

## Rechnernetze - Media Networking (WiSe 2023/2024)

### Übung 06

#### Aufgabe 1

Angenommen, Chile will ein eigenes Satellitennetz für Telefonie aufbauen. Würdet Ihr Euch eher für ein System auf Basis von geostationären Satelliten oder für ein LEO-System entscheiden? Begründung.

(1 Punkt)

Die Bahn von Geostationären Satelliten befindet sich in 36.000 km Höhe, was den Vorteil eines großen Footprints hat, wodurch eine umfassende Abdeckung ermöglicht wird. Jedoch führt die große Entfernung zu einer spürbaren Verzögerung von etwa 250 ms, was in der Telefonie als latenzempfindlichem Anwendungsfall problematisch sein könnte. Zudem sind polarische Regionen schlecht abgedeckt, und die Kosten für den Aufbau und Betrieb solcher Satellitensysteme sind hoch.

Auch wenn Chile nicht direkt in der Polargegend liegt, könnte man argumentieren, dass eventuell der südliche Teil von Chile sehr nah dran ist und somit dieser Teil schlechter abgedeckt werden könnte.

LEO-Satelliten hingegen befinden sich in niedrigen Umlaufbahnen von ca. 700-1100 km und haben daher kürzere Verzögerungszeiten. Diese Satelliten umrunden die Erde häufiger (ca. alle 1:45 Stunden) und ermöglichen somit regelmäßige Handovers, was für eine unterbrechungsfreie Kommunikation praktisch ist. Die Möglichkeit der direkten Kommunikation zwischen benachbarten LEO-Satelliten bietet Flexibilität und Zuverlässigkeit. Obwohl der Aufbau von LEO-Systemen ebenfalls kostenintensiv ist, können sie aufgrund ihrer potenziellen breiteren Anwendungsbereiche effizienter sein.

Beide Systeme nutzen Frequenzbänder, aber die Aufteilung und Nutzung können je nach System variieren. LEO-Systeme könnten möglicherweise aufgrund ihrer Flexibilität verschiedene Multiplexing-Techniken effizienter nutzen.

Als Beispiel für den Erfolg von LEO-Systemen kann das Global Positioning System (GPS) dienen. Es verwendet Satelliten in niedrigen Umlaufbahnen, um präzise Positionsbestimmungen durchzuführen.

Der größte Nachteil wäre der Kostenpunkt von Telefongesprächen.

Ansonsten könnte ein LEO-System aufgrund seiner niedrigen Latenzzeiten, häufigen Handovers und der Möglichkeit direkter Satellitenkommunikation besser für zuverlässige Telefonie in Betracht gezogen werden.



Die potenzielle Integration von Starlink-Satelliten - wie sie im Artikel "The Potential Impact of Starlink in Chile's Rural Areas"<sup>1</sup> und "Is Starlink in Chile?"<sup>2</sup>, von Marcin Frackiewicz behandelt wird - in die ländlichen Gebieten Chiles verspricht, die digitale Kluft zu überbrücken und die Konnektivität in entlegenen Regionen zu revolutionieren. Dieser Artikel untersucht die Chancen und Herausforderungen dieses Vorhabens, wobei sowohl die positiven Auswirkungen auf Bildung und Wirtschaft als auch mögliche Bedenken bezüglich Kommunikationsstörungen und Umweltauswirkungen beleuchtet werden. Die LEO-Satellitenkonstellation (Low Earth Orbit) von Starlink bietet Vorteile gegenüber herkömmlichen geostationären Satelliten. Die niedrigere Umlaufbahn verringert die Latenzzeit und sorgt für (reaktions)schnellere Internetverbindungen. Dies ist besonders wichtig für Anwendungen, die Echtzeitkommunikation erfordern. Durch die Bereitstellung von

<sup>1</sup> <https://ts2.space/en/starlink-in-chile-addressing-concerns-and-challenges/#gsc.tab=0>

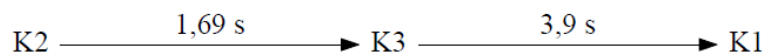
<sup>2</sup> <https://ts2.space/en/is-starlink-in-chile/#gsc.tab=0>

Hochgeschwindigkeitsinternet in ländlichen Gebieten könnte Starlink somit die digitale Kluft überbrücken und die digitale Integration fördern.

1 Punkt

- 2) Hätte Leonardo da Vinci nicht immer gewußt, wo er gerade ist, hätte er sich womöglich folgendes System ausgedacht: Die Glocken der drei nächstgelegenen Kirchtürme (K1, K2, K3) haben unterschiedliche Tonhöhen und beginnen präzise dann zu schlagen, wenn von einem vierten Turm ein roter Ball heruntergeworfen wird (-)). Dies geschieht jede Viertelstunde. (*Vereinfachte Annahme: Die Schallgeschwindigkeit beträgt 339 m/s.*) Die Kirchtürme befinden sich (gemäß des landkarteneigenen Koordinatensystems) an den Positionen K1: (11,2), K2: (21,7) und K3: (8,12) — Angaben in Kilometern.

Eines Tages ermittelt ein eigens dafür gebauter Empfänger folgende Abstände zwischen dem Einsetzen der Glocken (-)):



- a) Wo befindet sich der Empfänger in etwa? Kurze Begründung.
- b) Welche Probleme hat dieses System?
- c) Warum hat GPS diese Probleme nicht bzw. nicht in gleichem Maße?

(3 Punkte)

a)

Um die Position des Empfängers zu ermitteln, haben wir zunächst die Koordinatenpunkte der Kirchtürme eingezeichnet.

Der Empfänger hört zuerst die Glocken von K2. Nach 1,69s hört der Empfänger die Glocken von K3. Bei einer Schallgeschwindigkeit von  $339\text{ m/s} \cdot 1,69\text{ s}$  ergibt sich eine Strecke von 572,91m.

Das bedeutet, dass K3 572,91m mehr vom Empfänger entfernt ist, als K2.

Analog ergibt sich für den Kirchturm K1, welches nach weiteren 3,9s gehört wird, dass er um  $3,9\text{ s} \cdot 339\text{ m/s} = 1322,1\text{ m}$  vom Empfänger mehr entfernt ist, als K3.

Der Empfänger bildet einen weiter Punkt innerhalb des Koordinatensystems mit folgenden Eigenschaften:

Der Weg vom Empfänger zum Kirchturm K2 bildet eine Gerade  $t_1$  mit der Länge  $x$ .

Der Weg vom Empfänger zum Kirchturm K3 bildet eine Gerade  $t_2$  mit der Länge  $x + 572,91\text{ m}$ .

Der Weg vom Empfänger zum Kirchturm K1 bildet eine Gerade  $t_3$  mit der Länge  $x + 572,91\text{ m} + 1322,1\text{ m}$ .

Siehe Abbildung 1:

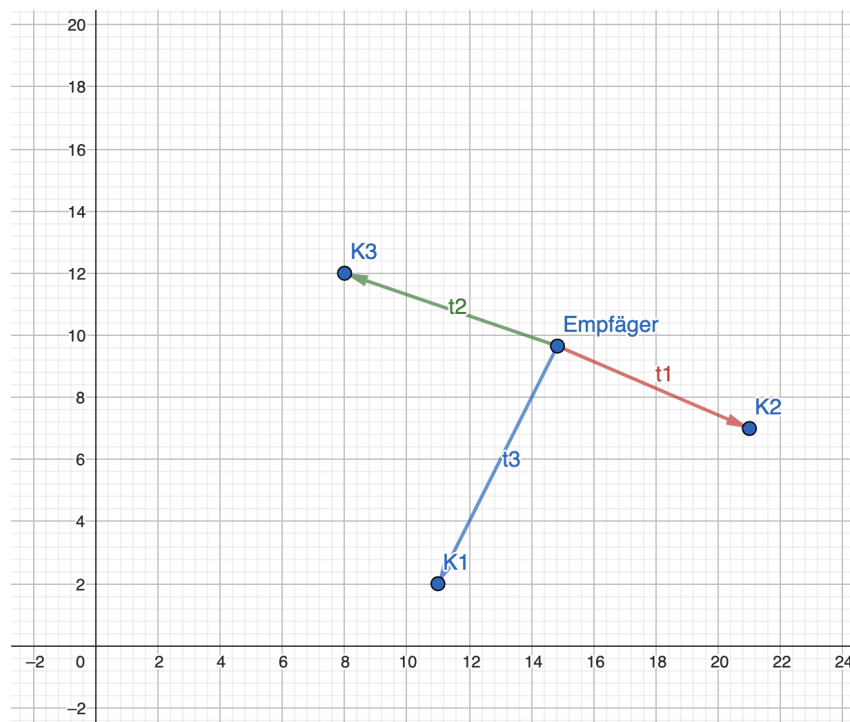


Abbildung 1: Abstand der Kirchtürme zum Empfänger (Graph mit Geogebra geplottet).

Durch das Bestimmen der zugehörigen Kreisgleichungen um die Kirchtürme herum kann die Position des Empfängers ermittelt werden.

Der Empfänger hat dann die Koordinaten des gemeinsamen Schnittpunktes der 3 Kreise.

“Die allgemeine Kreisgleichung (für einen beliebigen Wert) lautet:  $(x - x_M)^2 + (y - y_M)^2 = r^2$ . Diese allgemeine Kreisgleichung wird mithilfe des Satzes des Pythagoras hergeleitet”.<sup>3</sup>

In unserem Fall ergaben sich folgende Kreisgleichungen:

$$K1: (x-11)^2 + (y-2)^2 = (r+1,89501)^2$$

$$K2: (x-21)^2 + (y-7)^2 = r^2$$

$$K3: (x-8)^2 + (y-12)^2 = (r+0,57291)^2$$

WolframAlpha liefert:

Für  $r \approx 6.68331$

$x \approx 14.8675$

und  $y \approx 9.65701$

Grafisch lässt sich das auch wie in Abbildung 2 bestimmen:

<sup>3</sup> Eisenhut, C. (2019, July 3). *Kreisgleichung in der Mathematik*. Lernort-MINT. <https://www.lernort-mint.de/mathematik/geometrie/kreisgleichung/>

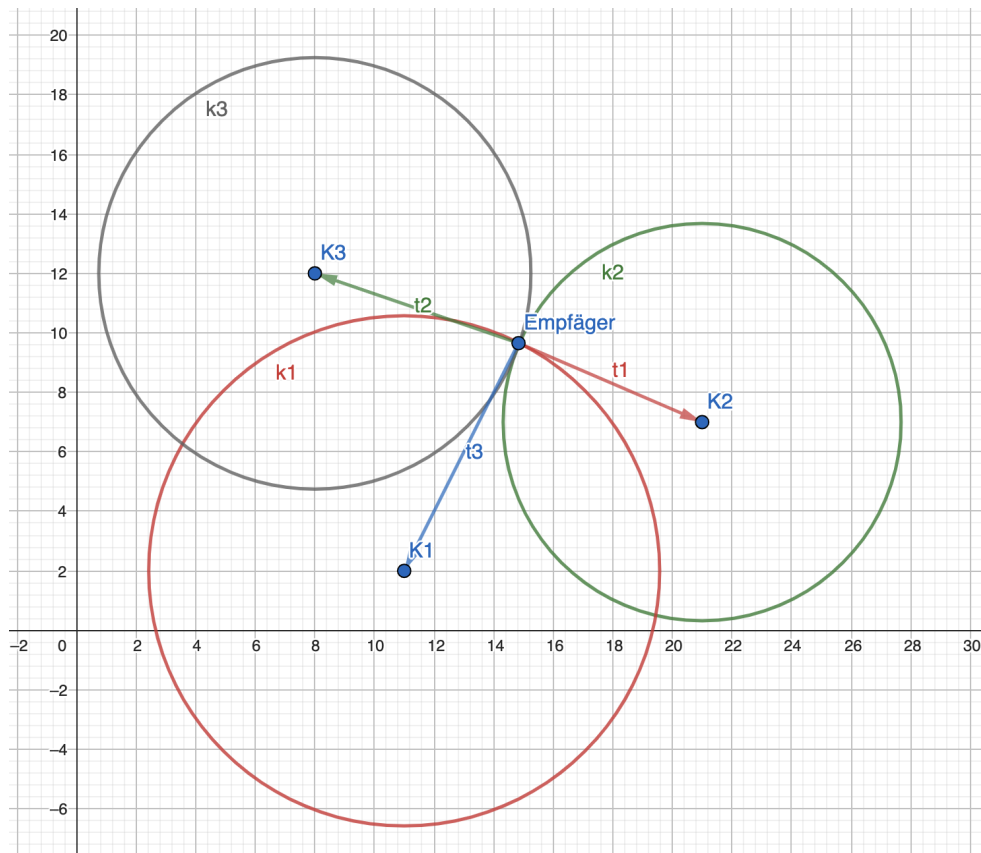


Abbildung 2: Schnittpunkt der Kreisgleichungen zur Bestimmung der Empfängerposition.

Man könnte auch durch "per Hand" vorgehen, beispielsweise mithilfe eines Zirkels, eine Annäherung an die Kreisgleichungen versuchen und so im Laufe der Zeit die genaue Position ermitteln.

Als Probe kann man den Standort des Empfängers bei  $x = 14,868$ ,  $y = 9,657$  nehmen und die Länge des Vektors durch die Schallgeschwindigkeit teilen. Dann dauert der Schall von K1

$$\sqrt{(14,868 - 11)^2 + (9,657 - 2)^2} / 0,339 \approx 25,31 \text{ s}$$

und der Schall von K2

$$\sqrt{(14,868 - 21)^2 + (9,657 - 7)^2} / 0,339 \approx 19,71 \text{ s}$$

und der Schall von K3

$$\sqrt{(14,868 - 8)^2 + (9,657 - 12)^2} / 0,339 \approx 21,41 \text{ s}$$

was mit der Beschreibung in der Aufgabenstellung zutreffend ist.

Der Abstand vom Empfänger zu K2 beträgt: 6,68 Km

Abstand von Empfänger zu K3 beträgt: 6,68Km + 0,57291Km = 7,25291 Km

Abstand von Empfänger zu K3 beträgt: 6,68Km + 1,89501 Km = 8,57501 Km

Und der Empfänger E befindet sich auf der Position: **E(14.868, 9.657)**.

1

b)

Das gesamte System funktioniert nur, solange die Ausbreitungseigenschaften der Schallwellen von den Kirchtürmen aus betrachtet dieselben sind. Das betrifft insbesondere die Schallausbreitung. Wetterbedingte Einflüsse wie starker Wind oder mögliche Hindernisse können jedoch leichte Verschiebungen verursachen. Zudem wird außer Acht gelassen, dass es eventuell eine begrenzte Reichweite in der Schallausbreitung gibt.

Das System basiert auf der Messung von Schallzeiten, was die Genauigkeit einschränken kann. Die Schallgeschwindigkeit variiert mit der Temperatur, dem Luftdruck und anderen Umgebungsbedingungen, was zu Ungenauigkeiten in der "Signalqualität" führen kann.

Es besteht sogar die Möglichkeit von Mehrdeutigkeiten, da mehrere Positionen in unterschiedlichen Entfernungen die gleiche Schallzeit aufweisen könnten.

Das System ist auch darauf angewiesen, dass der rote Ball vom vierten Turm heruntergeworfen wird.

Jegliche Störung oder Verzögerung in diesem Prozess könnte zu Fehlfunktionen führen.

1

c)

GPS verfügt über ein System, das im Vergleich zum "Kirchturmsystem" die Signalqualität erheblich verbessern und den damit verbundenen Problemen entgegenwirken kann.

Ein bekanntes Beispiel hierfür ist DGPS (Differential GPS).

Das Prinzip von DGPS beinhaltet feste Bodensender, die sich an bekannten Positionen wie Leuchttürmen befinden. Diese Sender senden regelmäßig die Differenz zwischen ihrer tatsächlichen Position und ihrem GPS-Signal aus. Wenn sich eine Empfängerstation in der Nähe einer solchen Bodenstation befindet, kann sie davon ausgehen, dass die ermittelte GPS-Signal-Differenz identisch ist. Somit kann eine entsprechende Korrektur vorgenommen werden.

Des Weiteren setzt GPS grundsätzlich auf elektromagnetische Wellen (Radiosignale) anstelle von Schallwellen, was zu einer schnelleren Ausbreitung führt.

Die GPS-Satelliten befinden sich in hohen Umlaufbahnen und ermöglichen eine globale Abdeckung, was im Vergleich zum Kirchturmsystem das Reichweitenproblem deutlich mindert.

Ein weiterer entscheidender Unterschied besteht darin, dass GPS präzise Atomuhren in den Satelliten verwendet, um genaue Zeitstempel zu generieren.

Dies verbessert die Genauigkeit der Positionsbestimmung erheblich. Im Gegensatz dazu musste das Kirchturmsystem sich auf den roten Ball verlassen und akzeptieren, dass die Atomuhren bei allen Türmen aus unbekannten Gründen einfach identisch sind.

Abschließend werden bei GPS gleichzeitig mehrere Satelliten für die Positionsbestimmung verwendet, was zu einer höheren Genauigkeit und Robustheit gegenüber Umwelteinflüssen führt. Genau dies war eine Schwäche des Kirchturmsystems.

Zusammenfassend bietet GPS aufgrund seiner Technologie und des globalen Satellitennetzwerks eine zuverlässigere und genauere Methode zur Positionsbestimmung im Vergleich zu einem akustischen System mit Kirchturmglöcken.

1

3 Punkte