

In Kooperation mit



connect. digitize. get ahead.

A futuristic blue car is shown from a rear three-quarter view, driving on a multi-lane road towards a sunset. The car has glowing red light bars on its rear. Above the car, a large white location pin icon is superimposed on the landscape. The road surface is marked with glowing blue and red digital lines and numbers, suggesting a smart road or navigation system. The background shows a body of water, distant hills, and a power line tower under a warm, orange-hued sky.

# T IoT

**Precise Positioning  
auf dem Prüfstand:**  
Die Europa-Tour

 **Connecting  
your world.**



# Inhalt

<b>1. Zusammenfassung</b>	<b>3</b>
<b>2. Precise Positioning für Fahrzeuge</b>	<b>4</b>
<b>3. Mobile und industrielle Anwendungen</b>	<b>5</b>
<b>4. Die Lösung: Swift Navigation Precise Positioning</b>	<b>6</b>
<b>5. Die Testfahrt: Versuchsaufbau</b>	<b>7</b>
<b>6. Ergebnisse der Testfahrt</b>	<b>9</b>
<b>7. Umgebungen</b>	<b>10</b>
Häuserschluchten	10
Tunnel	11
Mehrspurige Straßen	12
Gebirge	13
<b>8. Fazit</b>	<b>14</b>

# Zusammenfassung

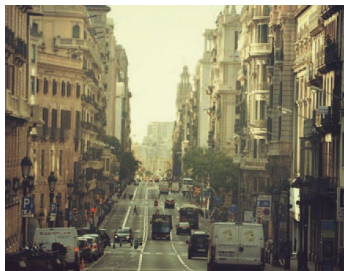
Der Markt für Precise Positioning befindet sich an einem entscheidendem Punkt. Vorangetrieben wird die Entwicklung durch die steigende Nachfrage nach autonomen Funktionen, Automatisierung, Navigation, Tracking und Mapping in verschiedenen Branchen wie der Automobilindustrie, Robotik, mobilen Geräten, dem Internet der Dinge (IoT) und geografischen Informationssystemen (GIS). Swift Navigation und Deutsche Telekom bieten zentimetergenaue Positionsbestimmung und ebnen damit den Weg für die nächste Generation standortbezogener Produkte für den Massenmarkt.

Während andere Lösungen, die auf satellitengestützte Lokalisierung setzen, aufwendige Installationen vor Ort und teure Ausrüstung benötigen, um eine ähnliche Ortungsgenauigkeit zu erzielen, ist der Skylark™ Precise Positioning Service von Swift für den großflächigen Einsatz konzipiert. Er ist kompatibel mit gängigen Empfängern, garantiert eine konsistente und flächendeckende Leistung und genießt das Vertrauen von Branchenführern in der Automobilindustrie und im IoT-Bereich.

Möglich wird die kontinentweite Netzabdeckung der Swift-Lösung durch Partnerschaften mit Mobilfunknetzbetreibern (MNOs) auf der ganzen Welt. In Europa nutzt Skylark für die Modellierung von Korrekturen in der Cloud das Netz von Referenzstationen (CORS - Continuously Operating Reference Stations), das die Telekom aufgebaut hat und betreibt. Skylark stellt so eine hochgenaue Positionsbestimmung mit nahtloser Verfügbarkeit auf dem gesamten Kontinent bereit.

Swift und die Telekom haben gemeinsam eine ehrgeizige Testfahrt von über 2.000 km durchgeführt. Sie führte durch fünf Länder: Deutschland, Schweiz, Frankreich, Italien und Spanien. Dabei wurde die GNSS-Positionsbestimmung mit und ohne Skylark-Korrekturen in zahlreichen für Ortungssysteme schwierigen Umgebungen verglichen, um die Grenzen der präzisen Positionsbestimmung auszutesten. In allen Testumgebungen lieferte die Lösung von Swift und der Telekom beeindruckende Ergebnisse und übertraf die Vergleichskonstellation bei Weitem.

## Herausfordernde Umgebungen



**Häuserschluchten**



**Tunnel**



**Mehrspurige Straßen**



**Gebirge**

Diese Umgebungen sind besonders für die Bereiche Automobilindustrie, Navigation und Flottenmanagement relevant. Die Positionierungslösung von Swift und Telekom ist in unterschiedlichen Konfigurationen erhältlich, um so die Anforderungen an Genauigkeit, Verfügbarkeit und Mobilfunkversorgung einer Vielzahl von Branchen und Anwendungsfällen abzudecken.



# Precise Positioning für Fahrzeuge

Die Technologie für vernetzte und selbstfahrende Fahrzeuge entwickelt sich rasant und eröffnet der Automobilindustrie neue Möglichkeiten, die Mobilität zu verbessern und die Logistik kommerzieller Flotten zu optimieren. Schon die nächste Generation von Fahrzeugen wird über eine immersive Navigation und Echtzeit-Karten verfügen, die durch Crowdsourcing aktualisiert werden. Auch die Vernetzung mit anderen Fahrzeugen und der Infrastruktur wird einen höheren Automatisierungsgrad ermöglichen.

Um diese Anwendungen zu ermöglichen, werden PKWs und Lastwagen mit verschiedenen fortschrittlichen Sensoren ausgestattet, darunter Radar, Kameras, LiDAR, Trägheitssensoren und globale Navigationssatelliten-Systeme (GNSS). Während frühe Innovationen im Bereich der Fahrerassistenzsysteme (ADAS) stark auf

wahrnehmungsbasierten Sensoren und relativer Positionsbestimmung beruhen, wird die absolute Positionsbestimmung mittels GNSS für moderne Anwendungen auf dem Weg zum autonomen Fahrzeug unerlässlich. Heutzutage ist eine exakte und hochverfügbare Lokalisierung von entscheidender Bedeutung, um einen sicheren und zuverlässigen assistierten und autonomen Betrieb zu gewährleisten.

Bestehende GNSS-Ortungslösungen sind jedoch für künftige Anforderungen in der Automobilindustrie nicht mehr ausreichend. Moderne Fahrzeuge benötigen eine zentimetergenaue und zuverlässige Positionsbestimmung, die immer und überall funktioniert. Ortungslösungen müssen in diesem Kontext Folgendes gewährleisten:



**Zuverlässige Genauigkeit** - Genauigkeit auf Fahrspurniveau, schnelle Konvergenz, gleichmäßige Abdeckung und eine Ausfallsicherheit auf Netzbetriebsebene (Carrier-Grade) sind unverzichtbar



**Garantierte Sicherheit** - Die Einhaltung der ASIL-Normen für Sicherheit und Integrität ist notwendig, um Vertrauen in das autonome System aufzubauen und die gesetzlichen Anforderungen zu erfüllen









**Flexibles Design** - Kompatibilität mit handelsüblicher Hardware, fahrzeugtauglichen Antennen und sowohl älterer als auch moderner IT-Architekturen ermöglicht es OEMs, Precise Positioning zu nutzen, ohne Budgets oder Entwicklungszyklen zu überlasten



# Mobile und industrielle Anwendungen

Precise Positioning ist nicht nur für die Automobilindustrie interessant, sondern bietet für verschiedene Branchen eine Vielzahl attraktiver Möglichkeiten mit einzigartigen Anwendungsfällen. Ob für Mobilgeräte oder im Kontext industrieller Anwendungen – Precise Positioning revolutioniert die Genauigkeit und Sicherheit der Outdoor-Ortung und optimiert so Effizienz und Funktionalität. Die Technologie dient als Rückgrat für eine Vielzahl von Anwendungen und ermöglicht Innovationen und Prozessoptimierungen sowohl für Unternehmen als auch für Privatpersonen. Die folgende Tabelle fasst nur einen Teil der bestehenden Anwendungsfälle und Vorteile zusammen.



	Anwendungsbeispiele	Vorteile
	Hochpräzise Outdoor-Ortung auf mobilen Geräten wie z.B. Smartphones, Wearables, Navigationsgeräten, Fitness-Trackern oder Sicherheits-Beacons	<ul style="list-style-type: none"><li>• Verbesserung der Ortungsgenauigkeit im Freien auf &lt;1m</li><li>• Verbesserte Navigationsqualität, insbesondere für Turn-by-Turn-Navigation</li><li>• Zuverlässige Genauigkeit für sicherheitskritische Anwendungen</li></ul>
	Autonome Outdoor-Roboter wie Rasenmäher oder präzise Landwirtschaftsroboter	<ul style="list-style-type: none"><li>• Realisierung von Geofencing</li><li>• Systematische, effiziente und präzise Prozesse</li></ul>
	Tracking von Lieferfahrzeugen und Gütern	<ul style="list-style-type: none"><li>• Exakte Lieferung</li><li>• Einfache Verwaltung von Fahrzeugflotten bis auf Stellplatz-Ebene</li></ul>
	Vermessung und Kartierung in Bau, Instandhaltung oder Planung	<ul style="list-style-type: none"><li>• Zentimetergenaue Ortung ohne teure Totalstationen und Theodoliten</li><li>• Einfacher Zugang zu GNSS-Korrekturen ohne eigene Referenzstationen</li></ul>
	Lieferdrohnen für die letzte Meile und professionelle UAV-Anwendungen wie GIS	<ul style="list-style-type: none"><li>• Präzise Abholung und Zustellung an kleinteiligen und engen Orten</li><li>• Absolute Positionsgenauigkeit für GIS</li></ul>
	Positive Zugsicherungstechnologie und Rail Tracking des Equipments	<ul style="list-style-type: none"><li>• Präzises Geofencing für Arbeitssicherheit</li><li>• Vermeidung von Katastrophen</li></ul>



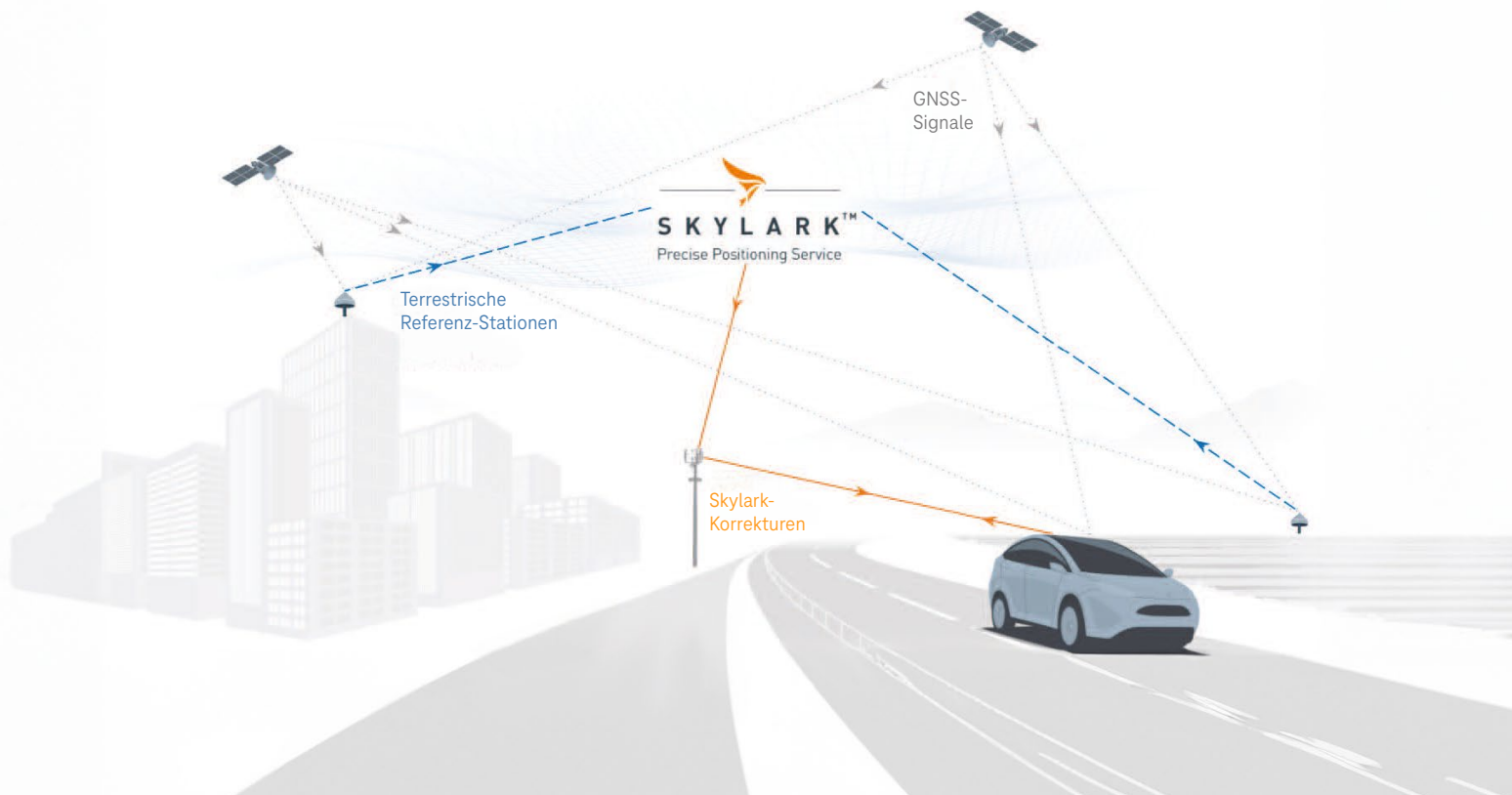
# Die Lösung: Swift Navigation Precise Positioning

Swift Navigation bietet eine universelle, zentimetergenaue Positionsbestimmung und ermöglicht damit hochpräzises Mapping und Tracking sowie neue Navigations- und Fahrassistentenfunktionen für digitale Innovationen in allen Branchen weltweit.

Die Lösung von Swift wurde entwickelt, um die strengen Anforderungen der Automobilindustrie zu erfüllen und umfasst den cloudbasierten GNSS-Korrekturdienst Skylark™ und die Starling® Positioning Engine, eine hochpräzise und hardwareunabhängige Positionsbestimmungs-Engine. Skylark wendet fortschrittliche Korrekturmodelle an und nutzt Carrier-Grade-Netzwerke, die in Zusammenarbeit mit Mobilfunknetzbetreibern auf der ganzen Welt betrieben werden, um GNSS-Korrekturen bereitzustellen. Dabei kombiniert Starling GNSS und auf Sensor-Fusion basierende Koppelnavigation, um eine absolute Position, Geschwindigkeit und

Zeit (PVT) zu bestimmen, die den ASIL-B Sicherheitsstandards entspricht. Auf diese Weise ermöglicht die Precise-Positioning-Lösung von Swift eine genaue und zuverlässige Ortung auch unter schwierigsten Bedingungen wie Häuserschluchten, Unterführungen, Zufahrtsstraßen, komplexen Kreuzungen, abgelegenen Orten, schlechtem Wetter und vielem mehr.

Heute haben mehr als 7.000 Kunden – darunter mehr als 20 Automobilhersteller und -zulieferer, mehrere marktführende Mobiltelefonhersteller, Logistikunternehmen, Anlagenbauer und andere – zusammen mehr als 5 Millionen Fahrzeuge und Geräte auf den Markt gebracht, die mit der Technologie ausgestattet sind, die Swift in Zusammenarbeit mit der Telekom und anderen Mobilfunknetzbetreibern anbietet.



# Die Testfahrt: Versuchsaufbau

Swift und die Telekom testen ihre gemeinsame Lösung kontinuierlich, während die Telekom immer mehr terrestrische Referenzstationen in ganz Europa bereitstellt und Swift neue Funktionen einführt. Die Testfahrt wurde initiiert, um sowohl die Genauigkeit der Lösung in verschiedenen Umgebungen als auch ihre Verfügbarkeit auf einem ganzen Kontinent unter realen Bedingungen zu überprüfen.

Für die 2.183 km lange Strecke von Hannover nach Barcelona benötigte das Telekom-Team vier Tage. Die Route führte durch dicht besiedelte urbane Räume, über von Bäumen gesäumte Landstraßen und durch die Alpen mit ihren bekannten Tunneln, darunter der Mont-Blanc-Tunnel und der Gotthard-Tunnel.

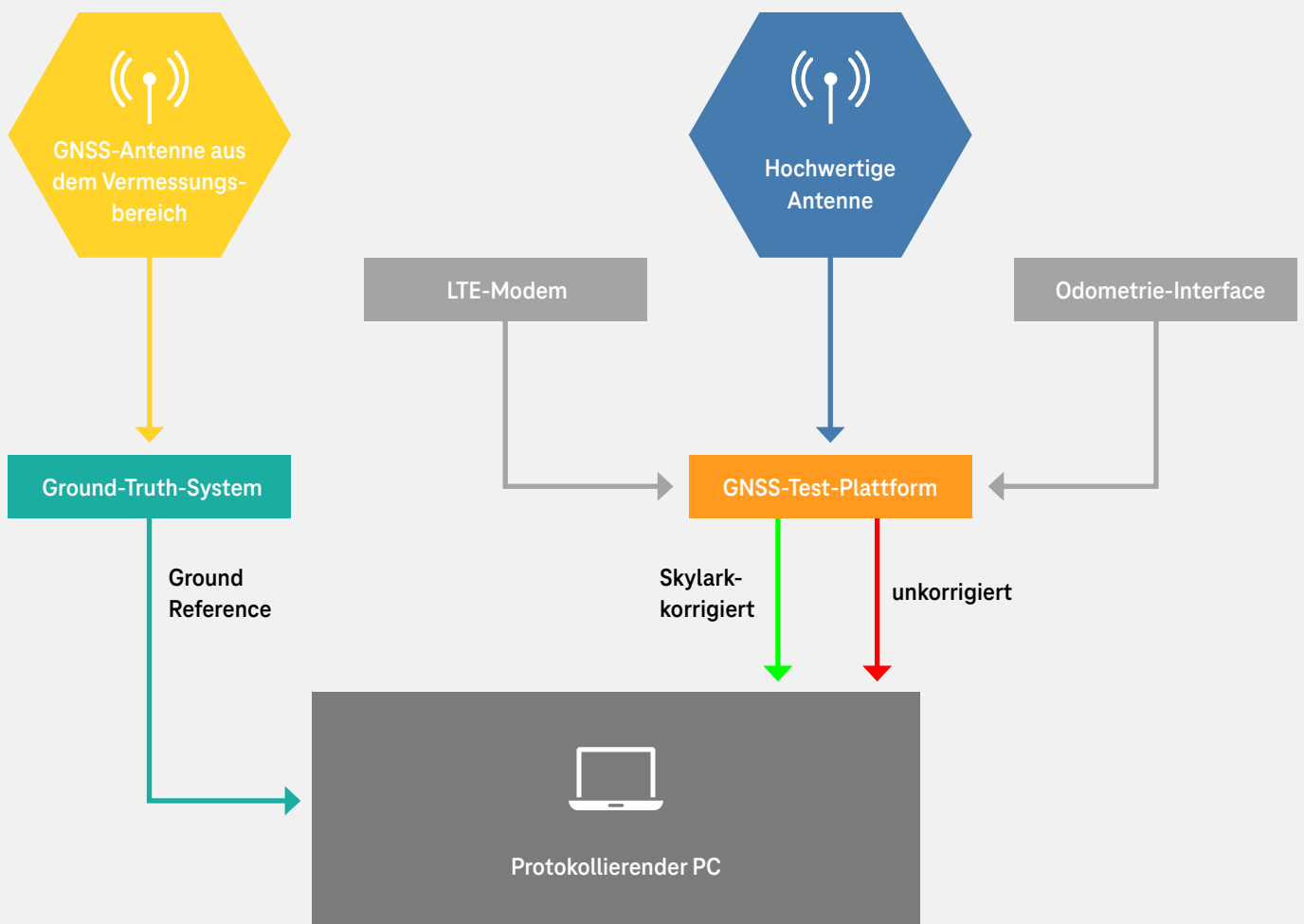


Die Route der Testfahrt

Das Testfahrzeug, eine normale Limousine, wurde mit zwei parallelen GNSS-Lösungen ausgestattet:

- Eine GNSS-Antenne aus dem Vermessungsbereich, die mit einem High-End-Referenzsystem verbunden ist und als Source of Truth dient
- Eine Dual-Band-GNSS-Plattform für den Automobilbereich, die sowohl die Skylark-korrigierte als auch die unkorrigierte Position ausgeben kann, beide unterstützt durch ein Trägheitsmessgerät und ein Odometer

Die Referenzplattform stellte über einen LTE-Router und eine IoT-SIM-Karte der Telekom eine Internetverbindung her, um sich mit den Skylark-Servern verbinden zu können.



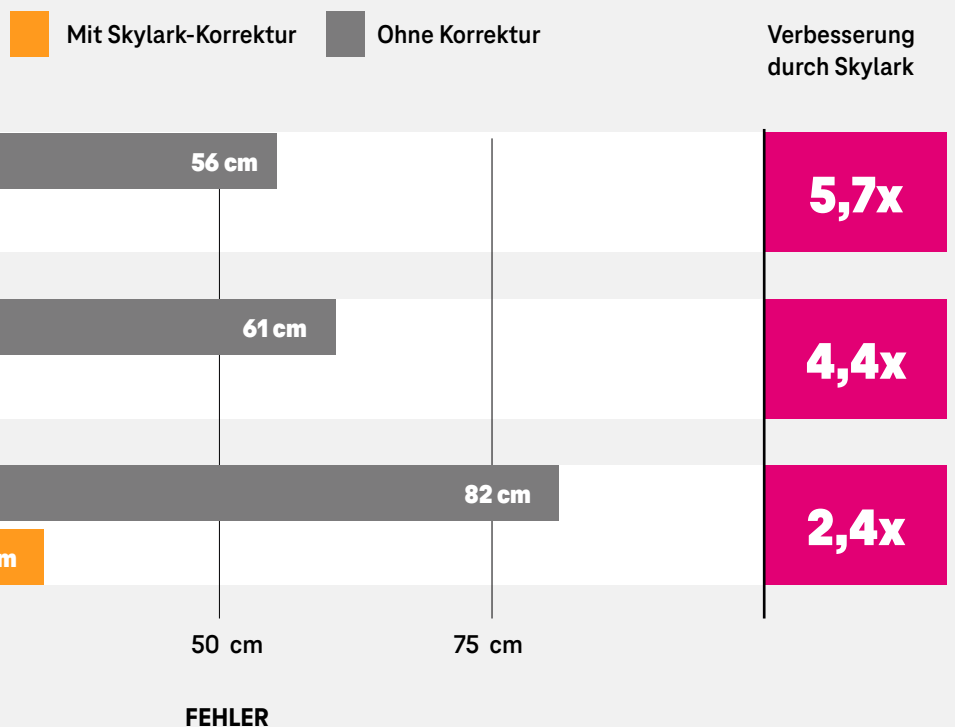
Vereinfachter Versuchsaufbau der Testfahrt



# Ergebnisse der Testfahrt

Die Precise-Positioning-Lösung von Swift und der Telekom erreichte auf mehr als der Hälfte der insgesamt 2.000 km langen Strecke eine Genauigkeit von unter 10 cm. Im Vergleich dazu ergaben die unkorrigierten Daten eine Genauigkeit von 56 cm – durch die Skylark-Korrektur konnte also eine Verbesserung um den Faktor 5,7 erzielt werden. Auf 95 % der Strecke erreichte die Korrektur eine Genauigkeit von 34 cm gegenüber 82 cm ohne Korrektur. Wenn man bedenkt, dass eine typische Autobahnspur 3,5 m und ein typisches Auto 2 m breit ist, ermöglicht diese Genauigkeit einen sicheren autonomen Betrieb.

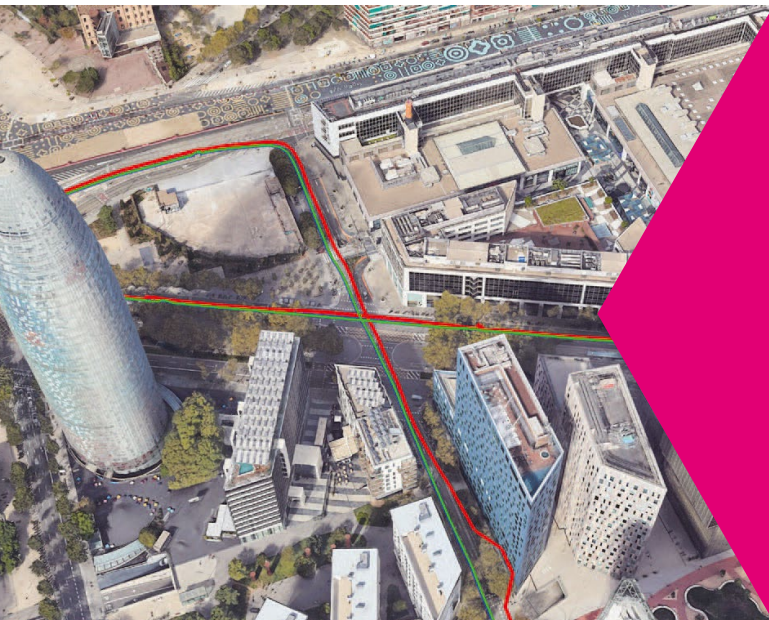
## Genauigkeit während der Testfahrt



Im Folgenden konzentrieren wir uns auf besonders herausfordernde Umgebungen, in denen herkömmliche GNSS-Lösungen in der Regel unzuverlässig werden und an Genauigkeit verlieren.

# Umgebungen

## Häuserschluchten

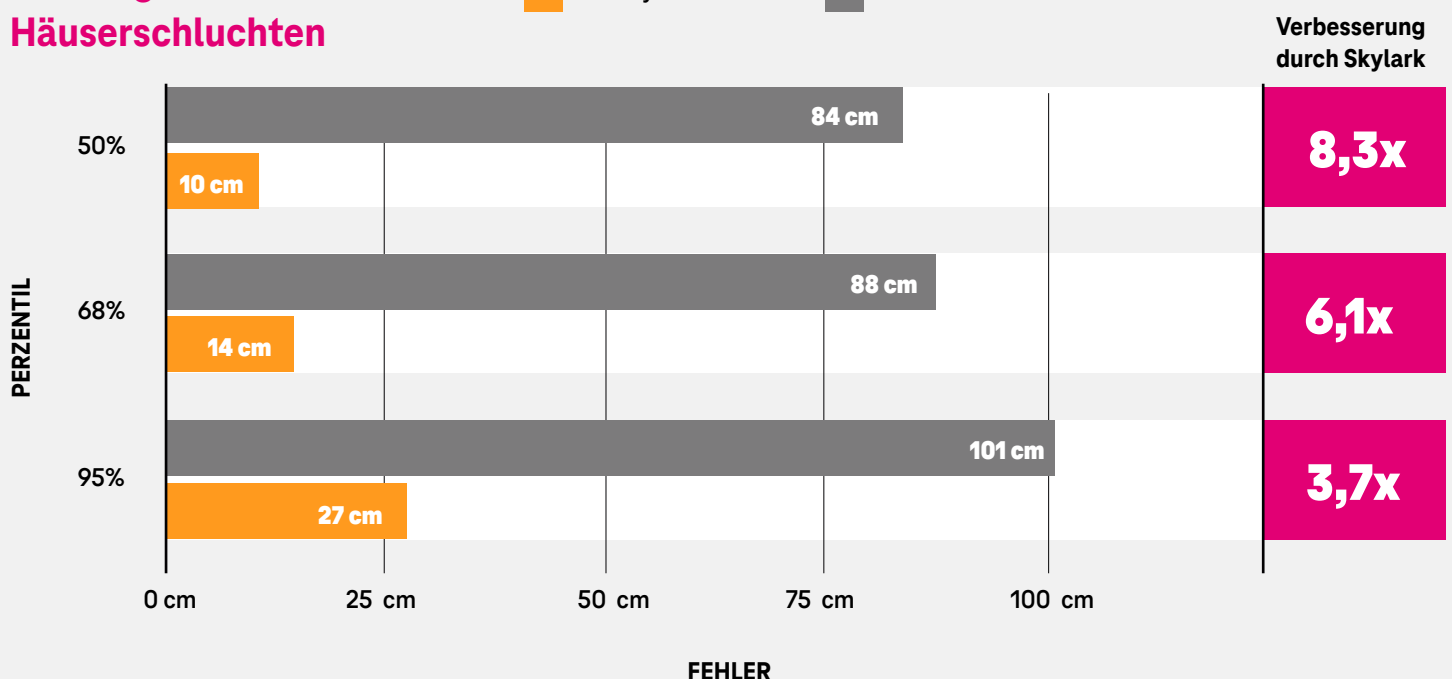


Wenn Straßen beidseitig von hohen Gebäuden flankiert werden, spricht man von Häuserschluchten. Aufgrund von Mehrwegeeffekten, Signalblockaden und Signalreflexionen stellen solche Umgebungen satellitengestützte Ortungssysteme wie das Global Positioning System (GPS) vor große Herausforderungen. Durch die Einbeziehung der Skylark-Korrekturen konnte in solchen Umgebungen im Test eine Verbesserung um nahezu das Vierfache beim 95. Perzentil festgestellt werden. Die Genauigkeit verbesserte sich von einem Meter auf 27 Zentimeter. Und nicht nur das: Mit dem Skylark-Stream gehören auch Probleme wie Positionssprünge der Vergangenheit an. In Verbindung mit der Koppelnavigation sorgt das System dafür, dass die Position jederzeit exakt bestimmt werden kann. Über Fahrerassistenzsysteme hinaus ändert sich damit auch für Endverbraucher einiges. Sie können einfach losfahren, ohne darauf warten zu müssen, dass ihre bevorzugte Kartenanwendung ihnen den richtigen Standort anzeigt. In Häuserschluchten, wo die GPS-Signale oft an Gebäuden abprallen, gibt es dank der Korrekturen keine fehlerhaften Messwerte mehr.

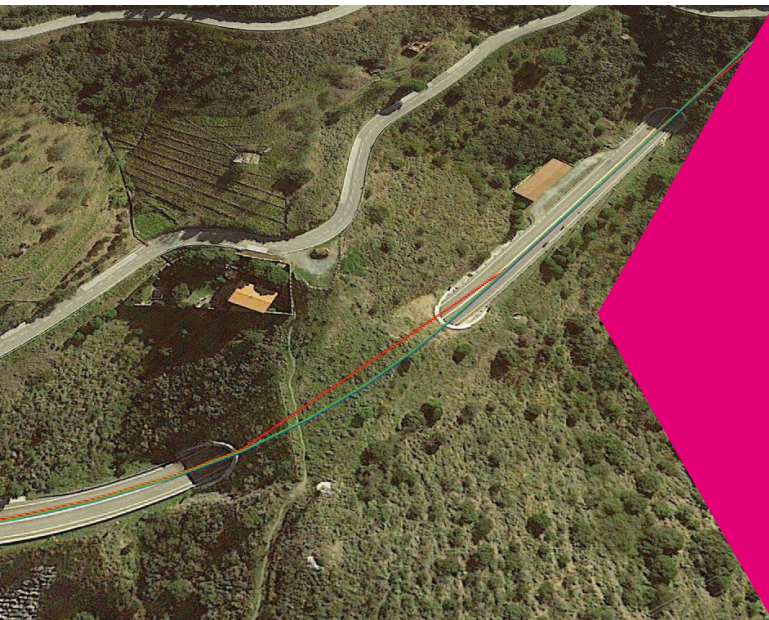
— Ohne Korrektur — Mit Skylark-Korrektur — Referenzposition

## Genauigkeit in Häuserschluchten

■ Mit Skylark-Korrektur ■ Ohne Korrektur



## Tunnel

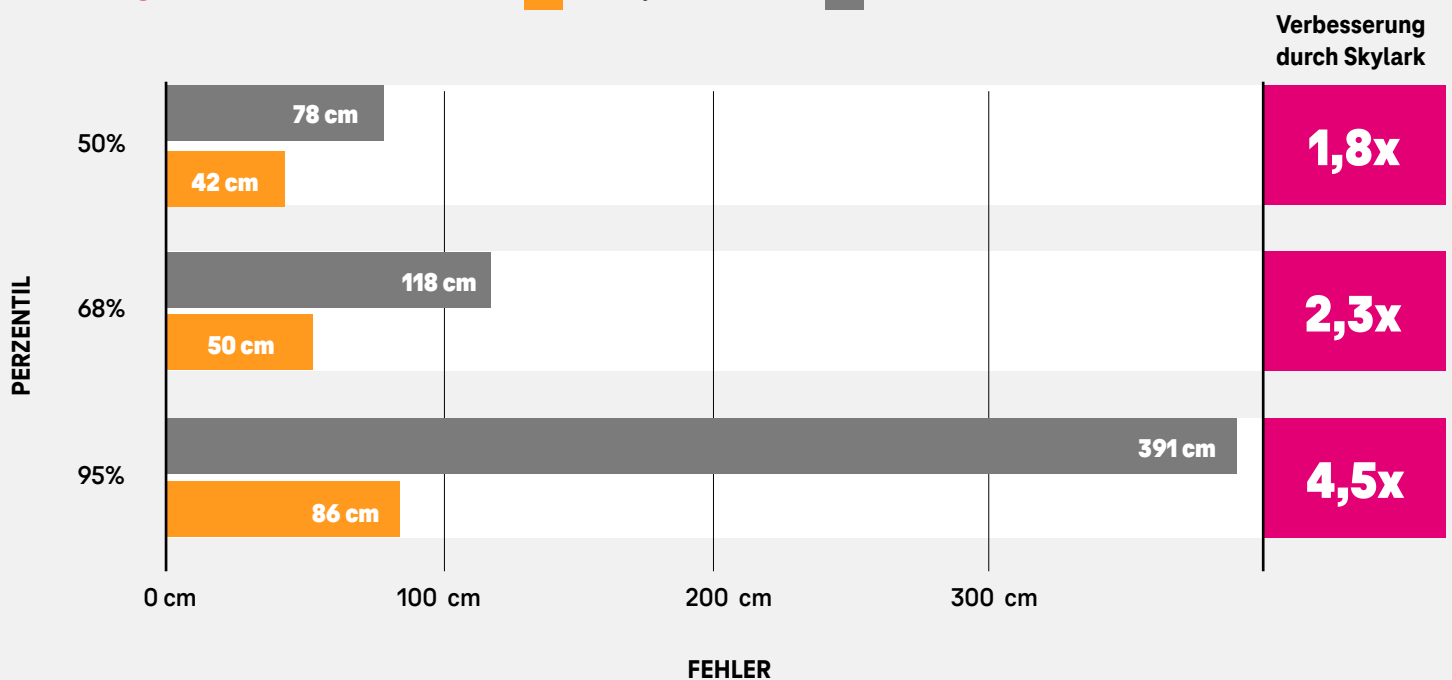


Bei Einfahrt in einen Tunnel verlieren Fahrzeuge (bzw. die Satellitenempfänger in den Fahrzeugen) den Satellitenkontakt und können daher keine aussagekräftige Positionsbestimmung mehr liefern. Aus diesem Grund bleibt auch die Position auf unserem Navigationssystem oder einer Navi-App manchmal unverändert, wenn wir durch einen Tunnel fahren. Anspruchsvollere Systeme nutzen eine Technologie namens Koppelnavigation. Die aktuelle Position des Fahrzeugs wird anhand seiner letzten bekannten Position, der zurückgelegten Strecke und der Kursrichtung geschätzt. Das Problem dabei ist, dass Fehler sich mit zunehmender Distanz in einer GNSS-freien Umgebung wie einem Tunnel akkumulieren. Diese Fehler müssen korrigiert werden, sobald das Fahrzeug den Tunnel verlässt. Skylark ist in der Lage, die GNSS-Position wesentlich schneller neu zu erfassen. Unsere Tests haben gezeigt, dass die schnelle Neukonvergenz mit Skylark die Genauigkeit von fast 4 Metern auf unter 86 cm verbessert.

— Ohne Korrektur — Mit Skylark-Korrektur — Referenzposition

## Genauigkeit in Tunneln

■ Mit Skylark-Korrektur ■ Ohne Korrektur



## Mehrspurige Straßen

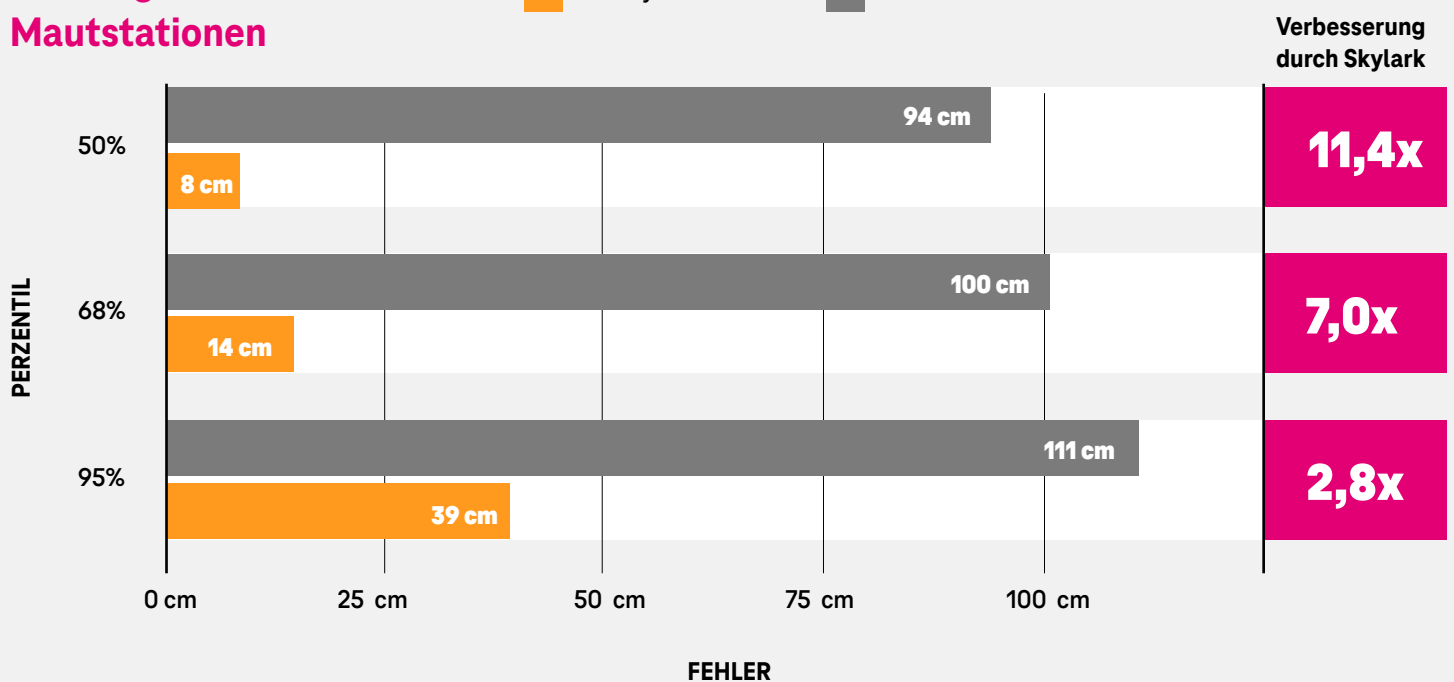


Fahrerassistenzsysteme des L2+-ADAS-Standards erfordern eine hohe Ortungsgenauigkeit für die Navigation in städtischen Umgebungen. Für fortschrittliche Anwendungen wie die Warnung vor einer roten Ampel durch ein Fahrerassistenzsystem muss dieses System beispielsweise sehr genau wissen, auf welcher Fahrspur das Fahrzeug sich befindet. Sonst kann es passieren, dass der Ampelstatus einer falschen Fahrspur berücksichtigt wird. Hier haben die Skylark-Korrekturen die Genauigkeit von 1,1 Meter auf unter 39 Zentimeter verbessert. In der Abbildung ist zu erkennen, dass das Fahrzeug bei der unkorrigierten Ortung fälschlicherweise auf der mit der roten Linie markierten Fahrspur lokalisiert wurde, obwohl es sich tatsächlich auf der benachbarten Spur befand. Die blaue Linie für die Referenzposition und die grüne Linie für die Skylark-korrigierte Lokalisierung hingegen liegen so nah beieinander, dass sie wie eine einzige Linie erscheinen.

— Ohne Korrektur — Mit Skylark-Korrektur — Referenzposition

## Genauigkeit an Mautstationen

■ Mit Skylark-Korrektur ■ Ohne Korrektur





## Gebirge



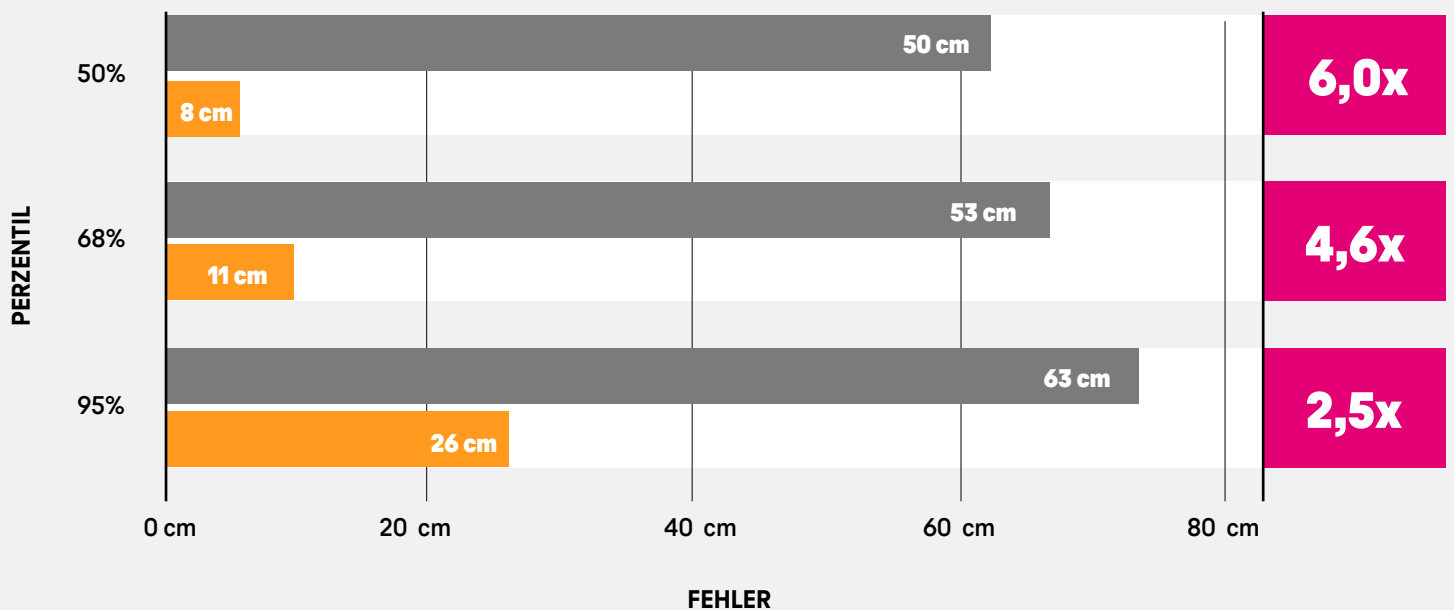
Berge und Täler stellen Satellitennavigationssysteme vor verschiedene Herausforderungen, wie zum Beispiel eingeschränkte Satellitensichtbarkeit, lokale atmosphärische Störungen und Signalblockaden. Auch die Mobilfunkabdeckung ist in diesen Regionen oft eingeschränkt, da Mobilfunksignale mit ähnlichen Problemen zu kämpfen haben. Die IoT-SIM-Karten der Telekom nutzen das flächendeckende Netz der Telekom und mindestens zwei Netze von Roaming-Partnern pro Land, wodurch eine verlässliche Mobilfunkverbindung gewährleistet wird. Sowohl entlang der 355 km langen Strecke durch die Täler und Tunnel der Alpen als auch beim Überqueren von Landesgrenzen konnten die Skylark-Korrekturen so jederzeit empfangen werden. Das System lieferte im Gebirge insgesamt eine Genauigkeit von 26 Zentimetern, was einer Verbesserung um den Faktor 2,5 gegenüber der unkorrigierten Lokalisierung entspricht.

— Ohne Korrektur — Mit Skylark-Korrektur — Referenzposition

## Genauigkeit im Gebirge

■ Mit Skylark-Korrektur ■ Ohne Korrektur

Verbesserung durch Skylark



# Fazit

Die von der Telekom und Swift Navigation gemeinsam durchgeführte Testfahrt über mehr als 2.000 km hat die Leistungsfähigkeit der Precise-Positioning-Lösung in verschiedenen anspruchsvollen Umgebungen in fünf Ländern unter Beweis gestellt. Ob bei der Navigation durch Häuser-schluchten, in Tunneln, auf mehrspurigen Straßen oder im Gebirge – das System übertraf stets die Leistung herkömmlicher GNSS-Lösungen und erreichte eine beeindruckende Genauigkeit. Damit erfüllt Precise Positioning die Anforderungen der sich rasant entwickelnden Automobil-industrie, in der Sicherheit, Zuverlässigkeit und die Einhaltung von Standards von höchster Bedeutung sind.

Wenn Sie mehr über Swifts Precise Positioning wissen möchten, besuchen Sie [www.swiftnav.com](http://www.swiftnav.com).

Hier erfahren sie mehr darüber, wie die Telekom das System zum Leben erweckt: [Hochpräzise Positionierung für autonome Fahrzeuge | IoT Telekom](#)

## KONTAKT

[iot-sales@telekom.de](mailto:iot-sales@telekom.de)

## HERAUSGEBER

Deutsche Telekom IoT GmbH  
Landgrabenweg 151  
53227 Bonn, Germany