

Verfügbare DGPS-Referenzdienste in Bayern

-Untersuchungen im stationären Einsatz-

1. Problem und Zielsetzung

Die Vorteile der Satellitenortung GPS in der Landwirtschaft sind unbestritten. Ihr vielseitiger Nutzen kann jedoch nur erreicht und sichergestellt werden, wenn flächendeckend Referenzdienste eine Genauigkeit von ± 1 m gewährleisten (Tab. 1).

Tabelle 1: Genauigkeitsanforderungen für den GPS-Einsatz in der Landwirtschaft

erforderliche Genauigkeit	Aufgabe	Anwendungsbeispiele
± 10 m	Navigation	- Zielsuche von Schlägen (überbetr. Maschineneinsatz) - Zielsuche von Lagerplätzen (Forst)
± 1 m	Arbeitserledigung Information Dokumentation	- Arbeit im Feld mit <ul style="list-style-type: none">▪ Ertragsermittlung▪ Düngung▪ Pflanzenschutz▪ Bodenbeprobung▪ Schutzgebiete - automatisierte Datenerfassung
± 10 cm	Fahrzeugführung (Fahrerentlastung)	- Anschlußfahren bei großen Arbeitsbreiten - Mähdrusch
± 1 cm	Geräteführung	- <i>mechanische Unkrautbekämpfung</i>

Erstmals stehen nun mehrere Referenzsignale zur Verfügung. Eine Analyse im stationären Einsatz soll deren Leistungsfähigkeit im Hinblick auf erreichbare Empfangsqualitäten und auf das damit erzielbare Datenalter (theoretisch vorgegebene Genauigkeit) aufzeigen.

2. Untersuchungsmethodik

Die Korrektursignale der verfügbaren Referenzdienste im Raum München sollten über 24 Stunden parallel aufgezeichnet werden. Es handelte sich dabei um

- *DCI (Differential Corrections Inc) über UKW - Bayern 5*
- *LW/Telekom über Mainflingen bei Frankfurt*
- *RASANT über UKW - Bayern 3.*

Folgende Versuchsanordnung wurde aufgebaut:

2.1 DCI

Der Empfang erfolgte über

- UKW-Stabantenne (2,42 mV), Standort erstes OG, Fensterbank innen, Richtung Ost
- DCI-Decoder mit RS 232, 9600 Baud
- PC mit RTCMON-Software und Datenaufzeichnung auf Festplatte

2.2 LW/Telekom

Für diesen Test wurde ein Testempfänger der IfaG Potsdam (Herrn Dr. Dittrich) und der Telekom (Herrn Dipl.-Ing. Andreß, Dresden) eingesetzt. Die Installation erfolgte unter Einweisung von Herrn Dipl.-Ing. Andreß. Sie bestand aus:

- Testempfänger mit Ferrit-Richtantenne inkl. Decoder, RS 232 mit 9600 Baud, Standort erstes OG, Fensterbank innen
- PC mit RTCMON-Software und Datenaufzeichnung auf Festplatte

2.3 RASANT

Für diese Untersuchung wurde folgender Versuchsaufbau eingesetzt:

- UKW-Stabantenne (5,21 mV), Standort 1 Stock, Dachkerker außen, Ausrichtung 50° zur Horizontalen Richtung West
- PC + GEWI-RDS-Decoder + RDS-Software unter Windows 3.1

- serielle Anbindung über RS 232 mit 9600 Baud
- PC + RTCMON-Software, Datenaufzeichnung auf Festplatte

Im Gegensatz zu den beiden vorgenannten Referenzdiensten erfolgte die Aufzeichnung der RASANT-Signale über drei Tage vom 18. bis 21.10.1995. Aufgrund der vielen Datenlücken wurde jedoch für die Auswertung lediglich der letzte Tag vom 21. zum 22.10.1995 herausgegriffen.

3. Ergebnisse

Die Aufzeichnungen erfolgten im RTCM-Format V2.0. Darin enthält die erste Datenzeile Angaben zum Gesamtkorrekturdatensatz. Die Folgezeilen beschreiben die Korrekturwerte für jeden einzelnen sichtbaren Satelliten (Abb. 1).

Message Type	Station	Version	Sequence	Zeitreihe [s]	Health	Unit-Count	
Msg 1	Stn 1	Ver 2	Seq 2	Zcnt	310.80	HIth 0	UnitCnt 6
prn 28	udre 4	prc	-7.04	rrc	-0.4480	iode 229	
prn 25	udre 4	prc	-39.04	rrc	-0.2880	iode 186	
prn 23	udre 4	prc	-17.60	rrc	-0.5440	iode 121	
prn 6	udre 4	prc	-4.16	rrc	-0.5760	iode 210	
prn 22	udre 4	prc	-0.96	rrc	-0.3840	iode 171	
prn 20	udre 4	prc	-23.36	rrc	-0.7680	iode 65	

PRN-Nummer	User differential range error	Pseudorange correction [m]	Range-Rate correction [m/s]	Issue of data ephemerides
------------	-------------------------------	----------------------------	-----------------------------	---------------------------

Abbildung 1: Auszug aus einem RTCMON-Protokoll

Für die Analysen wurden nur die ersten Zeilen der Datensätze herangezogen. Sie erfolgten in mehreren aufeinander folgenden Schritten.

3.1 Errechnung der Differenzzeiten

Mit einem eigenen FORTRAN-Programm wurden aus dem Zeitcounter und den Sequenznummern die Differenzzeiten zwischen den einzelnen Signalen bestimmt und dazwischen fehlende Sequenzen errechnet. Als Ausgabedatei erstellte das Programm Datensätze mit der Sequenznummer, dem Alter des Signals, dem Gesundheitscode, der Anzahl der getrackten Satelliten und der Anzahl fehlender Sequenzen. Zusammenfassend ergab eine erste Analyse die Ergebnisse nach Tabelle 2.

Tabelle 2: Analyse verfügbarer Referenzsignale für DGPS (stationäre Aufzeichnung)

Dienst	DCI	LW	RASANT
Anbieter	Differential Corrections Inc	Telecom - IfaG	AdV
Ausstrahlung	UKW - B5	Sender Mainflingen	UKW - B3
Frequenz	90,0 MHz	123,7 KHz	98,5 MHz
Aufzeichnung	18.10., 17.45-19.10.95, 15.52	18.10., 13.55-19.10., 9.55	21.10., 8.50-22.10., 8.50
Dauer	22 h	20 h	24 h
Gesamtsignale nach RDS-Seq. Nr.	39 921	7435	6371
empfangene Signale (alle)	abs rel	6780 91,90	4925 77,30
empfangene Signale (> 3 Satelliten)	abs rel	6713 90,29	3380 53,05
mittleres Alter [s] der Signale (> 3 Sat)	2,03	3,27	20,35
Standardabweichung [s]	0,67	0,86	10,58
Spannweite [s]	0,6 - 106,2	3,0 - 9,0	3,0 - 151,8

3.2 Verfügbare Satelliten

Danach wurden die erzeugten Datensätze einer Mittelwertanalyse nach den verfügbaren (sichtbaren) Satelliten unterzogen (Tab. 3).

Tabelle 3: Analyse verfügbarer Satelliten in den untersuchten Referenzdiensten (stationäre Aufzeichnung)

Verfügbare Satelliten in den Korrekturdaten	Anzahl, rel. Anteil* und mittleres Alter [s] der Korrekturdaten								
	DCI			LW			RASANT		
	Anzahl	%	\bar{x}	Anzahl	%	\bar{x}	Anzahl	%	\bar{x}
4 Satelliten und mehr	39067	97,9	2,03	6713	90,3	3,27	3380	53,1	20,35
5 Satelliten und mehr	38992	97,7	2,03	6670	89,7	3,27	3205	50,3	19,73
6 Satelliten und mehr	38542	96,5	2,03	5994	80,6	3,28	2935	46,1	19,71
7 Satelliten und mehr	33445	83,8	2,03	3934	52,9	3,28	1324	20,8	21,34
8 Satelliten und mehr	21164	53,0	2,03	1728	23,2	3,28	326	5,1	22,65
9 Satelliten und mehr	4 911	12,3	2,04	237	3,2	3,32	15	0,2	26,04
* rel. Anteil an den ausgestrahlten Korrekturdatensätzen nach Sequenznummer									

3.3 Häufigkeitsanalysen

Für die drei untersuchten Referenzdienste wurden danach Häufigkeitsanalysen erstellt.

Mit der Analyse nach den empfangenen Sequenznummern der Korrektursignale (Abb. 2) sollten systematische Fehler beim Sender und/oder beim Empfänger aufgezeigt werden. Gleiche relative Anteile von 12,5 % entsprechen einer Gleichverteilung.

Im zweiten Schritt wurden die sichtbaren Satelliten bei der Referenzstation analysiert (Abb. 3). Deren Verteilung gibt Auskunft über die Korrekturmöglichkeiten beim Empfänger.

Im dritten Analyseschritt sollten die fehlenden Korrektursequenzen aufgezeigt werden (Abb. 4). Fehlen häufig mehrere aufeinanderfolgende Sequenzen, dann sind beim Empfänger größere Fehler bei der Positionsbestimmung zu erwarten. Navigatorische Aufgaben werden dadurch stark beeinflusst oder sogar unmöglich gemacht.

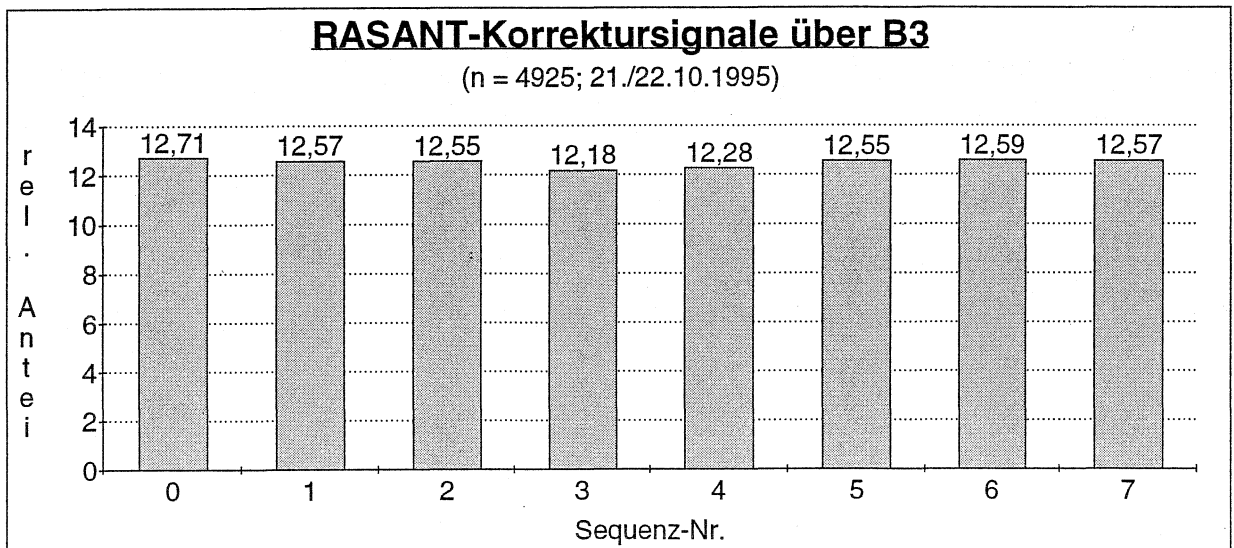
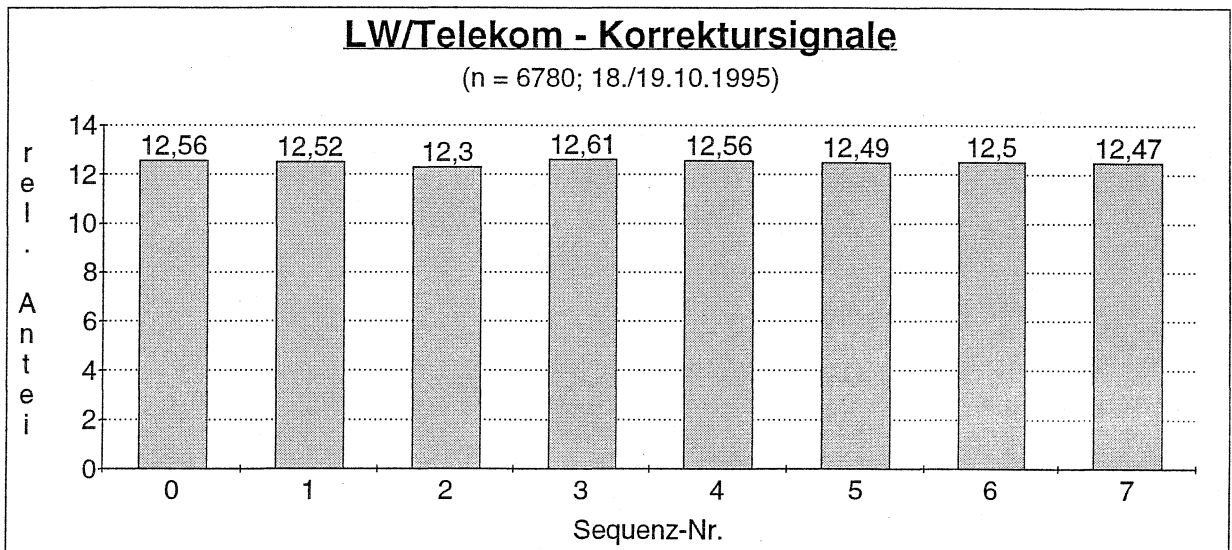
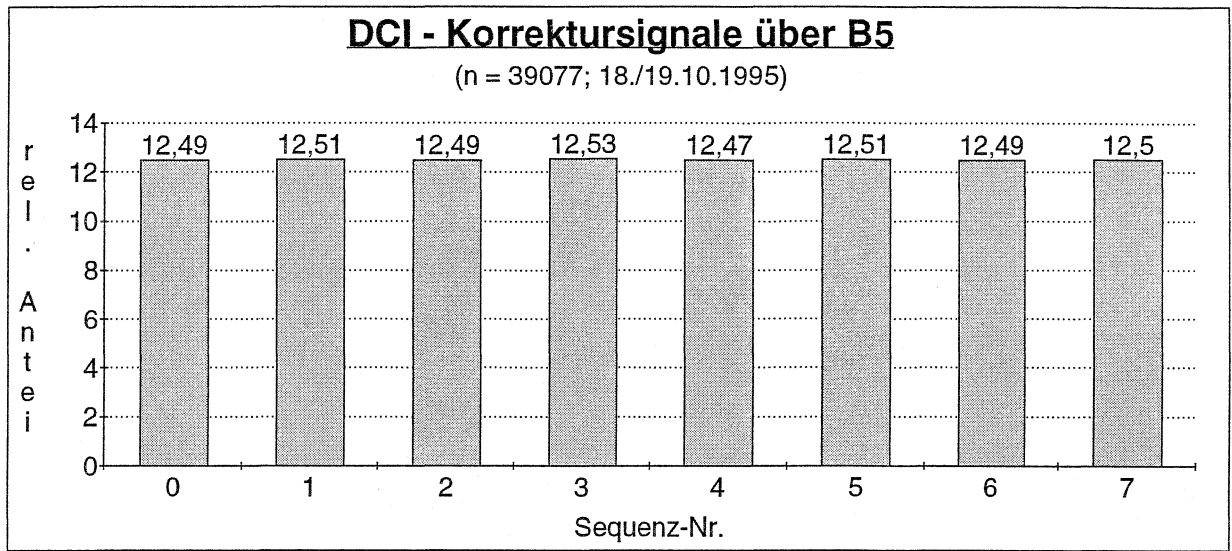


Abbildung 2: Relative Anteile der Korrektursequenzen bei den untersuchten Referenzdiensten (stationäre Aufzeichnung)

3.4 Vergleichende Gegenüberstellung

Schließlich wurden in einer vergleichenden Gegenüberstellung die Referenzdienste mit ihren relativen Anteilen beim Signalalter bis 25 Sek. in einem Histogramm eingeordnet (Abb. 5).

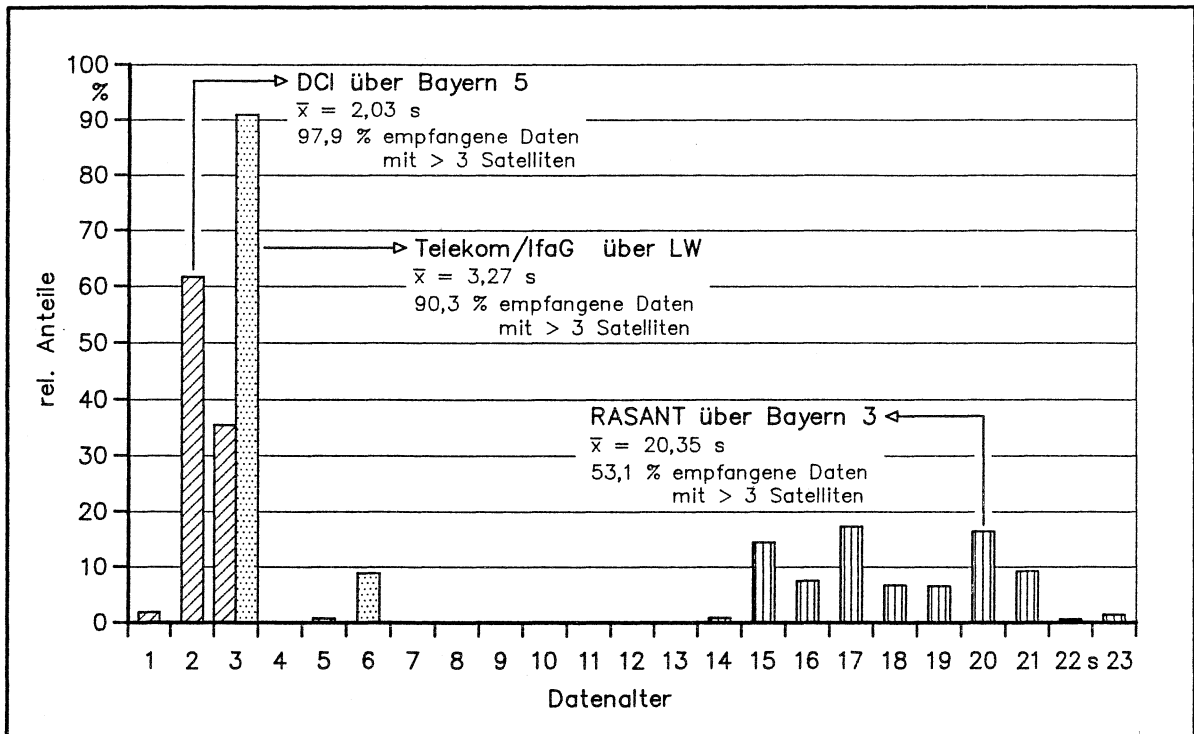


Abbildung 5: Datenalter bei den verfügbaren Referenzdiensten (stationäre Aufnahme)

4. Diskussion und Einordnung der Ergebnisse

Die Analysen erbrachten ohne die erreichbare Genauigkeit explizit zu analysieren eine Vielzahl aussagefähiger Ergebnisse:

4.1 Empfangsgüte der Korrekturdaten

Allen voran ist die unterschiedliche Empfangsgüte zu nennen. Wird dabei der Grenzwert auf mindestens vier Satelliten in den Korrekturdaten gelegt, dann erzielt DCI mit 98,6% empfangener Signale die höchste Güte. Für den praktischen Einsatz erfüllt dieser Dienst demnach die im DSNP definierten Anforderungen.

Ihm folgt mit etwa 90% bei gleicher Anforderung an die Empfangsgüte der Referenzdienst der Telekom über LW. Für eine Nutzung im praktischen Einsatz ist diese Empfangsgüte nur bedingt ausreichend.

Unbefriedigend für die Nutzung in der Landwirtschaft ist die ermittelte Empfangsgüte beim System RASANT. Lediglich 53% aller empfangenen Signale ermöglichen eine Korrektur mit Daten für mehr als drei verfügbare Satelliten je Datensequenz.

4.2 Verteilung der Korrekturdatensätze nach Sequenznummern

Bei den empfangenen Sequenznummern der verfügbaren Referenzdienste kann lediglich bei DCI von einer Gleichverteilung ausgegangen werden.

Bei LW/Telekom fehlen vor allem die Sequenznummern 2.

Bei RASANT fehlen dagegen überwiegend die Sequenznummern 3 und 4.

Sowohl für LW/Telekom, wie auch für RASANT scheinen demnach systematische Probleme bei der Generierung der Datensätze oder bei der Übertragung vorzuliegen. In beiden Diensten muß deshalb dieses Problem beseitigt werden.

4.3 Sichtbare Satelliten

Sehr stark unterscheiden sich die Referenzdienste bei der Zahl der sichtbaren Satelliten.

Wiederum wird bei DCI die beste Datenqualität erreicht. Mehr als 50% der empfangenen Korrekturdatensätze enthalten Korrekturdaten für 8 und mehr verfügbare Satelliten.

Bei LW/Telekom ist überraschend eine annähernde Normalverteilung zu erkennen. Am häufigsten enthalten die Datensequenzen Korrekturdaten für 6 Satelliten, gefolgt von 5 und 7 Satelliten. Wird dabei bedacht, daß bei diesem Referenzdienst ein Abstand zur Korrekturstation von etwa 350 km zum Untersuchungsort Freising vorliegt, dann läßt sich unschwer prognostizieren, daß in vielen Fällen eine Fehlerkorrektur vor Ort aufgrund abweichender Satellitenkonstellation nicht mehr möglich sein wird.

Schließlich ist bei RASANT eine Verteilung nach zwei Gruppen zu erkennen. Sieben und mehr Satelliten sind insgesamt in etwa 60% aller empfangenen Datensequenzen enthalten. Auf der anderen Seite werden aber auch etwa 28% an Datensequenzen empfangen, welche für Korrekturen aufgrund zu geringer Satellitenzahl unbrauchbar sind.

4.4 Aufeinander folgende fehlende Datensequenzen

Mit den aufeinander folgenden fehlenden Datensequenzen wird schließlich ein weiteres wichtiges Kriterium aufgezeigt. Auch dabei sind bei den drei Referenzdiensten voneinander abweichende Ergebnisse festzustellen:

Bei DCI fällt - wenn überhaupt - in der Regel nur eine Korrekturdatensequenz aus. Nur in 2% der fehlenden Sequenzen sind zwei aufeinander folgende Datensequenzen vom Ausfall betroffen.

Bei LW/Telekom verändern sich die Anteile deutlich. Nurmehr bei 90% der Ausfälle fehlt lediglich eine Korrekturdatensequenz. Mit 10% der Ausfälle von zwei aufeinander folgenden Datensequenzen treten deutliche Datenlücken auf.

Noch ungünstiger ist das Verhältnis bei RASANT. Korrekturdatenlücken sind nur noch in 80% durch eine fehlende Datensequenz gekennzeichnet. In mehr als 12% fehlen zwei aufeinander folgende Sequenzen. Darüber hinaus sind vereinzelt auch Korrekturdatenlücken mit bis zu acht aufeinander folgenden fehlenden Datensequenzen zu beobachten.

4.5 Signalalter

Letztlich entscheidet aber das Signalalter über die erreichbare Ortungsgüte. Nach RTCM SC-104, 1994, kann von folgenden Zusammenhängen ausgegangen werden (Abb. 6).

Danach müssen die Update-Raten für Korrektursignale in der Landwirtschaft zur Erreichung der geforderten Genauigkeit von ± 1 m im "worst case" unter 6 sek liegen. Diese Forderungen erfüllen aufgrund der ermittelten Ergebnisse derzeit nur die Referenzdienste von DCI und LW/Telekom.

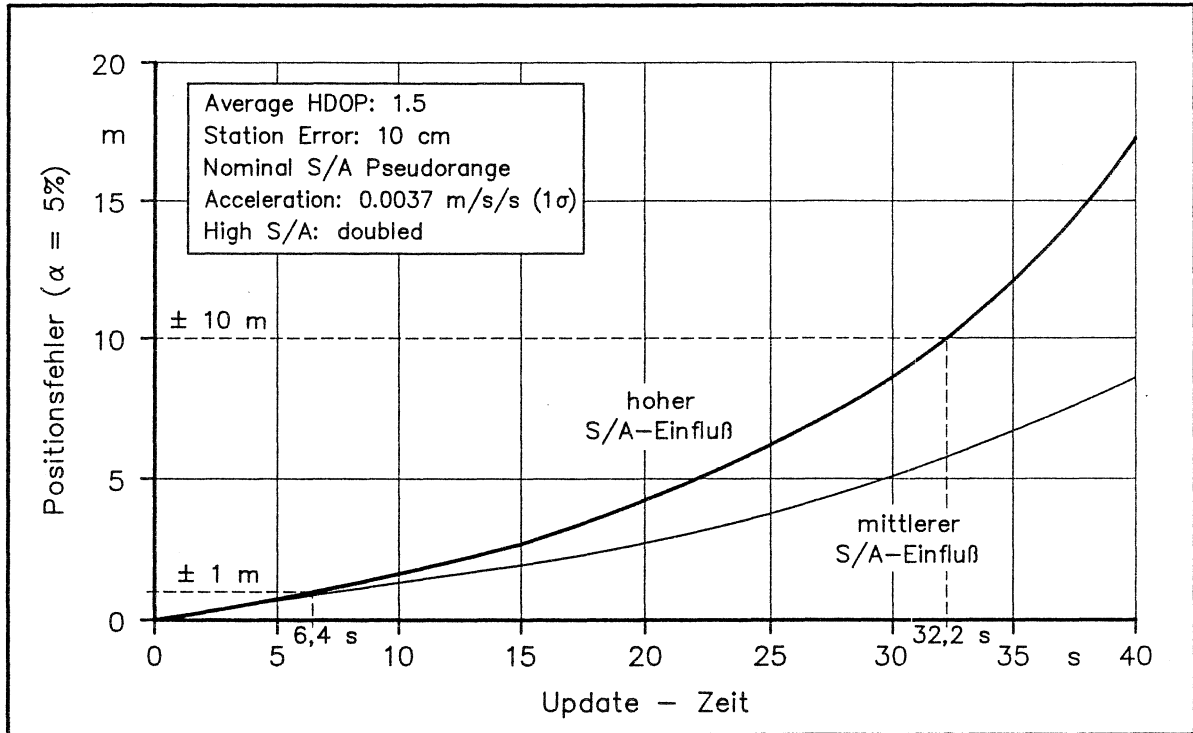


Abbildung 6: Zeitliche Änderung des Positionsfehlers durch den Einfluß von SA bei mittlerer und hoher Signalverschlechterung (nach RTCM SC-104, 1994).

Allerdings ist zu beachten, daß neben dem Datenalter auch das Fehlen von Korrekturdatensätzen und die Anzahl der verfügbaren Satelliten in den Korrekturdaten ein zusätzliches Entscheidungskriterium sind:

Alle diese Kriterien erfüllt nur DCI mit einem mittleren Datenalter von 2,03 sek und einer sehr hohen Empfangsqualität von annähernd 98%. Zugleich enthalten alle Korrekturdaten eine große Zahl verfügbarer Satelliten und ermöglichen damit beim Empfänger eine Optimierung im Hinblick auf mögliche Genauigkeiten nach den DOP-Werten.

Nahezu konstant werden die Update-Zyklen von LW/Telekom mit 3 sek in 90% aller Fälle und 6 sek in den restlichen 10% erfüllt. Mit etwa 90% empfangener Daten ist jedoch die Qualität schon bedenklich, wenn zusätzlich der große Abstand zwischen stationärem Empfang und Referenzstation in die Überlegungen einbezogen wird. Aufgrund der deutlich geringeren Anzahl verfügbarer Satelliten in den Korrekturdaten ist zu erwarten, daß mit diesem Korrekturdienst derzeit nur die Anforderungen aus der Ortung zum Zwecke der Informationsgewinnung und der Dokumentation abgedeckt werden können. Dies gilt jedoch nur unter der Annahme, daß ähnliche Empfangsqualitäten auch im mobilen Einsatz erreichbar sind.

Mit einem mittleren Datenalter von 20,35 sek bei RASANT und nur etwa 53% empfangener Daten kann dieser Referenzdienst die Anforderungen der Landwirtschaft nicht erfüllen. Selbst wenn ein großer Anteil der Korrekturdaten mit dem geringstmöglichen Update-Abstand von 15 sek ausgesandt und empfangen werden könnte, ist damit nur eine Genauigkeit zwischen ± 3 und ± 4 m zu erreichen. Auch für diesen Dienst gilt die Einschränkung, daß evtl. zusätzliche Störungen im mobilen Empfang zu einer weiteren Verschlechterung der Ergebnisse führen können.

5. Zusammenfassung

Mit der Satellitenortung GPS steht ein neues, universelles Ortungs- und Navigationssystem zur Verfügung. Die erforderliche Genauigkeit für landwirtschaftliche Einsätze von ± 1 m kann jedoch nur durch den Einsatz von Korrekturdaten im "Differenziellen GPS (DGPS)" erreicht werden.

Die Erzeugung von Korrekturdaten mit eigenen Korrekturstationen ist teuer und erfordert einen zusätzlichen Zeitaufwand für den Betrieb dieser Station. Mit freien Frequenzen (bis 0,5 W) ist die Reichweite der Funkübertragung sehr stark eingeschränkt. Aus diesem Grunde wird schon seit längerer Zeit die flächendeckende Versorgung mit Korrektursignalen durch spezielle Referenzdienste gefordert.

Derzeit werden vom Bayerischen Rundfunk zwei Korrektursignale im Testbetrieb ausgestrahlt. Ein drittes Korrektursignal strahlt die Telekom über den Langwellensender in Mainflingen bei Frankfurt aus. Alle drei Korrekturdienste sollten stationär über 24 Stunden getestet werden.

Die besten Ergebnisse erzielte der Referenzdienst DCI (Differential Corrections Inc) über UKW B5. Die Updaterate der Korrektursignale liegt bei etwa 2 s. Mehr als 98 % der abgestrahlten Daten konnten empfangen werden. Im Durchschnitt enthielten mehr als 50 % der empfangenen Datensätze Korrekturdaten für 8 und mehr Satelliten.

Etwas ungünstiger sind die Ergebnisse des Referenzdienstes LW/Telekom. Über 24 h konnten nur etwa 90 % der ausgestrahlten Korrekturdatensätze empfangen werden. Deren Updaterate liegt bei etwa 3 s. Die empfangenen Datensätze enthalten deutlich weniger Korrekturdaten für sichtbare Satelliten.

Am ungünstigsten waren die Ergebnisse des Referenzdienstes RASANT über UKW

B3. Über 24 Stunden konnten nur etwa 53 % der ausgestrahlten Daten empfangen werden. Die mittlere Updaterate betrug bei diesem Dienst etwa 20 s. Allerdings enthielten bei diesem Dienst etwa 60 % der empfangenen Daten Korrekturwerte für 7 und mehr Satelliten.

Aufgrund dieser Ergebnisse kann theoretisch nur DCI bei hoher Verfügbarkeit eine erreichbare Genauigkeit von ± 1 m erreichen. Bei LW/Telekom reicht die Datenqualität theoretisch für eine Genauigkeit von ± 2 m, wobei jedoch Datenlücken in Kauf genommen werden müssen.

Unbefriedigend für die landwirtschaftliche Nutzung sind die Daten von RASANT. Sie würden eine Genauigkeit zwischen 3 und 4 m erreichen, wobei derzeit jedoch in nahezu 50 % der Fälle eine Korrektur nicht möglich ist.

Abschließend sei nochmals darauf hingewiesen, daß die ermittelten Ergebnisse aus dem Testbetrieb stammen. Sie sind deshalb mit den Datenqualitäten nach Abschluß der Testphase ebenso wenig vergleichbar wie mit ähnlich gelagerten Untersuchungen im mobilen Einsatz.

6. Literatur

- [1] AUERNHAMMER, H. and T. MUHR: GPS in a Basic Rule for Environment Protection in Agriculture. Proceeding of the 1991 Symposium "Automated Agriculture in the 21st Century", St. Joseph (USA) 1991, pp. 494 - 402
- [2] AUERNHAMMER, H., T. MUHR and M. DEMMEL: GPS and DGPS as a Challenge for Environment Friendly Agriculture. 3rd International Conference on Land Vehicle Navigation, 14 - 16 June 1994, Dresden, Düsseldorf 1994, ppa. 81 - 91
- [3] DCI: RTCMON -- RTCM Data Monitor. Differential Corrections Inc., Cubertino 1994, V3.3B
- [4] DSNP: Deutscher Satelliten Navigations Plan. Bundesministerium für Verkehr, Bonn 1994 (im Druck)
- [5] MUHR, T., H. AUERNHAMMER, M. DEMMEL und K. WILD: Inventory of Fields and Soils with DGPS and GIS for Precision Farming. ASAE St. Josef 1994, Paper No. 94 1583
- [6] GEWI: PC-RDS-Decoder. GEWI GmbH, Staßfurt 1994, V2.0
- [7] RTCM: RTCM Recommended Standard for Differential Navstar GPS Service. Technical Report Version 2.1, Radio Technical Commission for Maritime Services, Washington 1994

- [8] TRIMBLE NAVIGATION: RTCM_MON -- RTCM Packet Data Recorder. Trimble Navigation, Sunnyvale 1993, V0.2; geändert und ergänzt durch geo-konzept GmbH, Adelschlag 1995

Danksagung:

Wir danken der Telekom Dresden und der IfaG Potsdam für die kostenlose Überlassung des Langwellenempfängers mit Dekoder und die Einweisung in die Benutzung.

Die Forschungsaktivitäten des FAM werden durch das Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF 0339370) unterstützt. Die Pacht- und Betriebskosten des FAM-Vesuchsgutes Scheyern trägt das Bayerische Staatsministerium für Unterricht und Kultus, Wissenschaft und Kunst.