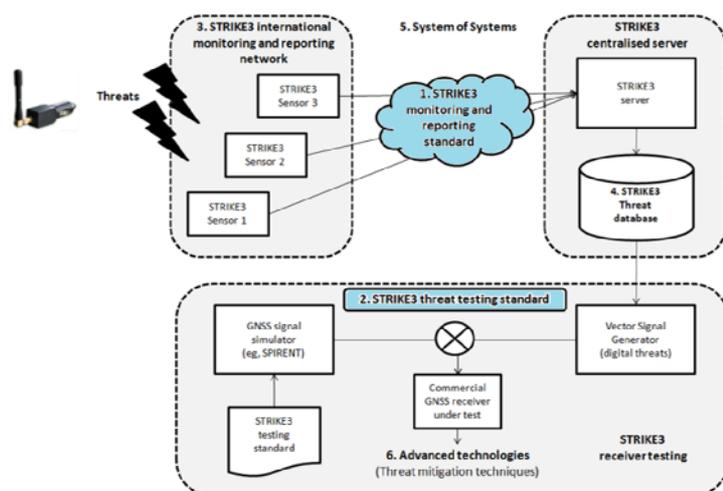


Abb. 1: Das STRIKE3 Konzept

## Erfassung, Untersuchung und Analysen der GNSS-Störungen

Mit STRIKE3 wurde in den letzten 2½ Jahren ein internationales Netzwerk mit Beobachtungsstationen in 23 Ländern errichtet, in denen nunmehr über 450.000 Interferenz-Signale erfasst und aufgezeichnet wurden.

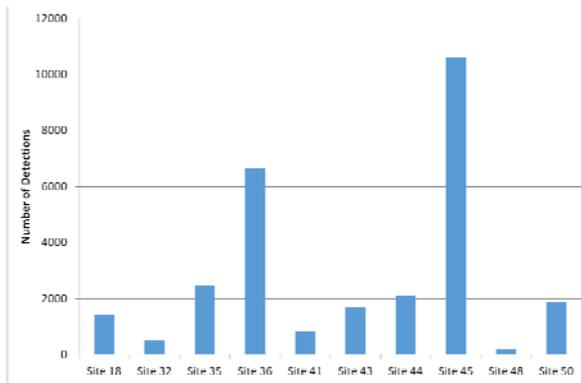


Abb. 2: Erfasste Interferenzen an verschiedenen Messstationen

Damit die von den weltweit verteilten Monitoring-Stationen erfassten Störsignale miteinander vergleichbar sind, wurde zunächst ein standardisiertes Datenformat für die Erfassung und Ablage der Signaldaten in einer gemeinsamen Datenbank definiert und in einem öffentlich verfügbaren Spezifikations-Entwurf beschrieben (siehe "DRAFT Standard for GNSS threat reporting and analysis", frei verfügbar zum Download bei [www.gnss-strike3.eu](http://www.gnss-strike3.eu)).

Diese Daten bilden nun eine fundierte Grundlage zur Analyse und Klassifizierung der real auftretenden Interferenz-Signale. Dabei lässt sich eindeutig nachweisen, welche Störsignale davon absichtlich mit Jammern generiert wurden.

Die Auswertung der Signaldaten erfolgt nach bestimmten Parametern, wie Spektrum/ Spektrogramm, Leistungsprofil, Bandbreite, Mittenfrequenz, Sweep-Rate, Einfluss auf die Anzahl der verwertbaren SatNav-Satelliten sowie die Beeinflussung der Genauigkeit der erhaltenen Positionslösung. Darüber hinaus lassen sich Dank der zuvor definierten identischen Datenformaten über die gesamte Datenbank auch statistische Auswertungen durchführen und daraus Schwerpunkte und Trends ableiten.

Bei 73.000 der erfassten Signale kommt es zu einem vollständigen Ausfall des GNSS-Systems, so dass während der Interferenzdauer keine Positionsbestimmung möglich ist. Davon werden 59.000 Ausfälle durch mutwillig betriebene Jammer hervorgerufen, 12.000 durch schmalbandige Sendesignale im L1-Band und 2.000 durch andere Störungen (vgl. Vortrag Folie Nr.9).

## Jammer

Nachfolgend sind zur Verdeutlichung die Spektren und Spektrogramme einiger Jammer-Signale dargestellt. Die Mittenfrequenz der Spektren liegt jeweils bei L1 bzw E1.

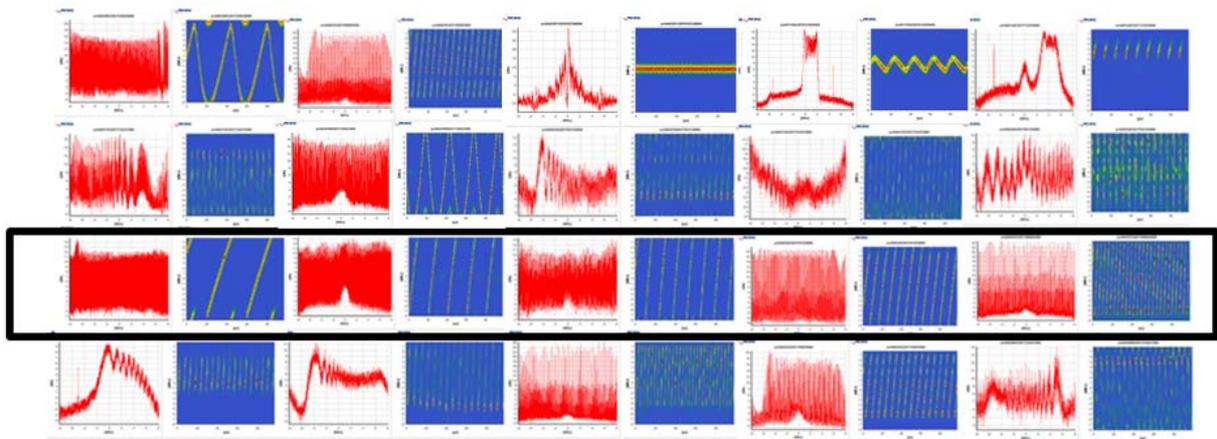


Abb. 3: Beispiele für verschiedene Jammer Signale

Aus den Datenbank-Auswertungen ist auch zu erkennen, dass jeder Jammer seinen eigenen „Fingerabdruck“ hinterlässt, d.h. bei bauteilgleichen Jammer ergeben sich aufgrund der großen Toleranzen der sehr einfach gefertigten HF-Module leichte Unterschiede im Spektrum/ Spektrogramm, wodurch ein Jammer eindeutig identifiziert werden kann - und somit lassen sich auch seine Positionen und Bewegungen verfolgen (Abb. 4)

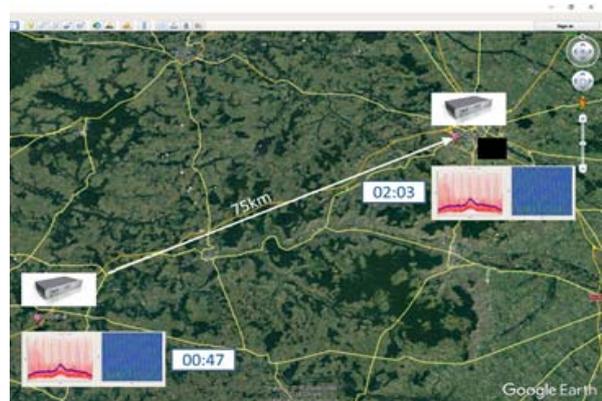


Abb. 4: Nachverfolgung eines Jammers

### Entwurf von Teststandards für SatNav-Empfänger

Ein wesentliches Ziel im STRIKE3-Projekt ist es, den Entwurf für eine Spezifikation zum Testen und Validieren von SatNav-Empfängern zu generieren. Die Basis hierfür bilden die Ergebnisse der Analysen der aufgezeichneten Interferenzen aus der Signaldatenbank, die dann wiederum als Testsignale herangezogen werden. Die ausgewählten Signale (Abb. 5) und deren Auswahlprozess sind in der bereits erstellten Testspezifikation dargestellt und beschrieben (siehe „DRAFT Standard for assessing the performance of GNSS receivers under threat“). Das Dokument ist frei verfügbar und kann über [ww.gnss-strike3.eu](http://ww.gnss-strike3.eu) heruntergeladen werden.

Type of signal	Example Plots	Reason for choice
Narrow band or L1		Example unintentional(?) signal – this type seen on multiple occasions and at multiple sites
Wide Sweep – fast repeat rate		Very common (total number of events, and number of sites)
Triangular wave		Common (and number of sites)
Triangular		Common (and number of sites)
Tick		Increasingly common. Evolving threat (new type).

Abb. 5: Testsignale abgeleitet von tatsächlich erfassten Störsignalen/Interferenzen

Darüber hinaus beschreibt dieser Spezifikations-Entwurf einen umfassenden Rahmen für unterschiedliche Testfälle und Gerätekonfigurationen zum Testen von GNSS-Empfängern, die vom Anwender gemäß den Anforderungen an die einzelnen Empfängertypen (multi-konstellation, professionell, kommerziell, integriert, Kfz, ...) adaptiert werden können. Sie umfasst den Testaufbau, die Testmethoden und die Bewertungskriterien. Ein wichtiger Aspekt ist zudem der Einbezug der im Monitoring-Netzwerk aufgenommenen, realen Störsignale, die für die Tests Verwendung finden.

Nachfolgend ist exemplarisch eine Konfiguration für einen Empfänger-Testfall dargestellt, bei dem ein reines GNSS-Signal aus dem Signal-Simulator mit einem Interferenzsignal gemischt und dann dem Empfänger zugeführt wird. Das Interferenzsignal kann zum einen eines der ausgewählten, realen Störsignale sein oder aber ein entsprechendes, mit einem Vektorsignalgenerator synthetisch erzeugtes Signal.

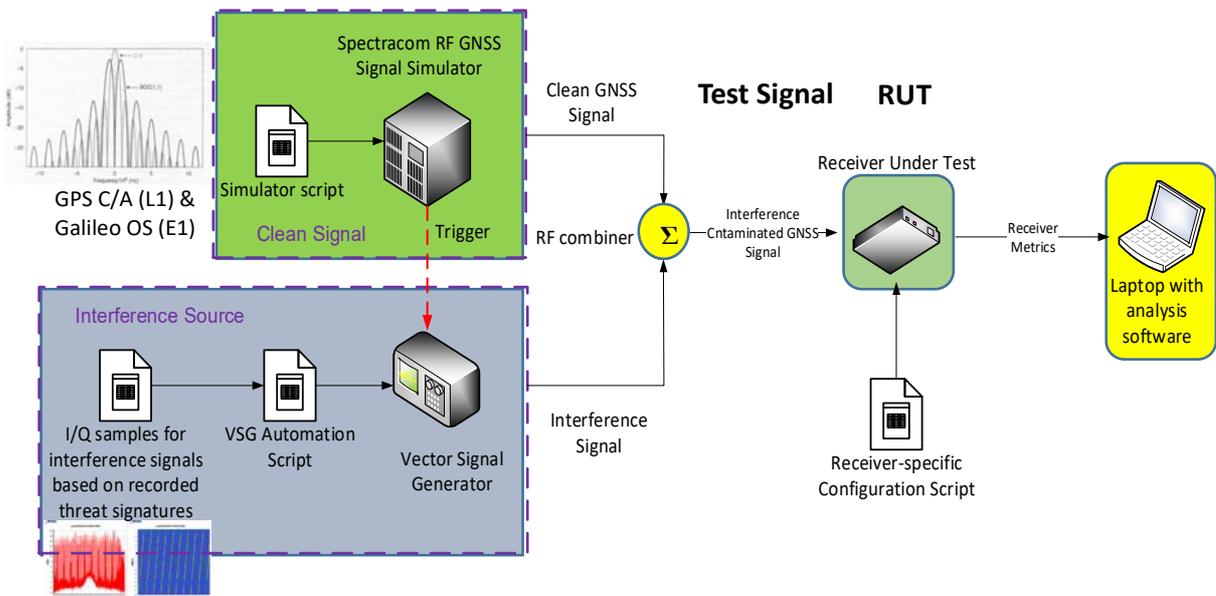


Abb. 6: Konfiguration für GNSS-Empfängertest

## Empfängertest

Bei der Testdurchführung wird der Empfänger zunächst ohne Interferenzsignal betrieben, bis er stabil läuft. Dann wird die Leistung des Interferenzsignals stufenweise erhöht und danach entsprechend wieder schrittweise reduziert. Dieser Vorgang wird zweimal durchgeführt und das Verhalten des Prüflings dokumentiert.

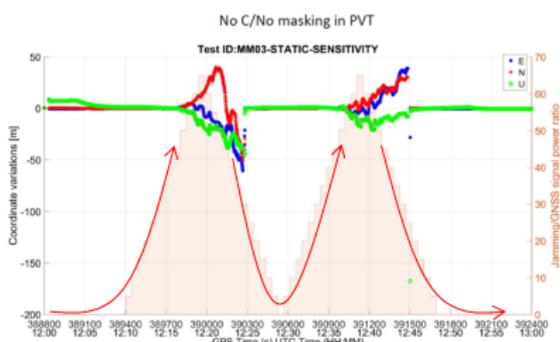
In der letzten Phase des Projekts werden nun anhand dieser Spezifikation und den aufgezeichneten Interferenzsignalen aus der STRIKE3-Datenbank mehrere Empfänger

exemplarisch getestet. Diese Labortests wurden durchgeführt, um den erstellten Entwurf der Testspezifikation auf ihre Nutzbarkeit und Praxistauglichkeit zu prüfen, geben aber auch erste Aufschlüsse über die Robustheit der verwendeten SatNav-Empfänger. Getestet werden drei professionelle GNSS-Empfänger, ein Konsumer-Gerät, ein integrierter Empfänger sowie ein GNSS-Zeitgeber.

Nachfolgend sind die Ergebnisse von einem Test mit einem Konsumergerät und einem Test mit einem professionellen Empfänger dargestellt. Es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass es sich hierbei um rein exemplarische Messungen handelt und sich daraus keine repräsentativen Schlüsse ableiten lassen.

Beim Vergleich der beiden nachfolgenden Grafiken ist zu beachten, dass die Ordinaten unterschiedliche Skalierungen besitzen. Die rosa hinterlegte Treppenfunktion zeigt die stufenweise veränderte Leistung des Interferenzsignals.

### Mass market Receiver

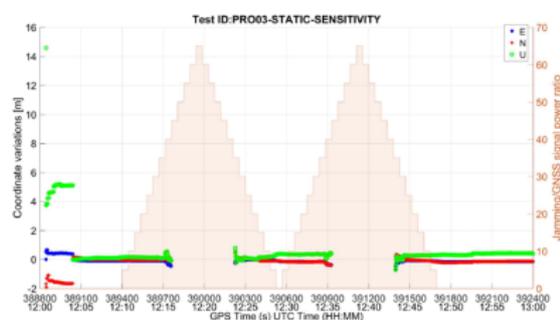


**Availability**  
97.91%

**3D Position error**  
21.19m

Abb. 7: Verhalten eines Massenmarkt-Empfängers bei Interferenzen  
blau: Long-Abweichung rot: Lat-Abweichung grün: Alt-Abweichung

### Professional Receiver



**Availability**  
58.58%

**3D Position error**  
0.31m

Abb. 8: Verhalten eines professionellen Empfängers bei Interferenzen  
blau: Long-Abweichung rot: Lat-Abweichung grün: Alt-Abweichung

Die beiden Grafiken zeigen sehr deutlich das unterschiedliche Verhalten der beiden Empfänger bei den Interferenz-Einwirkungen. Der Massenmarkt-Empfänger gibt trotz den Interferenzen eine Position aus, auch wenn diese aufgrund der Störungen bereits sehr fehlerbehaftet und für darauf aufbauende Applikation unbrauchbar ist. Im vorliegenden Beispiel liegt die Verfügbarkeit einer Positionsanzeige bei annähernd 98% wobei der 3D-Positonsfehler bis zu 21m beträgt.

Dagegen liegt der Positionsfehler bei einem professionellen Gerät im Bereich von lediglich 30 cm. Sobald der Positionsfehler aufgrund der gestörten Signale zu groß wird, liefert der Empfänger keine Positionslösung mehr, daher beträgt die Verfügbarkeit im vorliegenden Fall lediglich ca. 58%.

In der nachfolgenden Abb. 9 ist die Anzahl der verwertbaren Satellitensignale dargestellt, die mit zunehmenden Einfluss der Inferenz abnimmt. Bemerkenswert ist, dass im vorliegenden Beispiel die Galileo-Signale länger, d.h. bis zu einem höheren Interferenzlevel, verwertet werden können, als die GPS-Signale. Es sei noch einmal ausdrücklich betont, dass diese Beobachtung nicht repräsentativ ist und mit weiteren Arbeiten untersucht werden muss.

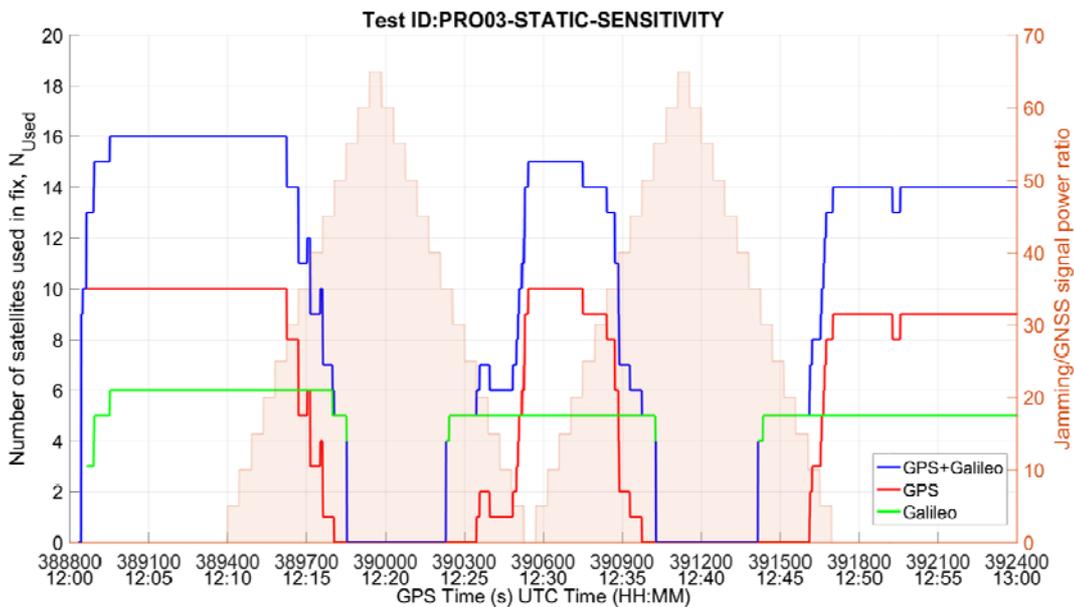


Abb. 9: Anzahl der für die Positionslösung verwendeten Satelliten  
 blau: Gesamtanzahl rot: Anzahl GPS-Sat. grün: Anzahl Galileo-Sat.

## Resümee

Im EU-H2020-geförderten Projekt „STRIKE3“ konnte ein internationales Monitoring-Netzwerk zur Erfassung von Interferenzen im GPS-L1-Band aufgebaut werden. Es wurden die Voraussetzungen geschaffen, dass die dabei aufgezeichneten Signale und Informationen von allen Monitoring-Stationen in einer gemeinsamen Datenbank abgelegt werden und somit Auswertungen über alle Datensätze möglich sind. Die Interferenzdaten wurden charakterisiert und parametrisiert und anhand ihrer Parameter und Eigenschaften auch statistisch ausgewertet.

Mit diesen Erkenntnissen wurden dann verschiedene Methoden und Konfigurationen zum Testen von GNSS-Empfängern entwickelt. Auf Basis realer Ereignisse konnten fünf repräsentative Jammer-Signale als geeignete Interferenz-Signale ausgewählt werden, die zum einen als Replay-Signal oder synthetisch mit einem Vektor-Signalgenerator generiert in den Empfänger-tests Verwendung finden.

Zur Überprüfung und Validierung der Testmethodik auf Anwendbarkeit und Praktikabilität wurden exemplarisch mehrere GNSS-Empfänger unterschiedlicher Klassen diesen Tests unterzogen und die Ergebnisse diskutiert.

Aus diesem Gesamtprozess entstand der Entwurf einer Spezifikation zum Testen von GNSS-Empfängern auf Robustheit gegenüber Interferenzen, die nun in nachfolgenden Schritten einem möglichen internationalen Standardisierungsgremium als erste Basis für die Arbeiten dienen können.

### **Ausblick**

Zu den bereits veröffentlichten Dokumenten zur Erfassung und Ablage der Interferenzsignale in einer Datenbank sowie dem Entwurf einer Spezifikation für Empfängertests werden mit dem Ende des STRIKE3-Projekts auch die Ergebnisse der exemplarischen Empfängertests verfügbar ein.

Dies Dokumente können für ein zukünftiges Standardisierungsgremium die Grundlage der Arbeiten bilden.

Die STRIKE3-Webseite ([www.gnss-strike3.eu](http://www.gnss-strike3.eu)) wird auch über das Projektende hinaus weiter betrieben. Dort wurde in der Zwischenzeit auch ein Forum eingerichtet, in dem das Thema GNSS-Interferenzen, deren Auswirkungen und Gegenmaßnahmen öffentlich diskutiert und weiter bearbeitet werden kann.

### **Danksagung und Hinweis**

Das STRIKE3-Projekt wird über das Europäische H2020 Forschungs- und Innovationsprogramm durch die Europäische GNSS Agentur (GSA) ko-finanziert (Förderkennzeichen Nr. 687329-STRIKE3-H2020-Galileo-GSA-2014-2015r).

Die in diesem Artikel dargestellten Inhalte stellen die Sichtweise des Autors dar und die Europäische Kommission / GSA übernehmen hierfür keinerlei Verantwortung.

This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 687329-STRIKE3-H2020-Galileo-GSA-2014-2015r.

The information and statements provided in this article reflects the author's view only and the European Commission / GSA is not responsible for any use that may be made of the information it.



**Abbildungen:**

Abb. 1: Das STRIKE3 Konzept..... 1  
Abb. 2: Erfasste Interferenzen an verschiedenen Messstationen ..... 2  
Abb. 3: Beispiele für verschiedene Jammer Signale ..... 3  
Abb. 4: Nachverfolgung eines Jammers ..... 3  
Abb. 5: Testsignale abgeleitet von tatsächlich erfassten Störsignalen/Interferenzen..... 3  
Abb. 6: Konfiguration für GNSS-Empfängertest..... 4  
Abb. 7: Verhalten eines Massenmarkt-Empfängers bei Interferenzen ..... 5  
Abb. 8: Verhalten eines professionellen Empfängers bei Interferenzen ..... 5  
Abb. 9: Anzahl der für die Positionslösung verwendeten Satelliten..... 6

**STRIKE3** = Standardization of GNSS Threat reporting and Receiver testing through  
International Knowledge Exchange, Experimentation and Exploitation

**Kontakt:**

Martin Pölöskey      Automotive & Rail Innovation Center (ARIC) der  
AGIT mbH, Dennewartstr. 25-27, 52068 Aachen  
Besucheranschrift: Friedrich-List-Allee 11, 41844 Wegberg-Wildenrath  
Tel.: 02432-93376-11 Mobil: 0173-2730 440  
E-Mail: [martin.poloskey@aric-aachen.de](mailto:martin.poloskey@aric-aachen.de)