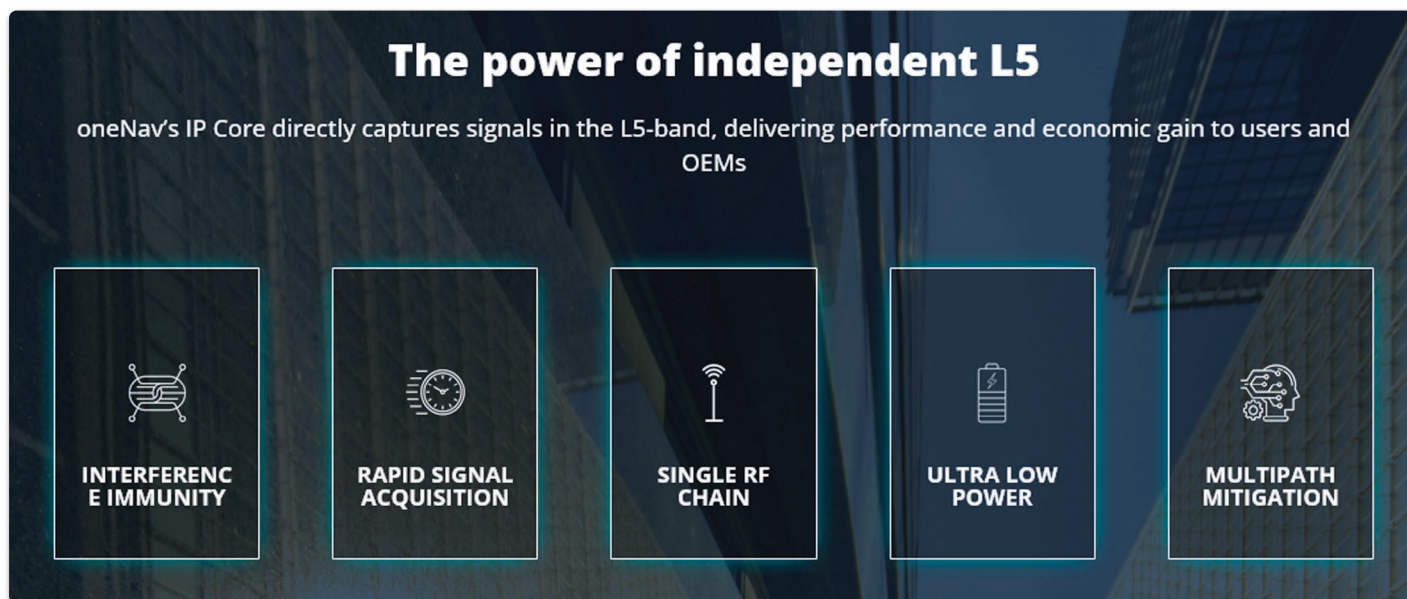


## Die 5. Generation des mobilen GNSS



GNSS-Empfänger gibt es seit etwa 40 Jahren. Die erste Generation wirklich mobiler Empfänger arbeitete nur mit L1-C/A-Code und hatte in der Regel eine sehr geringe Frontend-Bandbreite von 2...5 MHz. Dies war jedoch die Schlüsseltechnologie für E911. Die zweite Generation von mobilen Empfängern nutzte Glonass-Satelliten. Diese Empfänger hatten dazu Bandbreiten von 20...30 MHz haben, um die Glonass-FDMA-Signale auf einer gegenüber GPS L1 leicht versetzten Frequenz zu unterstützen. Allerdings wurden sowohl die GPS- als auch die Glonass-Signale in einer schmalbandigen Signalverarbeitungsmethodik verarbeitet.

Die dritte Generation unterstützte zusätzlich das europäische Galileo-System. Diese Telefone hatten immer noch ein einziges Frontend im L1-Band, verfügten aber über separate digitale Verarbeitungsketten für alle drei Satellitensysteme.

Die Entwicklung zur vierten Generation beanspruchte einige Zeit, da zwei neue Funktionen hinzukamen: 1) die Fähigkeit, Beidou-Signale zu verarbeiten und 2) die Unterstützung eines Einseitenband-L5-Empfängers für Beidou, Galileo und GPS mit ihren modernisierten Signalen. Hier geht es um alle Signale aller Konstellationen (L5, E5 und B2) im 50-MHz-Band bei 1192 MHz, der Einfachheit halber als L5 bezeichnet.

### Probleme mit Empfängern der 4. Generation

Bei oneNav wurden mehrere Probleme mit diesen Empfängern der 4. Generation erkannt:

1. Ein Dual-Frequenz-Frontend war eine große Belastung für viele Handymodelle, insbesondere mit dem Aufkommen von 5G.
2. Das L1-Band hatte immer noch Zuverlässigkeitsprobleme mit Jamming und Interferenzen, wurde aber benötigt, um die Erfassung der L5-Signale zu unterstützen.
3. Die Empfänger unterstützten nur ein einziges Seitenband bei L5 und nutzten nicht die volle Kapazität des L5-Bandes, um die Empfindlichkeit zu verbessern und die Genauigkeit zu verringern.

Daraufhin machte sich oneNav daran, eine fünfte Generation von GNSS-Empfängern für mobile Verbraucherprodukte zu entwickeln, die die folgenden Hauptmerkmale aufweisen:

1. ein Einzelfrequenz-Design, das nur die modernisierten Breitbandsignale auf L5 verwendet
2. ein Erfassungsmodul, das leistungsfähig genug ist, um L5-Signale direkt zu erfassen
3. ein Navigationsmodul, das Techniken der künstlichen Intelligenz und des maschinellen Lernens (AI/ML) einsetzt, um alle Signale im 50-MHz-Breitband auf L5 vollständig auszunutzen, damit die Genauigkeit nicht durch Mehrwegfehler leidet

### Warum L5 für Verbrauchergeräte so wichtig ist

Jeder GNSS-Nutzer in jedem Segment profitiert von der Nutzung der neuen, modernisierten Signale im L5-Band. L5-Signale sind genauer, zuverlässiger und derzeit in ausreichender Zahl verfügbar, um alle Nutzersegmente zu unterstützen. Die konkreten Vorteile von L5 gegenüber L1:

#### 1. höhere Genauigkeit der Signalstruktur (schmale Korrelationspitze)

Das GPS L1 hat eine Chipping-Rate von 1,023 MHz, während die modernisierten Signale im L5-Band eine zehnmal höhere Chipping-Rate von 10,23 MHz aufweisen. Das bedeutet, dass der Korrelati-

*Quelle:*  
„The Next Generation of Mobile GNSS, Introducing the oneNav Pure L5 Mobile GNSS Receiver“

Greg Turetzky, VP Product,  
Dr. Paul McBurney, CTO  
oneNav, Inc.  
<https://onenav.ai/>

übersetzt und stark gekürzt von FS

onspeak von L1 293 m, eine L5-Spitze aber nur 29,3 m abdeckt. Dies führt zu inhärent präziseren Messungen und eliminiert effektiv Mehrwegverzerrungen von jeder Reflexion, die 29 m überschreiten.

## 2. hohe Genauigkeit über eine große Bandbreite (Mehrwegempfang)

Die Fähigkeit, Mehrwegeffekte zu unterdrücken, ist direkt proportional zur Bandbreite. Durch eine größere Bandbreite erhält man zusätzliche Informationen, die zur Bestimmung von Reflexionen im kombinierten Empfangssignal verwendet werden können.

## 3. Pilotcodes (längere kohärente Integration erhöht SNR)

Der ursprüngliche GPS L1 CA Code hat eine einzelne Komponente mit einem Datenbit alle 20 ms, während die modernisierten Signale im L5-Band zwei Quadraturkomponenten haben: einen Datenkanal mit den Datensymbolen und einen Pilotkanal ohne Datensymbole. Galileo und die chinesischen BDS-Versionen haben ein zweites Seitenband mit zwei weiteren Quadraturkomponenten für die einen zweiten Daten- und Pilotkanal. Da Pilotkanäle keine Datenbits enthalten, ermöglichen sie eine längere kohärente Integration, was die Empfindlichkeit des Empfängers erheblich steigert.

## 4. mehrere Konstellationen und Signale mit gemeinsamer Signalstruktur

Die Signale im L1-Band wurden größtenteils in den 70er Jahren entwickelt und jedes System verwendet sein eigenes Modulationsschema. Als die L5-Signale von verschiedenen Ländern auf der ganzen Welt definiert wurden, hat das UN OOSA (Office of Outer Space Affairs) das ICG (International Committee on GNSS) etabliert, das es den Ländern ermöglicht, Entwürfe zu diskutieren, die die Interoperabilität erleichtern sollten.

## 5. robustere Signalübertragung

Die heutigen Satelliten, die L5-Signale übertragen, verfügen über beste Solaranlagen, größere Batterien und sehr effiziente Sender. Das Ergebnis: Jede Komponente des modernisierten Signals kann mindestens 0,5 dB stärker sein als L1 CA, und die Kombination aller vier Komponenten kann 6 dB stärker sein. Dies führt zu kürzeren Erfassungszeiten und einer besseren Abdeckung in dichten städtischen Umgebungen.

## 6. geringere BER und Kreuzkorrelation

Der ursprüngliche L1-C/A-Code verwendete nur ein einfaches Paritätsbitschema

zur Fehlererkennung. Die modernisierten Signale wurden auf viel robustere Faltungscodierung umgestellt für bessere Fehlererkennung und mögliche Fehlerkorrektur. Hinzu kommt ein sekundärer Code, der sicherstellt, dass der richtige Satellit erkannt wird. Dies alles führt zu einer Verringerung der Kreuzkorrelation um mehr als 13 dB.

## 7. saubereres Band mit weniger Interferenzen

Das L5-Band liegt 400 MHz tiefer als L1 im Herzen des ANRS-Bandes (Aeronautical Navigation Radio Services), das weltweit für Navigationszwecke geschützt ist. Das bedeutet: Es sind keine Kommunikationsbänder vorhanden, die Störungen verursachen können, und es können auch keine hinzugefügt werden.

## 8. bessere Verfügbarkeit der Signale

Die GNSS-Systeme im L5-Band sind in den letzten Jahren erheblich ausgebaut worden, sodass es jetzt 66 Satelliten gibt, die im L5-Band funktionsfähige Signale übertragen. Als Faustregel gilt: Volle Betriebsfähigkeit (FOC) bei 24 Satelliten. Sowohl Galileo als auch Beidou sind vollständig, was 48 Signale ausmacht, plus 12 GPS Block IIF, plus 3 GPS Block III und 3 QZSS, um auf die Gesamtzahl von 66 Signalen zu kommen. Es gibt mehr als genug L5-Satelliten, und es werden regelmäßig weitere GPS-III-Satelliten gestartet.

## Warum nicht einfach eine aktuelle L1/L5-Lösung verwenden?

Die Vorteile von L5 liegen auf der Hand. Deshalb findet man heute viele L1/L5-Lösungen in Smartphones. Es scheint eine ganz natürliche Entwicklung zu sein, eine L5-Empfängerkette auf eine bestehende L1-Lösung aufzusetzen. Jedoch gibt es eine Reihe von Gründen, warum das negative Auswirkungen auf die Gesamtlösung haben könnte:

### 1. zusätzliche Empfangskette

Die Verwendung einer Dualbandlösung erfordert eine zweite, separate HF-Empfangskette für jedes Band. Das bedeutet zwei Antennen sowie einen zusätzlichen Satz von Verstärkern und Filtern. Da die L5-Messungen genauer sind, schalten viele Empfänger L1 ab, um im Tracking-Modus Strom zu sparen.

### 2. Interferenzen und Jamming

Im L1-Band gibt es wesentlich mehr Probleme mit Störungen und Jamming als im L5-Band, weil mehrere Mobilfunkbänder fast genau auf  $\frac{1}{2}$  der L1-Frequenz

## Schnellere Positionserfassung mit einer einzigen RF-Kette

Eine Reihe von Ende 2023 durchgeführten Tests hat gezeigt, dass der reine L5-Band-Empfänger von oneNav die Mitbewerber übertrifft, indem er Standortdaten schneller und ausschließlich mit modernen L5-Band-GNSS-Signalen erfasst. In der GNSS-Branche, in der es keine allgemeinen Teststandards gibt, ist die Zeit, die benötigt wird, um den Standort eines Satelliten zu bestimmen, ohne dass der Empfänger vorher Daten gespeichert hat, ein verlässlicher Punkt für den Leistungsvergleich zwischen konkurrierenden Empfängern. Die Verlässlichkeit dieses Vergleichspunkts ist besonders wichtig, wenn bahnbrechende neue Technologien mit etablierten, aber veralteten Lösungen verglichen werden, die auf einem Zwei-Antennen-Zwei-Signal-System basieren.

liegen. Außerdem gibt es mehr 2.- und 3.-Oberschwingungskombinationen, die den L1-Empfang ebenfalls beeinträchtigen können. Wenn aber das L1-Signal nicht erfasst werden kann, kann der Empfänger diese Informationen nicht nutzen, um die L5-Signale zu empfangen. Dies ist ein großes Zuverlässigkeitsproblem.

### 3. kein Vorteil für die Navigationsgenauigkeit

Da die L5-Signale stärker und genauer sind, besteht nach ihrer Erfassung keine Notwendigkeit mehr, die L1-Signale in der Navigationslösung zu verwenden. Sie haben mehr Rauschen und mehr Mehrwegeffekte und verschlechtern daher die Lösung, weshalb die meisten Anbieter L1-Messungen ignorieren, sobald L5 erfasst wurde. ◀