

Einfluss von Starkstromleitungen auf den GNSS-Empfang von automatischen Lenksystemen

Patrick Noack, David Eder, Norbert Bleisteiner

Satellitengestützte Positionierungssysteme (GNSS) dienen der Ortung, der Navigation und der positionsbezogenen Erfassung von Daten. In der Landwirtschaft werden GNSS-Empfänger als zentraler Sensor bei der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung, der Teilbreitenschaltung und in automatischen Lenksystemen eingesetzt. Sie entlasten dabei den Fahrer und senken die Kosten durch Einsparung von Arbeitszeit und Betriebsmitteln. An das Lenken werden hohe Anforderungen gestellt. Bei ausgewählten Arbeiten muss die maximal erreichbare Genauigkeit von 2 cm dauerhaft sichergestellt sein. Ein im Zusammenhang mit dem Ausbau der Stromnetze viel diskutierter Einflussfaktor auf die Genauigkeit und Verfügbarkeit von GNSS-Systemen sind ober- und unterirdische in. Daher wurde die Auswirkung von Starkstromleitungen auf den GNSS-Empfang systematisch untersucht.

Schlüsselwörter

GNSS, Stromleitung, Lenksystem, Precision Farming

Automatische Lenksysteme haben sich in den letzten Jahren in der Landwirtschaft zunehmend durchgesetzt. Sie lenken das Fahrzeug ohne Eingriff der FahrerIn oder des Fahrers zwischen den Wendevorgängen und stellen sicher, dass der Abstand zwischen den Fahrspuren unabhängig vom Können des Fahrers und den Sichtbedingungen gleichbleibend hochgenau einem einstellbaren Sollwert entspricht. Durch den Einsatz von Lenksystemen können bei allen Bearbeitungsgängen Überlappungen und Fehlstellen auf ein Mindestmaß reduziert werden. Die Genauigkeit der Positionierung ermöglicht es, beim Wenden Fahrspuren auszulassen, sodass gerade mit langen, gezogenen Geräten die Wendezeiten deutlich verkürzt werden können. Mit automatischen Lenksystemen werden neue Formen der Bewirtschaftung wie Controlled Traffic Farming (Regelfahrspurverfahren) oder Strip Till (streifenweise Bewirtschaftung) erst möglich und andere Verfahren – wie die mechanische Unkrautbekämpfung mit Hackscharen – wesentlich effektiver.

Um die Position beim Lenken mit der aktuell höchstmöglichen Genauigkeit von ± 2 cm bestimmen zu können, müssen Korrekturen einer RTK-Station oder eines RTK-Netzwerks auf die Messwerte der Satellitensignale angewendet werden. Die Korrekturen sorgen für die Berücksichtigung von Fehlern, die durch das Satellitensystem selbst oder die Umgebung verursacht werden. Sie werden von einer Station oder einem Server fortlaufend ausgesendet und mittels Modem über Daten- oder Mobilfunk empfangen. Dabei hat sich in der Praxis in den letzten Jahren die Übertragung mittels Mobilfunk durchgesetzt. Bei ständig sinkenden Kosten für die mobile Datennutzung hat sich die Abdeckung des Mobilfunknetzes verbessert. Gleichzeitig sind die Investitionskosten für die lokal auf einen Umkreis von wenigen Kilometern eingeschränkte Übertragung mittels Datenfunk gleichbleibend hoch geblie-

ben. Durch die in einigen Bundesländern mittlerweile kostenlose Bereitstellung von Korrekturdaten durch die Landesvermessungsämter ist die Übertragung von Korrekturdaten mit Mobilfunk deutlich auf dem Vormarsch.

Aufgrund der zunehmenden dezentralen Bereitstellung von regenerativer Energie werden die Stromnetze weiter aus- und umgebaut. In diesem Zusammenhang werden aus der landwirtschaftlichen Praxis Vermutungen geäußert, dass Stromleitungen den Empfang von GNSS-Signalen und Korrekturdaten negativ beeinflussen. Um verbleibende Zweifel auszuräumen, hat die Bayernwerk AG die Landmaschinenschule Triesdorf und die Hochschule Weihenstephan-Triesdorf mit der Untersuchung des Einflusses von Starkstromleitungen auf die Empfangsstabilität von Satelliten- und Korrekturdaten unter praktischen Bedingungen beauftragt.

Stand des Wissens

In der Literatur (BANCROFT 2012, POLLOCK AND WRIGHT 2011, SILVA und OLSEN 2002) finden sich keine oder nur wenige Hinweise darauf, dass Starkstromleitungen die Qualität der Positionsbestimmung von GNSS-Empfängern negativ beeinflussen. SILVA und OLSEN (2002) nennen in ihrer Untersuchung zum Betrieb von GPS-Empfängern unter Hochspannungsleitungen zwei Möglichkeiten der Beeinflussung der Leistungsfähigkeit des Empfängers. Zum einen kann elektromagnetische Interferenz, die an den Leitungen entsteht, die Elektronik des Empfängers stören. Zum anderen besteht die Möglichkeit, dass die Leitungen die Satellitensignale ablenken und so eine Abschattung unterhalb der Leitungen verursachen. In diesem Fall wäre es dem Empfänger nicht mehr möglich, seine Position festzustellen. SILVA und OLSEN kommen zum Schluss, dass weder eine Beeinflussung der Elektronik durch Interferenz noch eine Ablenkung des Signals in Betracht kommen. Die Autoren geben jedoch zu bedenken, dass sie keine Untersuchungen zur Abschattung durch die Masten der Freileitungen durchgeführt haben. Zuletzt weisen SILVA und OLSEN darauf hin, dass GNSS selbst von internen Ausfällen betroffen sind. Als Beispiel wird eine dreimonatige Beobachtung des GPS-Systems angeführt, die eine Häufigkeit von etwa 1,2 systeminternen Störungen pro Tag feststellte.

DE BAKKER (2007) berichtet, dass die Einwirkung von elektromagnetischen Störungen auf GNSS mehrere Auswirkungen hat. Einerseits kann die Verfolgung von Satelliten gestört sein, andererseits verringert sich das Signal-Rausch-Verhältnis (SNR). Unter SNR versteht man das Verhältnis der mittleren Leistung eines Nutzsignals zu der mittleren Rauschleistung eines überlagernden Störsignals. Je niedriger der Wert, desto geringer ist die Qualität des Nutzsignals.

BANCROFT und MORRISON (2011) führten Untersuchungen zur Zuverlässigkeit von GPS-Empfängern in unmittelbarer Nähe von Stromtrassen durch. Betrachtet wurden Gleich- und Wechselspannungsanlagen. Die Autoren konnten keinen Einfluss der Infrastruktur auf GPS-Empfänger oder die Übertragung von Korrekturdaten via Mobilfunk feststellen.

Material und Methoden

Die Untersuchungen basierten auf Fahrversuchen, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten an zwei Standorten durchgeführt wurden. Die Fahrversuche wurden an beiden Standorten jeweils mit denselben drei Fahrzeugen durchgeführt, welche von landwirtschaftlichen Betrieben zur Verfügung gestellt worden waren. Die Ackerschlepper waren mit automatischen Lenksystemen unterschiedlicher Hersteller ausgestattet. Der Empfang der Korrekturdaten erfolgte bei allen Systemen über den Mobilfunkanbieter T-Mobile. An Schleppern und Empfängern wurden keine Modifikationen vorgenom-

men. Zusätzlich erfolgte ein vergleichender, statischer Langzeitversuch, bei dem Daten von je einem GNSS-Empfänger innerhalb und einem außerhalb des Einflussbereichs von Starkstromleitungen aufgezeichnet wurden.

Am ersten Standort in Oberfranken verlief die Teststrecke unter zwei 110-kV-Überlandleitungen und über eine 110-kV-Erdleitung. Die drei Fahrzeuge wurden an zwei aufeinanderfolgenden Tagen jeweils eine Stunde am Vormittag, mittags und am Abend kontinuierlich entlang der Teststrecke bewegt (Tabelle 1). Die Zeiträume waren dabei so gewählt, dass unterschiedliche Satellitenkonstellationen vorherrschten. Die Fahrgeschwindigkeit wurde von den Fahrzeugführern zufällig im Bereich von 5 bis 20 km/h variiert. Während der Fahrten wurden die NMEA-Nachrichten der GNSS-Empfänger mit einer Datenrate von 1 Hz aufgezeichnet (<http://www.nmea.de/nmea0183datensatze.html>). Bei allen Systemen konnten die GGA-, die GSA- und die VTG-Nachricht erfasst werden. Die GST-Nachricht war nur bei zwei Systemen, die GSV-Nachricht nur bei einem verfügbar. Somit konnten die wichtigsten Einflussparameter auf die Qualität einer GNSS-Position wie der Korrekturstatus, die Güte der Satellitengeometrie (PDOP) und das Signal-Rausch-Verhältnis bei der Auswertung betrachtet werden.

Bei den Messungen an Standort 1 betrug die durchschnittliche Temperatur 13 °C. Es waren keine nennenswerten Niederschläge zu verzeichnen (Tagessumme: 1,2 mm). Die relative Luftfeuchte betrug im Mittel 72%. An Standort 2 lag die durchschnittliche Tagestemperatur während der Messung bei 9 °C. Die Niederschläge waren ebenfalls vernachlässigbar (Tagessumme: 0,1 mm). Die relative Luftfeuchte betrug am ersten Messtag 74%, am zweiten Messtag 57%.

Tabelle 1: Messzeiträume an Standort 1 (Oberfranken)

| Datum | Vormittag | | Mittag | | Nachmittag | |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|
| | Beginn | Ende | Beginn | Ende | Beginn | Ende |
| 04.04.2016 | 09:15 Uhr | 10:15 Uhr | 12:15 Uhr | 13:15 Uhr | 14:50 Uhr | 15:50 Uhr |
| 05.04.2016 | 09:45 Uhr | 10:45 Uhr | 13:00 Uhr | 14:00 Uhr | 15:00 Uhr | 16:00 Uhr |

Die aufgezeichneten Daten wurden nach Abschluss der Messungen aufbereitet und in das GIS-Programm QGIS (www.qgis.org) als Punktdaten importiert. Die Erfassung der Lage der oberirdischen und der unterirdischen Stromleitungen erfolgte ebenfalls im Programm QGIS in Form einer Linienebene auf Basis von Lageplänen und digitalen Orthophotos des Landesamts für Digitalisierung, Breitband und Vermessung (<https://www.ldbv.bayern.de/produkte/luftbild/orthophotos.html>). Auf Basis der Linienebenen wurde im Nachgang auf einer Breite von 10 m eine Pufferzone erzeugt, sodass die resultierenden Flächendateien (Polygone) den Einflussbereich der Stromleitungen markieren (Abbildung 1). Es entstanden im Bereich der Teststrecke fünf unterschiedliche Bereiche. Der Bereich A lag außerhalb des vermuteten Einflussbereichs der Stromleitungen, der Bereich B im Umgriff der ersten Freileitung, der Bereich C um die zweite Freileitung, der Bereich D im Einflussbereich der ersten und zweiten Freileitung, der Bereich E im Einflussbereich des Erdkabels und der Bereich F im Einflussbereich der zweiten Freileitung und des Erdkabels (Tabelle 2).

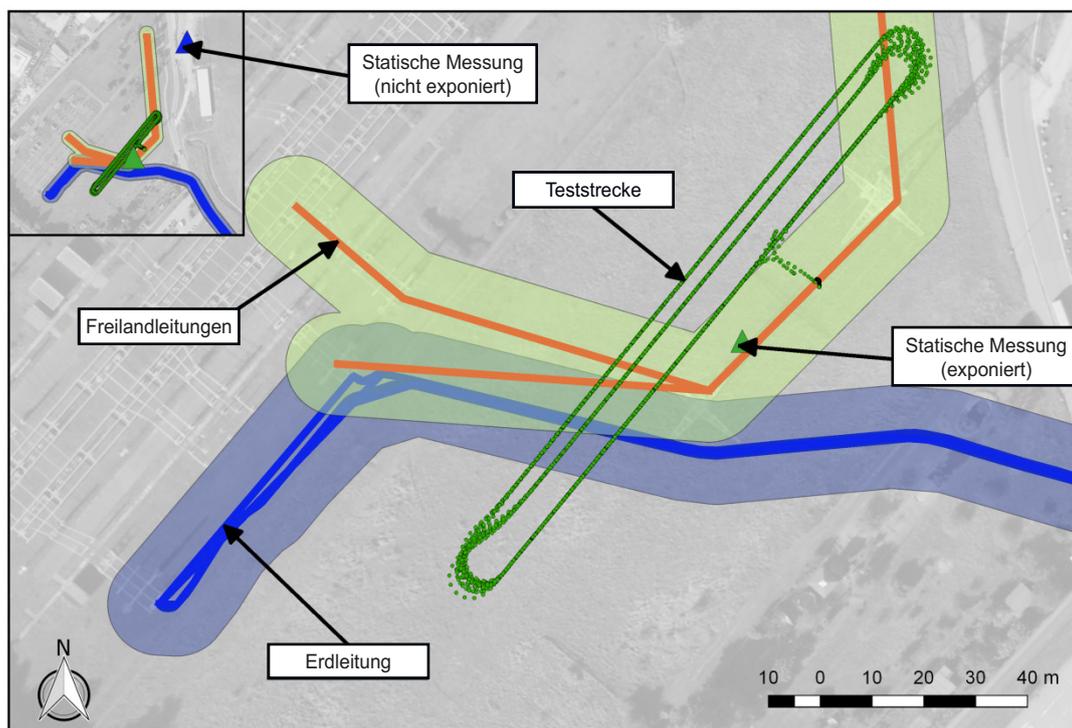


Abbildung 1: Lage der Leitungen mit Puffer- bzw. Einflusszonen der Leitungen, Messpunkte und Fahrstrecke an Standort 1

Tabelle 2: Einteilung der Einflussbereiche von Leitungen/Kabeln am Standort 1 (Oberfranken)

| Bereiche | 110 kV Erdkabel | 110 kV Freileitung_1 ¹⁾ | 110 kV Freileitung_2 |
|--------------|--------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| A (ohne) | 0 | 0 | 0 |
| B (Frei2) | 0 | 0 | 1 |
| C (Frei 1) | 0 | 1 | 0 |
| D (Frei1_2) | 0 | 1 | 1 |
| E (Erd) | 1 | 0 | 0 |
| F (ErdFrei2) | 1 | 0 | 1 |

¹⁾ Freileitung_1 führte während der Messungen keinen Strom.

Alle aufgezeichneten Daten wurden im GIS-Programm einem der Bereiche zugeordnet, um die GNSS-Qualitätsparameter in den verschiedenen Einflussbereichen getrennt auswerten zu können.

Das Vorgehen am zweiten Standort in Mittelfranken erfolgte analog. Die Datenaufzeichnung erfolgte mit denselben drei Fahrzeugen am 03.05.2016 und am 04.05.2016 für jeweils eine Stunde am Vormittag, mittags und am Nachmittag. Hinsichtlich der Stromleitungen ergab sich jedoch eine abweichende Konstellation. Die Teststrecke verlief unter drei oberirdischen Leitungen mit 110 kV, 220 kV und 380 kV. Die sich daraus ergebenden Einflussbereiche sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Einteilung der Einflussbereiche von Leitungen/Kabeln am Standort 2 (Mittelfranken)

| Bereiche | 110 kV Freileitung_1 | 220 kV Freileitung_2 | 380 kV Freileitung_3 |
|-------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| A (ohne) | 0 | 0 | 0 |
| B (Frei3) | 0 | 0 | 1 |
| C (Frei2) | 0 | 1 | 0 |
| D (Frei2_3) | 0 | 1 | 1 |
| E (Frei_1) | 1 | 0 | 0 |

An beiden Standorten wurden zusätzlich statische Dauermessungen des GNSS-Empfangs durchgeführt. Dabei befand sich ein Empfänger unterhalb der Freileitungen während der zweite in unmittelbarer Nähe, jedoch außerhalb des Einflussbereiches der Leitungen installiert war. Bei den GNSS-Empfängern handelte es sich um einen AgGPS 132 und einen AgGPS 372 (Firma Trimble). Diese Messungen dienten dazu, durch GNSS verursachte Störungen der Lenksysteme von Einflüssen der Leitungen und Kabel zu differenzieren. Zusätzlich war so eine vergleichende Langzeitbeobachtung des beeinflussten bzw. des unbeeinflussten Raumes möglich. Die Messungen erfolgten parallel zu den dynamischen Fahrttests und dauerten insgesamt mindestens 24 h.

Der AgGPS-32-Empfänger und die zugehörige Messtechnik konnten am Standort in Oberfranken auf bzw. in einem Container untergebracht werden. Dieser wurde direkt unter einer Freileitung platziert. Mit einem Maschek-ESM-100-Feldmessgerät (Frequenzbereich 50 Hz) wurde dabei die Position bestimmt, an der die relativ höchste elektrische Feldstärke herrschte. Ein Einfluss der Erdkabel in Form eines stark erhöhten magnetischen Feldes konnte am Standort des Containers nicht festgestellt werden.

Als Referenzsystem wurde die Messtechnik und der AgGPS-372-Empfänger im bzw. auf dem Tower eines Flugplatzes installiert. Im Frequenzbereich von 50 Hz konnte hier mit dem Maschek-ESM-100-Feldmessgerät keine erhöhte elektromagnetische Strahlung detektiert werden. Ein Einfluss der stromführenden Infrastruktur war im Vergleich zur Position des AgGPS 132 mit dem verwendeten Gerät nicht feststellbar. Zwischen den beiden Empfängern lag eine Entfernung von 173 m.

Ergebnisse

Bei den statischen Tests wurde die zeitliche Entwicklung der Standardabweichung der Laufzeitmessungen (RMS-Werte auf NMEA-GST-Nachricht) betrachtet. Der RMS-Wert (root mean square) steigt an, wenn das Signal durch die Umgebung beeinflusst wird. Beim direkt unter der Freileitung 2 befindlichen GNSS-Empfänger konnten zeitweilig starke Anstiege des RMS-Werts beobachtet werden. Diese standen jedoch in keinem zeitlichen Zusammenhang zu hohen Wirkleistungen in der Freileitung. Selbst bei den höchsten beobachteten Wirkleistungen von 30 MW lagen die RMS-Werte regelmäßig unter 2 m. Gleichzeitig traten bei Wirkleistungen von weniger als 10 MW RMS-Werte im Bereich von 10 bis 20 m auf. Die Wirkleistungen lagen lediglich als Mittelwert über 15 Minuten vor, sodass ein zeitlich hoch aufgelöster Vergleich nicht möglich war.

Der außerhalb des Einflussbereichs der Stromleitungen installierte AgGPS 372 wies im Vergleichszeitraum wesentlich höhere RMS-Werte (> 60 m) auf als der im Einflussbereich der Freileitung betriebene AgGPS 132. Dies kann einerseits daran liegen, dass es sich um unterschiedliche Empfängermodelle handelt. Es zeigt jedoch andererseits auch, dass Bauart und Hersteller des GNSS-Empfängers

sowie andere Einflussfaktoren die Standardabweichung der Laufzeitmessungen offensichtlich stärker beeinflussen als Stromleitungen.

Bei den dynamischen Tests wurden hinsichtlich des in der NMEA-GSV-Nachricht enthaltenen Signal-Rausch-Verhältnisses der Satellitensignale keine signifikanten Unterschiede in den unterschiedlichen Bereichen der Teststrecken am Standort 1 und 2 festgestellt. Dieser Parameter konnte nur bei einem System untersucht werden. Die Unterschiede zwischen den Messtagen und den Messungen, die am selben Tag zu unterschiedlichen Uhrzeiten durchgeführt wurden, waren größer als die Unterschiede zwischen den Messwerten in den verschiedenen Einflussbereichen. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass die Satellitenkonstellation und somit die Uhr- und Tageszeit einen größeren Einfluss auf das Signal-Rausch-Verhältnis hat als die Nähe zu ober- oder unterirdischen Stromleitungen.

Auch hinsichtlich der Geometrie der Satellitenkonstellation (PDOP) konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen Zonen inner- und außerhalb des vermuteten Einflussbereichs der Stromleitungen ermittelt werden. Der PDOP sollte steigen, falls das Signal von Satelliten stark beeinflusst und dadurch die Grenze für das Signal-Rausch-Verhältnis überschritten wird. Auch dieser Parameter weist eine wesentlich höhere Variabilität in Abhängigkeit vom Datum und der Tageszeit auf. Er wies auch zum gleichen Zeitpunkt bei verschiedenen Empfängern unterschiedliche Werte auf. Somit scheint der Einfluss des Empfängers sowie von Tages- und Uhrzeit größer zu sein als der Einfluss der Stromleitungen.

Entscheidend für die Funktion des Lenksystems ist der Korrekturdatenstatus. Die Funktion ist nur dann gewährleistet, wenn die Position den Korrekturdatenstatus 4 (RTK) aufweist. Die Stati 1, 2 und 5 bedeuten, dass entweder keine Korrekturdaten zur Verfügung stehen oder andere Grenzwerte (PDOP, Signal-Rausch-Verhältnis) überschritten werden, sodass eine hochgenaue Positionsbestimmung nicht möglich ist. In diesem Fall werden die Lenksysteme deaktiviert bzw. können nicht aktiviert werden.

Tabelle 4 zeigt für die verschiedenen Einflussbereiche die prozentualen Anteile bezogen auf alle Messpunkte, die als RTK-korrigiert und nicht RTK-korrigiert erfasst wurden. Die sechs Messungen mit den drei Systemen an einem Standort wurden dabei jeweils zusammengefasst und den jeweiligen Bereichen zugeordnet.

Tabelle 4: Prozentualer Anteil der RTK-korrigierten (Status 4) und nicht RTK-korrigierten (Stati 1, 2, 5) Positionen von drei Lenksystemen in verschiedenen Bereichen an zwei Standorten (jeweils Summe aller sechs Wiederholungen)

| Standort | Bereich | System A | | System B | | System C | |
|----------|--------------|-------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------|-------------------|
| | | RTK in % | Nicht-RTK in % | RTK in % | Nicht-RTK in % | RTK in % | Nicht-RTK in % |
| 1 | A (ohne) | 100,0 | 0,0 | 100,0 | 0,0 | 57,7 | 42,3 |
| | B (Frei2) | 99,5 | 0,5 | 99,9 | 0,1 | 55,0 | 45,0 |
| | C (Frei1) | 99,8 | 0,2 | 100,0 | 0,0 | 54,8 | 45,2 |
| | D (Frei1_2) | 99,2 | 0,8 | 100,0 | 0,0 | 56,5 | 43,5 |
| | E (Erd) | 99,8 | 0,2 | 100,0 | 0,0 | 56,0 | 44,0 |
| | F (ErdFrei2) | 100,0 | 0,0 | 100,0 | 0,0 | 56,6 | 43,4 |
| 2 | A (ohne) | 98,7 | 1,3 | | | 97,0 | 3,0 |
| | B (Frei3) | 99,5 | 0,5 | | | 96,5 | 3,5 |
| | C (Frei2) | 100,0 | 0,0 | | | 98,2 | 1,8 |
| | D (Frei2_3) | 100,0 | 0,0 | | | 98,9 | 1,1 |
| | E (Frei_1) | 100,0 | 0,0 | | | 97,4 | 2,6 |

Die Messwerte des Systems B am Standort 2 waren teilweise nicht auswertbar und sind deshalb hier nicht aufgeführt. Auffällig ist, dass das System C aus ungeklärten Gründen am Standort 1 unabhängig von seiner Entfernung zu den Starkstromleitungen fast die Hälfte der Zeit den Korrekturdatenstatus 4 nicht erreichte und somit im praktischen Einsatz nicht hätte verwendet werden können. Am Standort 2 war dieses System im Mittel zu 97,6% der Zeit einsatzfähig. Störungen traten dabei auch im nicht durch die Leitungen beeinflussten Bereich auf, absolut gesehen sogar am häufigsten (307 Messwerte).

Das System A war an Standort 1 zu 99,7% einsatzfähig. Es traten insgesamt 65 nicht korrigierte Positionen (ca. 1 Minute) in 5 Stunden und 45 Minuten auf, wobei alle Störungen im Einfluss der Stromleitungen beobachtet wurden. An Standort 2 wurden bei System A in Summe 189 Störungen beobachtet, wobei davon lediglich 14 im Bereich der Oberleitungen auftraten. Die nicht korrigierten Positionen lagen bei System A am Standort 2 also überwiegend außerhalb des vermuteten Einflussbereichs der Leitungen.

System B wies am Standort 1 eine Verfügbarkeit von 99,9% auf. Es traten lediglich vier nicht RTK-korrigierte Positionen auf (Abbildung 2). Diese Störungen wurden im Bereich des Erdkabels beobachtet.

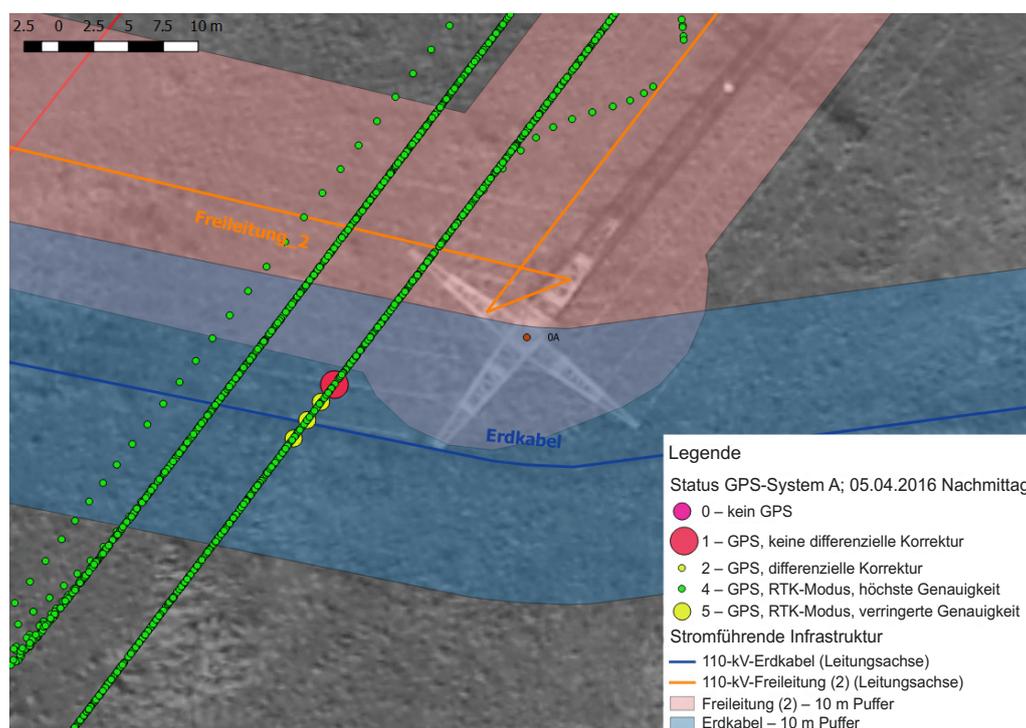


Abbildung 2: Ausfall des GPS-Signals im Bereich einer Freileitung/Erdleitung (Legende nach Status sortiert)

Diskussion

Die Auswertung von Messwerten, die an zwei Standorten mit drei unterschiedlichen Lenkssystemen sechsfach wiederholt erfasst wurden, legen nahe, dass ein negativer Einfluss stromführender Infrastruktur auf die Zuverlässigkeit von automatischen Lenkssystemen nicht nachgewiesen werden kann. Weder Freileitungen noch Erdkabel können gesichert mit Störungen der Lenkssysteme in Verbindung gebracht werden. Das konnte sowohl anhand des Signal-Rausch-Verhältnisses, des PDOP und des GPS-Status gezeigt werden. In einigen Fällen sind gehäuft Störungen im Bereich der Leitungen aufgetreten. Gleichzeitig wurden jedoch ebenfalls Störungen der Lenkssysteme außerhalb der vermuteten Einflusszone der Leitungen beobachtet.

Die Beobachtungen beim dynamischen Einsatz von GNSS-Sensoren als Teil von automatischen Lenkssystemen wurden durch statische Untersuchungen inner- und außerhalb des Einflussbereichs einer Oberleitung unterstützt. Hier konnte in keinem Fall ein Zusammenhang zwischen der Wirkleistung im Kabel und der Standardabweichung der Laufzeitmessung nachgewiesen werden. Es ist vielmehr so, dass die Standardabweichung außerhalb des Einflussbereichs – vermutlich bedingt durch Systemunterschiede der Empfänger – größer war.

Die mit dem Lenkssystem C am Standort 1 erfassten Messwerte legen nahe, dass bei diesem System ein technischer Defekt oder ein Einstellungsfehler vorlag. Die Systeme A und B funktionierten an diesem Standort jedoch nahezu einwandfrei. Dies zeigt, dass Fehlbedienungen oder Defekte unter praktischen Bedingungen deutlich häufiger zu Systemausfällen führen als die Einwirkung von Stromleitungen.

Es wurden deutliche Unterschiede hinsichtlich der Zuverlässigkeit der Positionsbestimmung zwischen den Lenksystemen beobachtet. Dies deutet darauf hin, dass die Güte der Antennen und der Signalverarbeitung sowie die Güte der Installation des Systems einen größeren Einfluss auf Zuverlässigkeit haben als die Entfernung zu Stromleitungen.

An beiden Standorten waren die Stromleitungen während der Messfahrten nie voll belastet. Die Zeitpunkte höchster Netzlast lagen außerhalb der Messzeiträume. Zudem lagen Daten zur Wirkleistung der Leitungen nur in Form von Mittelwerten aus fünfzehnminütigen Messintervallen vor. Aussagen über Leistungsspitzen und deren Einfluss können deshalb nicht getroffen werden. Weiterhin schränkt der begrenzte Betrachtungszeitraum die Aussagen ein. Die Schwankung von Umwelteinflüssen (Temperatur, Luftfeuchte) und die Variabilität atmosphärischer Effekte können bei einer Messung über vier Tage nicht ausreichend abgedeckt werden.

Schlussfolgerungen

Durch die Messungen unter Einfluss von Freileitungen und Erdkabeln sollte untersucht werden, ob Teile der stromführenden Infrastruktur negative Auswirkungen auf automatische Lenksysteme haben.

Die Untersuchungen mit drei Schleppern an zwei Standorten an je zwei Tagen mit jeweils drei Messfahrten je System ergaben, dass kein Zusammenhang zwischen Störungen und Freileitungen oder Erdkabeln nachweisbar ist. Besonders wichtig ist der korrekte Einbau und die ordnungsgemäße Konfiguration der Lenksysteme. Während System A und B während der Messfahrten fast problemlos funktionierten, traten bei System C unter ansonsten gleichen Bedingungen unabhängig von der Entfernung zu den Stromleitungen gravierende Probleme (Ausfall des Korrektursignals) auf.

Für zukünftige Messungen empfiehlt sich eine enge Absprache mit der Netzführung des Energieversorgers. Einerseits können so die Intervalle hoher Netzlast identifiziert und Messreihen entsprechend geplant werden. Andererseits müssen die Werte zur Wirkleistung der Leitungen deutlich feiner aufgelöst werden, um einen sinnvollen Zusammenhang zu den Beobachtungen an den Systemen herstellen zu können. Es erscheint zudem sinnvoll, den zeitlichen Abstand zwischen den Messungen an einem Standort weiter zu strecken, sodass die volle Variation von Umweltbedingungen und atmosphärischen Effekten betrachtet werden kann.

Literatur

- Bakker, P. F. de (2007): Effects of Radio Frequency Interference on GNSS Receiver Out-put. Master Thesis, Delft University of Technology, Faculty of Aerospace Engineering
- Bancroft, J.; Morrison, A. (2011): Effects of Transmission Lines on Global Positioning Systems. Department of Geomatics Engineering, University of Calgary, Winnipeg
- Bancroft, J. B.; Morrison, A.; Lachapelle, G. (2012): Validation of GNSS under 500,000 V Direct Current (DC) transmission lines. *Computers and Electronics in Agriculture* 83, pp. 58-67, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.01.013>
- Pollock and Wright (2011): Manitoba Hydro DC-Line GNSS Survey Report: Effects of Transmission Lines on Global Positioning Systems. https://www.hydro.mb.ca/projects/bipoleIII/pdfs/eis/BPIII_GPS_Reports_November_2011.pdf, Zugriff am 05.03.2018
- Silva, J. M.; Olsen, J. M. (2002): Use of Global Positioning System (GPS) Receivers Under Power-Line Conductors. *IEEE Transactions on Power Delivery* 17(4), pp. 938-944

Autoren

Prof. Dr. agr. Patrick Ole Noack ist an der Fakultät Landwirtschaft der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf für das Lehrgebiet Agrarsystemtechnik zuständig. Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Markgrafenstr. 16, 91746 Weidenbach, E-Mail: patrick.noack@hswt.de.

B. Eng. David Eder ist Mitarbeiter an der Fakultät Landwirtschaft der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf. Er hat die Datenerhebung und -auswertung vor seiner Tätigkeit als Mitarbeiter der Hochschule freiberuflich koordiniert.

Norbert Bleisteiner war als Leiter der Landmaschinenschule Triesdorf Ideengeber für das Projekt.

Danksagungen

Die Autoren danken der Bayernwerk AG für die finanzielle Unterstützung des Projekts und die Bereitstellung von Daten und Informationen.