

# Das *Galileo* Satellitennavigationssystem

Assignment zum Modul:  
Mobile Computing (EBS42)

17.06.2021

Vladimir Zhelezarov

.....

.....

*Studiengang:* Digital Engineering und angewandte Informatik - Bachelor of Engineering

AKAD University

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>i</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Grundlagen</b>	<b>2</b>
2.1 Ortung im Raum mittels Referenzpunkte . . . . .	2
2.2 Annäherungen der Erde in der Satellitennavigation . . . . .	3
2.3 Herausforderungen bei der Satellitennavigation . . . . .	4
2.4 Anwendungen und Anforderungen . . . . .	5
<b>3 Das Satellitennavigationssystem <i>Galileo</i></b>	<b>6</b>
3.1 Das Raumsegment . . . . .	6
3.2 Das Bodensegment . . . . .	7
3.3 Das Nutzersegment . . . . .	8
3.4 Angebotene Dienste . . . . .	9
3.5 Geschichte und aktueller Status . . . . .	10
<b>4 Vergleich mit GPS</b>	<b>10</b>
4.1 Unterschiede im Raumsegment . . . . .	11
4.2 Unterschiede im Bodensegment . . . . .	11
4.3 Unterschiede im Nutzersegment . . . . .	12
<b>5 Verfügbarkeit von <i>Galileo</i></b>	<b>12</b>
<b>6 Zusammenfassung</b>	<b>14</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>ii</b>

# 1 Einleitung

Satellitenavigation nimmt in der modernen Zeit immer an Bedeutung zu. Darunter versteht sich nicht nur die oftmals bekannte Anwendung als Ortung und Navigation, sondern auch Timing-Dienste, Überwachung und vieles mehr. Die Bedeutung solcher Dienste ist schon derart hoch, dass geschätzte 11% vom Europas Bruttoinlandsprodukt von deren Verfügbarkeit abhängig sind<sup>1</sup>. Das und der Bedarf nach immer präzisere Dienste waren unter den Gründe, warum in Europa entschieden wurde, ein eigenes Satellitenavigationssystem zu entwickeln, unter den Namen „*Galileo*“. Die allgemeine Vorstellung dieses Systems ist das Ziel dieser Arbeit.

Das *Galileo*-System ist keine grundsätzlich neue Entwicklung, sondern basiert auf schon bekannte Technologien. Diese werden zuerst in dieser Arbeit geklärt. Nach der Vorstellung der allgemeinen Grundprinzipien der Satellitenavigation werden wir sehen, wie das alles bei *Galileo* umgesetzt ist, und inwieweit die moderne Ausführung die Qualität der angebotenen Dienste verbessert hat.

Weil die Ziele, die sich *Galileo* setzt, auch ähnlich zu den Ziele anderer Systeme sind, würde sich ein Bezug darauf lohnen. Dazu werden wir den ältesten Vertreter der Satellitenavigationssysteme, der noch in Benutzung ist - das US-Amerikanische System GPS - im Vergleich zu *Galileo* stellen.

Damit die Benutzer von den neuen Technologien auch profitieren können, müssen deren Geräte mit diesen Technologien kompatibel sein und damit arbeiten können. Ob das der Fall bei dem europäischen System ist, zeigt der letzte Kapitel, der an der Verfügbarkeit von *Galileo* gewidmet ist.

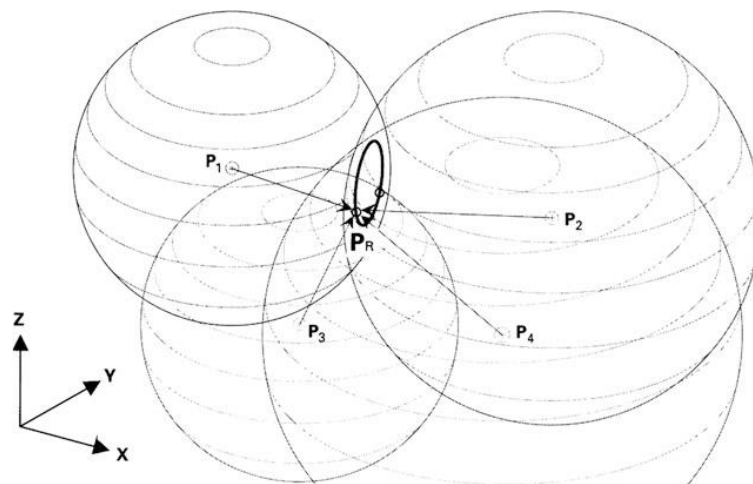
---

<sup>1</sup>European Commission (2017), S.13

## 2 Grundlagen

### 2.1 Ortung im Raum mittels Referenzpunkte

Eine der Möglichkeiten, die Position eines Objektes im Raum zu bestimmen, ist bestimmte Berechnungen durchzuführen, die auf die Entfernungen zu vier anderen bekannte Objekte im Raum basieren<sup>1</sup>. Die Information über einem solchen Referenzobjekt, zusammen mit der Entfernung zum gesuchten Objekt, erlaubt eine Kugel zu definieren, wo sich der gesuchte Objekt befinden kann. Die gemessene Entfernung ist der Radius dieser Kugel. Das Zufügen von weiteren solchen Kugel, die aus einem Referenzobjekt und die Entfernung zu ihm definiert werden, führt zu einem Überschneiden dieser Kugel. Weil beide Entfernungen stimmen müssen, ist der Bereich des gesuchten Objekts auf der Schnittfläche der Kugel eingegrenzt. Es lässt sich mathematisch beweisen, dass für eine mehr oder weniger punktförmige Bestimmung der Position im dem dreidimensionalen Raum, vier solche Kugel vorhanden sein müssen, oder mit anderen Wörter vier bekannte Referenzpunkte und die Entfernung zu diesen bekannt sein muss. Eine grafische Darstellung ist auf Abbildung 1 zu sehen<sup>2</sup>.



**Abbildung 1:** Ortung im dreidimensionalen Raum

Bei der Satellitennavigation werden Satelliten als solche Referenzpunkte benutzt. Streng gesehen dürfen nur drei Satelliten ausreichen, um die Position eines Objektes auf der Erde zu ermitteln, weil die zweite Lösung der Berechnungen im Weltraum liegt. Jedoch unterliegen die Positionsrechnungen Fehler aufgrund Ungenauigkeiten, wie weiter unten diskutiert wird. Aus diesem Grund wird angenommen, dass die Präzision der Ergebnisse direkt von der Anzahl der sichtbaren Satelliten abhängig ist<sup>3</sup>. Zusätzlich spielt die Konstellation der

---

<sup>1</sup>Vgl. Schüttler (2014), S.53

<sup>2</sup>Schüttler (2018), S.4

<sup>3</sup>Vgl. Hecker et al. (2018), S.14

zurzeit sichtbaren Satelliten auch eine Rolle, wobei je weiter auseinander diese sind, desto besser die Genauigkeit der Positionsbestimmung<sup>1</sup>.

Bei dem beschriebenen Verfahren ist es praktisch schwierig bis unmöglich direkt die Entfernung zu den Satelliten zu messen und dafür wird diese aus der Zeit berechnet, die das Signal gebraucht hat, um den Empfänger zu erreichen<sup>2</sup>. Dafür trägt das Signal unter anderem auch die genaue Zeit, in der es aus dem Satellit abgesendet wurde. Probleme dabei sind die große Geschwindigkeit der Satelliten auf den Laufbahnen und natürlich die enorme Geschwindigkeit des Signals, das sich mit der maximalen physikalischen (Licht-)Geschwindigkeit ausbreitet. Zusammengesetzt führt das dazu, dass ein Genauigkeitsfehler von nur einer Millionstel Sekunde bei der Zeitmessung zu einem Fehler von 300 Meter bei der Bestimmung der Position führt<sup>3</sup>. Um die groß-möglichste Präzision zu erreichen, haben alle Satelliten Atomuhren, wessen Takt aus physikalischen Prozesse auf Atomniveau sehr genau erzogen wird<sup>4</sup>.

Neben der Information für die Bestimmung der Laufzeit, beinhaltet das von den Satelliten gesendete Signal auch Daten über die Laufbahn des Satelliten, Informationen zum Systemstatus zur Kontrolle und Bewertung der Messung und verschiedene Korrekturparameter, die einer Verbesserung der Genauigkeit beim Empfänger dienen<sup>5</sup>.

## 2.2 Annäherungen der Erde in der Satellitennavigation

Auch wenn die Form der Erde eine Kugel ähnelt, ist sie aufgrund der Wirkung der Rotationskräfte besser durch einen Ellipsoid dargestellt<sup>6</sup>, wobei eine Abflachung der Polen feststellbar ist. Die Oberfläche dieses Ellipsoides entspricht der Meereshöhe. Aufgrund der s.g. Gravitationsanomalien - Unregelmäßigkeiten bei der Verteilung und Konzentration von Masse und dadurch die Schwerkraft - würde aber die Meereshöhe gar nicht so glatt sein, wie es vom Ellipsoiden anzunehmen ist, sondern variiert abhängig von diesen Anomalien. Die Meereshöhe, die dank dieser Wirkungen auf der Erde zu beobachten wäre, ausgenommen Wind und lokale Einflüsse, ist der sogenannte Geoid, wie auf Abbildung 2 dargestellt<sup>7</sup>. Allerdings sind die Berechnungen mit dieser hoch-genauen Form viel zu kompliziert und aus diesem Grund wird weiter der Ellipsoid als eine Annäherung benutzt<sup>8</sup>.

---

<sup>1</sup>Vgl. Schüttler (2014), S.85

<sup>2</sup>Vgl. Subirana et al. (2013), S.65

<sup>3</sup>Schüttler (2014), S.57

<sup>4</sup>Schüttler (2014), S.59

<sup>5</sup>Schüttler (2014), S.69

<sup>6</sup>Schüttler (2014), S.19-20

<sup>7</sup>Gravity Recovery and Climate Experiment - GRACE (2004), Internetquelle

<sup>8</sup>Schüttler (2014), S.27

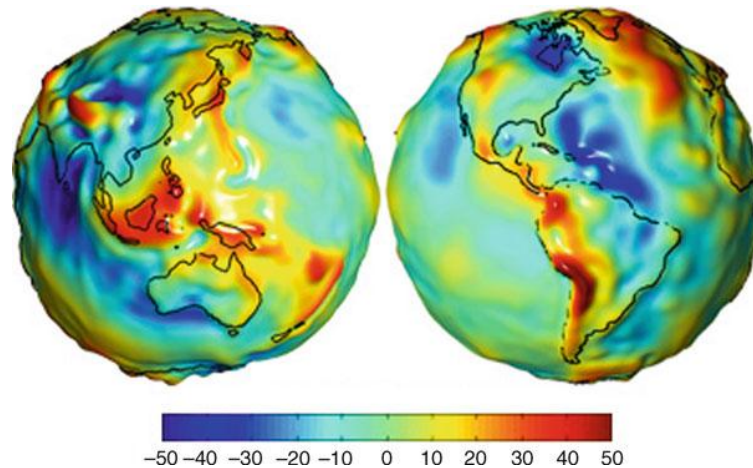


Abbildung 2: Der Geoid

Die ermittelte Koordinaten bei der Satellitennavigation müssen sich zu einem Referenz- oder Koordinatensystem beziehen. Die Satellitensysteme, die weltweit arbeiten, benutzen Koordinatensysteme, die als Center den Schwerpunkt der Erde haben und sich zusammen mit der Erde drehen. Die Z-Achse entspricht die Richtung der Rotation der Erde, die X-Achse ist definiert als der Schnittpunkt der orthogonalen Ebene zur Z-Achse und dem Greenwich-Meridian und die Z-Achse ist orthogonal zu den X und Y Achsen<sup>1</sup>. So ein System ist das „*International Terrestrial Reference System*“, was die Grundlage für die „*Galileo Terrestrial Reference Frame*“ bildet<sup>2</sup>.

Ähnlich zu dem Koordinaten-Referenzsystem, beziehen sich auch die gemessene Zeiten zu einer Satelliten-Systemzeit, was hier nicht weiter betrachtet wird.

## 2.3 Herausforderungen bei der Satellitennavigation

Zum Anfang hat es bei dem US-Amerikanischen System GPS eine künstliche Verschlechterung der Präzision gegeben, die dazu dienen sollte, die Höchstpräzision nur für militärische Zwecke zur Verfügung zu haben - die s.g. „*Selective Availability*“<sup>3</sup>. Diese Verschlechterung wurde im Jahr 2000 abgeschafft. Bei den anderen Systemen, wie das russische GLONASS oder das in dieser Arbeit betrachtete *Galileo* waren nie solche Maßnahmen im Gang<sup>4</sup>.

Abgesehen von solcher künstlichen Verschlechterung stellen eine Reihe von Naturphänomene oder Gegebenheiten der Umgebung Fehlerquellen dar.

Als Ionosphäre wird die Region der Atmosphäre bezeichnet, was aus leicht ionisiertem Gas besteht, und sich zwischen fünfzig bis ein Paar tausend Kilometer über der Erdober-

<sup>1</sup>Subirana et al. (2011), Internetquelle

<sup>2</sup>European GNSS Agency (2019), S.8

<sup>3</sup>Vgl. Schüttler (2014), S.47

<sup>4</sup>Vgl. Hofmann-Wellenhof et al. (2008), S. 456-457

fläche befindet<sup>1</sup>. Der Grund für die Entstehung dieser Region ist die Sonnenradiation. Die Ionosphäre beeinflusst die Ausbreitung von Radiowellen auf verschiedene Weisen, und ist nach der Abschaffung der künstlichen Verschlechterung die größte Fehlerquelle bei der Satellitennavigation<sup>2</sup>.

Danach, nach Grad des Einflusses folgen die Ungenauigkeiten bei der Satellitenuhr, die Ungenauigkeiten bei den Ephemeridendaten, Probleme aufgrund Reflexionen beim Signal, der Einfluss der Troposphäre und zuletzt auch die Ungenauigkeiten im Empfänger<sup>3</sup>.

Eine massive Fehlerquelle stellt die Empfänger-Uhr dar. Auch wenn die Satelliten über hoch genauen Atomuhren verfügen, kann das nicht vom Empfänger erwartet werden. Aus diesem Grund nimmt die Ungenauigkeit seiner Uhr als eine Unbekannte in mehrere Gleichungen teil, wodurch sie ausgerechnet werden kann<sup>4</sup>.

Diese Vielfalt an Fehlerquellen hat ergeben, dass alleine das Signal von den Satelliten nicht ausreichend ist, und eine genügende Präzision im Empfänger zu erreichen. Als Hilfe dabei werden Bodenstationen benutzt, die Informationen über den Satelliten, deren Orbit, über der Ionosphäre und über andere Fehlerquellen sammeln und berechnen. Diese Informationen werden an den Satelliten gesendet und von diesen weiter zu den Empfänger geleitet. Als eine Alternative können die Geräte die Information auch über dem Internet bekommen<sup>5</sup>. Zusätzliche Satelliten werden auch benutzt, um extra Informationen den Empfänger anbieten zu können, womit sie ihre Berechnungen präziser ausführen können. So ein Zweck erfüllt das europäische System *EGNOS*<sup>6</sup>.

## 2.4 Anwendungen und Anforderungen

Ohne die militärische Anwendungen in Betracht zu nehmen, findet die Satellitennavigation Benutzung in viele Bereiche des privaten und geschäftlichen Lebens. Darunter zählen:

- Ortsbezogene Services (Location Based Services): diese bestehen aus einer Reihe von Dienste, darunter Navigation, Angebote der sozialen Netzwerke, Sport- und Spieldienste sowie andere freie oder kommerzielle Dienste<sup>7</sup>;
- Navigation auf der Straße: diese betrifft nicht nur die klassische Hilfe, die dem Fahrer angeboten wird, sondern auch Anwendungen bei den modernen selbstfahrenden Fahrzeuge<sup>8</sup>;

---

<sup>1</sup>Vgl. European Commission (2016), S.1

<sup>2</sup>Vgl. Schüttler (2014), S.94

<sup>3</sup>Hofmann-Wellenhof et al. (2008), S.111

<sup>4</sup>Vgl. Schüttler (2018), S.29-30

<sup>5</sup>Vgl. Schüttler (2014), S.89

<sup>6</sup>Vgl. European GNSS Agency (2017b), S.12

<sup>7</sup>Vgl. Hecker et al. (2018), S.24

<sup>8</sup>Vgl. Hecker et al. (2018), S.32

- Auch wenn die oberen zwei Anwendungen den Großteil der Marktanteile von der Satellitennavigation bilden, findet sie auch Gebrauch in weitere Bereiche, wie in der Landwirtschaft, bei der Luft- und Seefahrt, bei der Bahn, in der Kartographie, bei der Überwachung und nicht zuletzt als wichtige Referenz für Timing und Synchronisation<sup>1</sup>.

Als Anforderungen an der Satellitennavigation sind nicht nur der Bedarf an Präzision bei der Navigation zu nennen, wie die korrekte Berechnungen von Position und aktuelle Zeit, sondern auch Anforderungen an der Verfügbarkeit und an der Zuverlässigkeit des Systems<sup>2</sup>. In der Stadt zum Beispiel stellt die Reflexion der Wellen an den Gebäuden ein Problem dar, das die Ergebnisse schlecht beeinflussen kann. Zusätzlich sind viele der benutzen Navigationsgeräte mobil, was mit sich die Herausforderung an einem reduzierten Energieverbrauch bringt. Um die Benutzerfreundlichkeit zu erhöhen wird auch vom System erwartet, dass die benötigte Informationen schnell gesammelt werden und die korrekte Berechnungen zeitnah vorliegen. Und weil es bei den mobile Geräte wie die Smartphones auch andere Sensoren vorhanden sind, ist ein gutes Zusammenspiel mit diesen erwünscht, um noch bessere Ergebnisse für den Nutzer anzubieten.

### 3 Das Satellitennavigationssystem *Galileo*

Das *Galileo*-System besteht aus einer Kerninfrastruktur und zusätzliche Serviceeinrichtungen, die Dienste für die Benutzer des Systems anbieten<sup>3</sup>. Die Kerninfrastruktur an sich besteht aus einem Raumsegment und einem Bodensegment. Zusammen mit dem Nutzersegment, das die Gesamtheit an Nutzer bezeichnet, bilden diese die Grundkomponenten der *Galileo*-Systemarchitektur.

Betrachten wir die drei Segmente im Einzelnen.

#### 3.1 Das Raumsegment

Das Raumsegment besteht aus den Satelliten, die um die Erde fliegen. Deren Hauptfunktion ist Signale zu generieren und auszusenden, sowie auch die vom Bodensegment gesendete Signale zu empfangen und weiterzuleiten. Die Orbit und die Konstellation werden so gewählt, dass idealerweise aus jedem Punkt auf der Erde zu jeder Zeit Radioempfang von mindestens vier Satelliten zu haben<sup>4</sup>.

---

<sup>1</sup>Vgl. Hecker et al. (2018), S.22

<sup>2</sup>Vgl. European GNSS Agency (2017a), S.7

<sup>3</sup>European GNSS Agency (2019), S.3

<sup>4</sup>Subirana et al. (2013), S.7



*Galileo* benutzt die so genannte *Walker*-Konstellation: 24 Hauptsatelliten auf mittlerer Erdumlaufbahn sind in drei unterschiedlichen um 120 Grad gegeneinander verschobenen Bahnebenen verteilt, mit einer Neigung zur Äquatorebene von 56 Grad. Jede Bahnebene enthält acht gleichmäßig verteilte Satelliten. Die Winkelverschiebung zwischen Satelliten in zwei benachbarten Ebenen ist 15 Grad. Die Konstellation ist durch zusätzliche Reserve-Satelliten unterstützt, die bei Bedarf als Ersatz für ausgefallene Hauptsatelliten benutzt werden können<sup>1</sup>.

Zum Zeitpunkt dieser Arbeit hat die Konstellation von *Galileo* insgesamt 26 Satelliten, davon sind 22 als „*USABLE*“, einer als „*NOT AVAILABLE*“ und drei als „*NOT USABLE*“ bezeichnet<sup>2</sup>. Das Endziel des Programms ist insgesamt 30 Satelliten als Raumsegment zu haben, davon sechs als Reserve<sup>3</sup>.

Die Satelliten haben insgesamt vier Atomuhren am Bord, darunter zwei passive Wasserstoff-Maser-Atomuhren und zwei Rubidium-Atomuhren. Sie werden paarweise mit Soyuz ST-B Raketen, oder auch zu viert mit Ariane-5 Raketen ins All geschossen. Das Gewicht eines Satelliten ist 732,8 Kg für die Satelliten 5 bis 26 und 700 Kg für alle andere. Das geschätzte Lebensdauer beträgt 12 Jahren<sup>4</sup>.

Das System moduliert die Signale auf fest-definierte Frequenzen auf. Diese sind für *Galileo* die Frequenzen<sup>5</sup>:

- E1 mit 1575,42 MHz;
- E5a und E5b, entsprechend auf 1176,45 und 1207,14 MHz, die zusammen über einem Multiplexing-Verfahren auf die E5 Trägerfrequenz mit 1191,795 MHz übertragen werden, und
- E6 mit 1278,75 MHz.

Wenn der Empfänger fähig ist, mit zwei Satellitenfrequenzen gleichzeitig zu arbeiten, erzielt das System eine gute Behebung des von der Ionosphäre verursachten Fehlers bei der Positionsbestimmung. Wenn diese Fähigkeit nicht vorhanden ist, werden geeignete Berechnungsalgorithmen eingesetzt um den Ionosphäreneinfluss möglichst zu eliminieren<sup>6</sup>.

## 3.2 Das Bodensegment

Das Bodensegment ist zuständig für die korrekte Funktion des Navigationssystems. Seine Hauptfunktionen sind die Überwachung und Kontrolle der Satelliten, sowie die Generierung

---

<sup>1</sup>European GNSS Agency (2019), S.4

<sup>2</sup><https://www.gsc-europa.eu/system-service-status/constellation-information>, Zugriff am 17.06.2021

<sup>3</sup>European Commission (2017), S.7

<sup>4</sup>[http://www.esa.int/Applications/Navigation/Galileo/Facts\\_and\\_figures](http://www.esa.int/Applications/Navigation/Galileo/Facts_and_figures), Zugriff am 17.06.2021

<sup>5</sup>European GNSS Agency (2019), S.11

<sup>6</sup>Vgl. European Commission (2016), S.3

von Daten für die Endbenutzer<sup>1</sup>.

Das *Galileo*-Bodensegment besteht aus zwei *Galileo*-Kontrollzentren in Oberpfaffenhofen (Deutschland) und Fucino (Italien). Jedes Zentrum führt Kontroll- und Missionsfunktionen durch und ist weiter auf Bodenkontrollsegment und Bodenmissionssegment unterteilt, die sich entsprechend für die Kontroll- und Missionsfunktionen kümmern<sup>2</sup>.

Das Bodenkontrollsegment kontrolliert ein Netzwerk von fünf weltweit verteilte Kontrollstationen, wodurch die Satelliten und die Konstellation überwacht und gesteuert werden.

Das Bodenmissionssegment berechnet die Navigations- und Zeitdaten - die so genannten Ephemeridendaten, die neben Bahndaten auch Korrekturparameter und Geschwindigkeitsangaben beinhalten<sup>3</sup>. Diese Daten werden an den Satelliten über fünf dedizierte Uplink-Stationen gesendet und dann von den Satelliten an den Nutzer weitergeleitet.

Diese Kerninfrastruktur wird durch zusätzliche Serviceeinrichtungen unterstützt, die die Bereitstellung der *Galileo*-Dienste dienen. Diese stellen Schnittstellen zwischen den Dienste und für die Nutzer bereit, koordinieren die Referenzsysteme für Koordinaten und Zeit, beobachten die korrekte Funktion und die Sicherheit des Systems und koordinieren den Austausch mit globale Dienste, wie *Search And Rescue*<sup>4</sup>.

### 3.3 Das Nutzersegment

Das Nutzersegment besteht aus den Navigationsgeräte der Empfänger. Ihre Aufgaben sind die Satellitensignale zu empfangen, die Pseudoentfernungen zu berechnen und die Navigationsgleichungen zu lösen<sup>5</sup>. Die Berechnung der Pseudoentfernungen ist der erste Schritt und dient als eine erste Annäherung, die durch den weiteren Berechnungen verbessert wird<sup>6</sup>. Das Endziel der Kalkulation ist die korrekte Position und die präzise Zeit aus den Satellitensignale abzuleiten.

Der Empfänger bekommt alle benötigte Daten, um diese Berechnungen durchzuführen. Darunter zählen<sup>7</sup>:

- Ephemeridendaten, um die Position des Satelliten relativ zum Empfänger zu berechnen;
- Zeit und Zeitkorrekturparameter, um die Pseudoentfernungen zu finden;

---

<sup>1</sup>European Commission (2017), S.7

<sup>2</sup><https://www.gsc-europa.eu/galileo/system>, Zugriff am 17.06.2021

<sup>3</sup>Schüttler (2014), S.71

<sup>4</sup><https://www.gsc-europa.eu/galileo/system>, Zugriff am 17.06.2021

<sup>5</sup>Vgl. Subirana et al. (2013), S. 18

<sup>6</sup>Vgl. Schüttler (2014), S.79

<sup>7</sup>Vgl. European GNSS Agency (2021), S.43

- Serviceparameter, die Informationen über die Daten, Satelliten und die Qualität des Signals geben und
- Almanach, der unpräzise Information über der Position alle anderen Satelliten in der Konstellation beinhaltet.

### 3.4 Angebotene Dienste

Die Gesamtheit an Dienste, die das *Galileo*-Satellitennavigationssystem schon anbietet oder in der nahen Zukunft anbieten wird, sind wie folgt<sup>1</sup>:

- Offener Dienst (Open Service, OS): Frei zugänglicher Dienst für Navigations- und Timingszwecke. Geplant in der Zukunft ist auch die Möglichkeit, die Nachrichten von *Galileo* digital zu unterzeichnen, was für die Benutzer erlauben wird, Berechnungen nur mit authentifizierten Daten durchzuführen;
- Öffentlich regulierter Dienst (Public Regulated Service, PRS): Ein Dienst mit eingeschränktem Zugang für staatliche und amtliche Benutzer, gedacht für Anwendungen mit höheren Anforderungen;
- Hochgenauigkeit Dienst (High Accuracy Service, HAS): frei zugänglicher Dienst, der den offenen Dienst ergänzen soll, um eine Navigation mit Hochpräzision zu erreichen. Dieser Dienst ist mit zwei Stufen geplant. Die erste Stufe - Service Level 1 wird eine weltweite Abdeckung haben und wird Korrekturparameter für den OS-Dienst anbieten, indem eine horizontale Genauigkeit von unter 20 Zentimeter erreicht wird. Service Level 2 wird nur in Europa verfügbar und wird den Level 1 um weitere Korrekturen, die den Ionosphäreneinfluss minimieren, ergänzen<sup>2</sup>
- Kommerzieller Dienst (Commercial Authentication Service, CAS): Dienst für kommerzielle Benutzer mit eingeschränktem Zugang, der den offenen Dienst ergänzt und erweiterte Funktionen anbietet. Dieser Dienst wurde teilweise umstrukturiert und wird kostenlos im Rahmen vom Hochgenauigkeit-Dienst angeboten<sup>3</sup>;
- Such- und Rettungsdienst (Search and Rescue Service, SAR): Dieser Dienst soll der Europas Beitrag zu COSPAS-SARSAT sein - das internationale, satellitengestützte Such- und Rettungssystem zur Erfassung und Lokalisierung von Notfunkbaken<sup>4</sup>.

---

<sup>1</sup><https://www.gsc-europa.eu/galileo/services>, Zugriff am 17.06.2021

<sup>2</sup>European GNSS Agency (2020a), S.4

<sup>3</sup>Vgl. Hecker et al. (2018), S.16-17

<sup>4</sup>Vgl. European GNSS Agency (2020b), S.1

### 3.5 Geschichte und aktueller Status

Die Ausführung des *Galileo* Projektes ist geplant mit drei Phasen<sup>1</sup>:

- In-Orbit Validation: diese Phase beinhaltet Tests und Verbesserungen durch den Betrieb von zwei Test-Satelliten. Diese wurden im 2005 und 2008 ins All geschossen. Zum Februar 2014 haben sich die Beteiligten entschieden, dass das System gut funktioniert und somit ist das Projekt in die nächste Phase gelangen;
- Initial Operational Capability: bei dieser Phase wurden schon teilweise Teile der Bodeninfrastruktur aufgebaut und in Betrieb genommen. Zugleich wurden auch die erste Dienste im Jahr 2016 angeboten - der Offener Dienst (OS), der Öffentlich Regulierter Dienst (PRS) und der Such- und Rettungsdienst (SAR)<sup>2</sup>;
- Die letzte Phase ist die Phase der vollen Funktion - Full Operational Capability. Dabei müssen schon die volle Zahl von 30 Satelliten im Betrieb sein, die Kontrollzentren, die Sensor- und die Uplinkstationen müssen aufgebaut und funktionsfähig sein. Der Anfang dieser Phase war für das Jahr 2020 geplant und mit der Inbetriebnahme der letzten Satelliten ist die geplante Konstellation schon erreicht.

Der Hochgenauigkeit Dienst befindet sich zur Zeit am Ende der Test- und Dokumentationsphase. Die erste Phase der Verfügbarkeit ist für das Jahr 2022 geplant und die volle Funktion soll ab dem Jahr 2024 erreicht werden<sup>3</sup>.

## 4 Vergleich mit GPS

Ein grundsätzlicher Unterschied zwischen *Galileo* und die drei andere Navigationssysteme mit weltweite Abdeckung - das US-Amerikanische *GPS*, das russische *GLONASS* und das chinesische *BeiDou* - ist die Tatsache, dass alleine *Galileo* unter zivile Kontrolle ist und dadurch nicht durch kriegerische Auseinandersetzungen gestört werden kann<sup>4</sup>.

Abgesehen von diesem ersten Hauptunterschied bei den Betreiber der Systeme sind auch einige technische Unterschiede vorhanden. Weil das *GPS*-Navigationssystem die weltweit dominierende Satellitennavigation ist<sup>5</sup>, würde sich lohnen, ein Vergleich zwischen diesem und *Galileo* zu machen.

---

<sup>1</sup>Vgl. GMV Innovating Solutions S.L. (2021), Internetquelle

<sup>2</sup><https://www.euspa.europa.eu/newsroom/news/galileo-goes-live>, Zugriff am 17.06.2021

<sup>3</sup>European GNSS Agency (2020a), S.10

<sup>4</sup>Vgl. Hecker et al. (2018), S.18

<sup>5</sup>Vgl. Hofmann-Wellenhof et al. (2008), S.398

## 4.1 Unterschiede im Raumsegment

Das Raumsegment bei GPS besteht aus mindestens 24 Satelliten, mit einer Verfügbarkeit von 95%<sup>1</sup>. Diese Konstellation wurde im Jahr 2011 auf 27 Satelliten erhöht. Zusätzliche Satelliten sind auch in Orbit um die Verfügbarkeit zu garantieren. Die Konstellation ist von sechs Planen, mit je vier Slots, wo sich die Satelliten befinden. Die Orbithöhe ist 20 200 Km.

Die höhere Orbit, die weniger Planen und die größere Neigung der *Galileo*-Satelliten bieten eine bessere Abdeckung als *GPS* auf höhere geographische Breiten an, wie z.B. die Polar-Regionen und nördliche Regionen. Zusätzlich erreicht die höhere Zahl von *Galileo*-Satelliten einen besseren Empfang beim Benutzer. Das war einer der Gründen, warum die Anzahl von Satelliten bei *GPS* auch erhöht wurde<sup>2</sup>.

Ein Vorteil von *Galileo* basiert darauf, dass das System neu ist und alle sich im Betrieb befindende Satelliten modern sind, inklusive die Fähigkeit mit Dual-Frequenzen zu arbeiten. Bei *GPS* sind die neu geschossene Satelliten auch mit modernster Technik, allerdings sind einige alte Satelliten immer noch im Betrieb<sup>3</sup>. Die Folge davon ist, dass im Vergleich zu *GPS* weitaus präzisere Ergebnisse schneller an den Benutzer geliefert werden können<sup>4</sup>.

## 4.2 Unterschiede im Bodensegment

Die Bodensegmente bei allen Satellitensysteme sind ähnlich zu einander und dienen dem selben Zweck: die Position und die Funktion der Satelliten zu überwachen und die Navigationsnachrichten zu erstellen. Die von dem Bodensegment berechnete Daten werden an den Satelliten übermittelt, die im Gegenzug die Nachrichten an den Benutzer weltweit senden<sup>5</sup>.

Zurzeit besteht das Bodensegment bei GPS aus einer Master-Steuerstation, eine Reserve-Steuerstation, 11 Befehls- und Kontrollantennen und 16 Überwachungsstandorte<sup>6</sup>. Somit ist das Bodensegment fast identisch zu diesem von *Galileo*.

Der Hauptunterschied zwischen den Bodensegmente bei den beiden Systeme ist die Funktionsüberwachung, wie sie bei *Galileo* implementiert ist. Wenn das System erkennt, dass ein Satellit nicht nach den Vorgaben funktioniert, wird diese Information als ein Teil der Satellitennachricht am Benutzer mitgeliefert. Somit erkennt der Empfänger die Fehlfunktion des Satelliten und benutzt die Nachricht nicht bei den weiteren Berechnungen<sup>7</sup>.

---

<sup>1</sup><https://www.gps.gov/systems/gps/space/>, Zugriff am 17.06.2021

<sup>2</sup>Vgl. Beidleman (2012), S.15

<sup>3</sup>Vgl. Hecker et al. (2018), S.19

<sup>4</sup>Vgl. Schüttler (2014), S.113

<sup>5</sup>Vgl. Beidleman (2012), S.17

<sup>6</sup><https://www.gps.gov/systems/gps/control/>, Zugriff am 17.06.2021

<sup>7</sup>Vgl. Beidleman (2012), S.19

### 4.3 Unterschiede im Nutzersegment

Ursprünglich wurde *GPS* als rein militärisches System entwickelt und dadurch nur für Benutzung bei dem Militär gedacht. Das hat sich im 1996 geändert, indem die Navigation auch für zivile Nutzer zugänglich gemacht wurde<sup>1</sup>.

Im Vergleich wurde *Galileo* vom Anfang an als rein ziviles Navigationssystem konzipiert<sup>2</sup>. Als eins der Hauptziele von *Galileo* war auch die volle Kompatibilität mit den anderen Navigationssysteme, darunter auch *GPS*. Aus diesem Grund kann *Galileo* nicht als Ersatz oder als ein Konkurrent zu *GPS* betrachtet werden - die beide System ergänzen sich gegenseitig und die Nutzer können davon nur profitieren<sup>3</sup>. Bei der kontinuierlichen Modernisierung von *GPS* wird immer mehr Wert auf das Ziel der Interoperabilität von amerikanischen Seite gelegt<sup>4</sup>.

Ein zusätzlicher Unterschied ist die größere Anzahl und Vielfalt an angebotene Dienste für die öffentliche Nutzung, die *Galileo* anbietet. Dieser Vorteil hat *Galileo* nicht nur gegenüber *GPS*, sondern auch zu den anderen Navigationssysteme mit weltweiter Abdeckung<sup>5</sup>.

## 5 Verfügbarkeit von *Galileo*

Auch das beste und modernste Technologie ist von wenig Interesse für den Benutzer, wenn bei ihm kein Signal ankommt wird oder wenn das empfangene Signal von seinen Geräte nicht unterstützt ist.

Die Abdeckung der Erde durch das *Galileo*-Signal wird mit 99.78% angegeben<sup>6</sup> und dadurch ist die erste Voraussetzung praktisch erfüllt. Betrachten wir die Unterstützung von den Benutzergeräte.

Die meist benutzte Empfänger für Satellitennavigation sind die Smartphones, die dem Benutzer meistens Location Based Services auf diesem Basis anbieten<sup>7</sup>. Weil die Smartphones nicht ausschließlich der Navigation dienen, hängt praktisch von den eingebauten Chipsets an, ob Unterstützung für ein bestimmtes Satellitensignal vorhanden ist. In dem Fall von *Galileo* lässt sich feststellen, dass praktisch jedes moderne Smartphone mit dem Signal arbeiten kann<sup>8</sup>.

Es sind nicht nur alle führende Hersteller von Smartphone-Chipsätzen, wie Broadcom, Qualcomm und Mediatek, die *Galileo* unterstützen: über 95 % der Chipset-Hersteller für

---

<sup>1</sup>Vgl. Beidleman (2012), S.19

<sup>2</sup>Vgl. European Commission (2017), S.13

<sup>3</sup>Ebd.

<sup>4</sup>Vgl. Schüttler (2014), S.113

<sup>5</sup>Vgl. Hecker et al. (2018), S.19

<sup>6</sup>European GNSS Agency (2019), S.46

<sup>7</sup>Vgl. European GNSS Agency (2017a), S.7

<sup>8</sup><https://www.usegalileo.eu/EN/inner.html#data=smartphone>, Zugriff am 17.06.2021

Satellitennavigationsgeräte unterstützen *Galileo* bei neuen Produkten<sup>1</sup>. Somit kann die Verfügbarkeit von *Galileo* auf moderne Navigationsgeräte als vorhanden angenommen werden.

Für alle Autos, die nach 2018 für den Verkauf in Europa zugelassen sind, gilt die Vorschrift mit dem europäischen eCall Notruf-System kompatibel zu sein. Weil dieses System auf *Galileo* basiert ist, ist dadurch die Unterstützung des europäischen Navigationssystems eine gesetzliche Pflicht<sup>2</sup>.

Etwas Probleme bei der Einführung von *Galileo* haben sich in der USA ergeben, aufgrund der dortigen Verordnung, dass Navigationsgeräte über Lizenzen für den Empfang von jedem Satellitensender verfügen müssen, mit dem sie arbeiten. Nach Aufforderung seitens Europäischen Union wurde diese Anforderung für *Galileo* aufgehoben und nach entsprechende Software-Updates können ab 2018 alle Geräte, die *Galileo*-Signale empfangen können, diese auch bei der Navigation benutzen<sup>3</sup>.

---

<sup>1</sup><https://www.euspa.europa.eu/newsroom/news/galileo-inside-your-phone>, Zugriff am 17.06.2021

<sup>2</sup><https://www.euspa.europa.eu/newsroom/news/ecall-2-years-saving-lives>, Zugriff am 17.06.2021

<sup>3</sup><https://www.euspa.europa.eu/newsroom/news/fcc-approves-use-galileo-us>, Zugriff am 17.06.2021

## 6 Zusammenfassung

Satellitennavigationssysteme nehmen immer an Bedeutung zu. Aufgrund den großen Wert der Dienste und die potenzielle Gefahren, wurden die ersten solchen Systeme unter militärische Kontrolle entwickelt, sowie auch unter strengsten Kontrolle militärisch genutzt. Mit der Zeit wurde sich die Situation etwas gelockert und Zugang zu immer bessere Satelliten-navigationsdienste wurde dem öffentlichen Publikum angeboten. Ein riesiger Schritt dabei ist das europäische Satellitennavigationssystem *Galileo*, das nicht nur auf modernste Technologie basiert, sondern sich auch vom Anfang komplett unter zivile Kontrolle befindet. Das europäische System bietet nicht nur hoch-präzise Satelliten-navigationsdienste weltweit an, sondern erhöht die Unabhängigkeit von Europa an externen Anbieter für solche oftmals kritische Dienste.

Auch wenn das Grundprinzip der Satellitennavigation gleich bleibt, gibt es immer Raum für Verbesserungen bei der Ausführung und beim Betrieb. Das hat das *Galileo*-System auch bewiesen, indem es bessere Ergebnisse als die schon vorhandene Systeme anbietet. Die Rezeption hat sich als Erfolg erwiesen, und praktisch alle moderne Geräte unterstützen das neue System.

In dieser Arbeit war der Fokus auf dem *Galileo*-System aus der Benutzersicht. Weil aber das Grundprinzip von *Galileo* ein ziviles System für zivile Benutzer zu sein ist, wurden die militärische Sicht und Benutzung außer Betracht gelassen.

Es wird von *Galileo* nicht gestrebt, das einzige Navigationssystem in Benutzung zu sein, sondern wird immer darauf hingewiesen, dass das Zusammenspiel aller vorhandenen Systeme die beste Ergebnisse für die Benutzer liefern kann. In der Arbeit wurde ausschließlich *Galileo* als ein modernes System kommentiert ohne das Zusammenspiel mit den anderen Navigationssysteme weiter zu betrachten.

Das *Galileo*-System hatte einige Probleme bei der Entwicklung und bei der Inbetriebnahme. Weil diese nicht kritisch waren und schon in der Vergangenheit liegen, wurde nicht darüber diskutiert.

Oft wird *Galileo* als Satellitennavigationssystem zusammen mit einem anderen europäischen Projekt vorgestellt - das EGNOS Satellitennavigationsergänzungssystem. Dieses wurde in der Arbeit auch nicht betrachtet.



# Literaturverzeichnis

Beidleman, S. W. (2012)

*GPS versus Galileo: Balancing for Position in Space*, Alabama

European Commission (2016)

*Ionospheric Correction Algorithm for Galileo Single Frequency Users*, o.O.

European Commission (2017)

*GALILEO & EGNOS: The EU Satellite Navigation Programmes Explained*, o.O.

European Global Navigation Satellite Systems Agency (2021)

*The Galileo device directory*, <https://www.usegalileo.eu/> (Zugriff am 17.06.2021)

European GNSS Agency (2017a)

*Areas of Focus and Innovation Funding for EGNSS R&D*, o.O.

European GNSS Agency (2017b)

*EGNOS Open Service (OS) Service Definition Document*, o.O.

European GNSS Agency (2019)

*GALILEO - Open Service - Service Definition Document, Issue 1.1*, o.O.

European GNSS Agency (2020a)

*GALILEO High Accuracy Service (HAS)*, o.O.

European GNSS Agency (2020b)

*SAR/GALILEO Service Definition Document, Issue 2.0*, o.O.

European GNSS Agency (2021)

*European GNSS (Galileo) Open Service Signal-In-Space Interface Control Document, Issue 2.0*, o.O.

European Space Agency (2021)

*European Space Agency*, <http://www.esa.int/> (Zugriff am 17.06.2021)

European Union Agency for the Space Programme (2021)

*EU Agency for the Space Programme*, <https://www.euspa.europa.eu/> (Zugriff am 17.06.2021)

GMV Innovating Solutions S.L. (2021)

*Galileo Future and Evolutions*,

[https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Galileo\\_Future\\_and\\_Evolutions](https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Galileo_Future_and_Evolutions) (Zugriff am 17.06.2021)

Gravity Recovery and Climate Experiment - GRACE (2004)

*GRACE Fact Sheet*, <https://earthobservatory.nasa.gov/features/GRACE/page3.php> (Zugriff am 17.06.2021)

Hecker, P. et al. (2018)

*Galileo Satellite Navigation System: Space applications on earth*, Brussels

Hofmann-Wellenhof, B.; Lichtenegger, H.; Wasle, E. (2008)

*GNSS - global navigation satellite systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more*, Wien

Schüttler, T. (2014)

*Satellitenavigation: Wie sie funktioniert und wie sie unseren Alltag beeinflusst*, Berlin, Heidelberg

Schüttler, T. (2018)

*Relativistische Effekte Bei Der Satellitenavigation: Von Einstein zu GPS und Galileo*, Wiesbaden

Subirana, J. S.; Zornoza, J. J.; Hernández-Pajares, M. (2011)

*Reference Systems and Frames*,

[https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Reference\\_Systems\\_and\\_Frames](https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Reference_Systems_and_Frames) (Zugriff am 17.06.2021)

Subirana, J. S.; Zornoza, J. J.; Hernández-Pajares, M. (2013)

*GNSS Data Processing, Volume I: Fundamentals and Algorithms*, Noordwijk

U.S. Space Force (2021)

*The Global Positioning System*, <https://www.gps.gov/> (Zugriff am 17.06.2021)