

geo-konzept

GPS-Empfänger Vergleich

Genauigkeit der statischen und dynamischen Positionierung

DLG-Prüfbericht 5148 F



Anmelder

geo-konzept
Gut Wittenfeld
D-85111 Adelschlag
Telefon: 0 84 24/89 89-0
Fax: 0 84 24/89 89-80

Vorbemerkungen

Nach Vorgesprächen im Januar 2002 erteilte die Firma geo-konzept mit Sitz in Adelschlag am 5. Mai 2002 der DLG-Prüfstelle für Landmaschinen in Potsdam-Bornim den Auftrag über einen FokusTest zur Genauigkeit der Positionierung mit den folgenden GPS-Empfängern:

Trimble, AgGPS114, DGPS Omnistar

Trimble, AgGPS132, GPS standalone

Garmin, GPS Maus, GPS standalone

Leica Geosystems, GS50,
DGPS Landstar

geo-konzept, geo-kombi 12B plus, DGPS
Langwelle ALF/UKW Rasant

OmniSTAR Europe BV, OmniSTAR HP,
Zweifrequenz Korrekturdienst

Vergleichend sollen bei den GPS-Empfängern sowohl die statische als auch die dynamische Genauigkeit der Positionierung geprüft werden. Mittels der Messergebnisse werden die Empfänger in verschiedene Anwendungsgruppen eingeteilt.

Die GPS-Empfänger mit unterschiedlicher Ausstattung hinsichtlich GPS-System, Korrekturdienst, Qualitäts- und Preisklasse wurden am 27. Mai 2002 in der DLG-Prüfstelle Groß-Umstadt angeliefert. Die Messungen fanden vom 29. Mai bis 12. Juli 2002 in drei Wiederholungen auf der Fahrzeugprüfbahn (Rundlauf) der DLG-Prüfstelle in Groß-Umstadt statt.

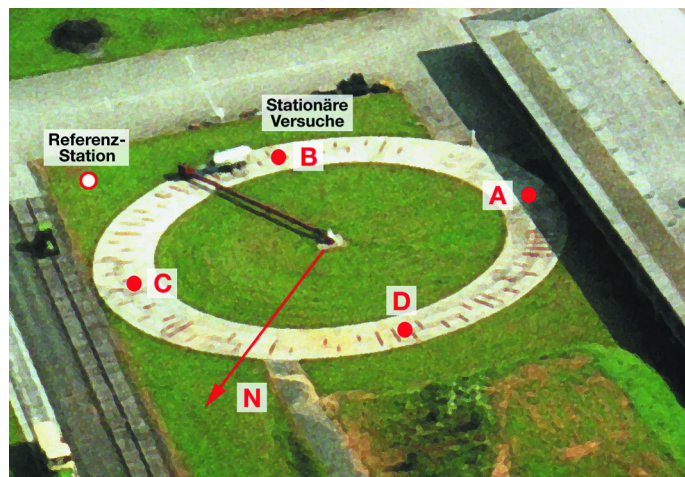


Bild 2:
Überblick
Versuchsgelände



Deutsche Landwirtschafts-
Gesellschaft e.V.
Prüfstelle für Landmaschinen

Kurzbeschreibung

Tabelle 1:

Technische Angaben der zum FokusTest angelieferten GPS-Empfänger

Hersteller	Garmin	geo-konzept	Leica Geosystems	OmniSTAR	Trimble	Trimble
Name (Bez. i. Bericht)	GPS Maus	geo-kombi	GS50	OmniSTAR HP	Ag 114	Ag 132
Empfänger-Bezeichnung	GPS35 HVS	geo-kombi 12B plus	GS50 / TR500	OmniSTAR HP 8200	AgGPS114	AgGPS132
GPS-System	GPS ohne Korrektur	DGPS	DGPS	Zweifrequenz GPS	DGPS	GPS ohne Korrektur
Korrekturdaten Anbieter	–	AdV / DeTex (ALF)	Landstar	OmniSTAR	OmniSTAR	–
Korrekturdienst/System	–	ALF, Langwelle Rasant, UKW	L-Band Satellit, VBS Service	Wide Area GPS Augment. System	L-Band Satellit, VBS Service	–
Anzahl Kanäle	12	12	12	12	12	12
Garantierte stat. Genauigkeit	15 m RMS	1 m	0,4 m	10 cm	≤ 1 m RMS	ca. 10 m
Serien Nummer	719 60 803	34	50945 / 18409	386982	0224 042 509	0224 022 444
Firmware Version	unbekannt (Aktuell 02)	3.2 / 1.1	4.00	2.3 HP	1.52	1.50

Der Zweifrequenz GPS-Empfänger Starfire SF2 der Firma John Deere wurde vom Test zurückgezogen, da er die von John Deere angestrebte Zuverlässigkeit und Genauigkeit unter den gegebenen Testbedin-

gungen (wiederholte Abschattung durch das Hallendach auf der Kreisbahn) nicht erfüllte. Dies lag vor allen daran, dass die Zeit zum Wiederfinden der zweiten Frequenz zu lange war.

Nach Aussagen von John Deere soll dieses Problem mittlerweile durch ein Software update gelöst worden sein.

Prüfbedingungen / Prüfungsablauf

Der FokusTest zu den Kriterien statische und dynamische Genauigkeit der Positionierung unter landwirtschaftlichen Einsatzbedingungen fand auf der Fahrzeugprüfbahn (Rundlauf – Bild 2) der DLG-Prüfstelle für Landmaschinen, Groß-Umstadt statt. Der dort eingesetzte Messwagen fährt automatisch eine Kreisbahn ab. Die Toleranz des Messaufbaus mit Referenzsystem liegt bei +/- 5 cm. Die Messwerte wurden in 10 cm Fehlerklassen eingeteilt.

Die Haupteinflussfaktoren auf die GPS-Position sind:

- Satellitenkonstellation und Geometrie
- Atmosphärische Bedingungen
- Einfluss von Störquellen
- Mehrwegeeffekte
- Qualität der Empfänger und Antennen
- Typ des GPS-Systems
- Korrektursignal
- Filter und Glättung der Daten

Messungen der Genauigkeit von GPS-Empfängern sind daher immer nur für den Ort und die Zeit der Messung gültig.

Um den Einfluss auf die Genauigkeit der Positionsangaben aller GPS-Empfängern vergleichbar zu

halten, wurden die Messungen mit allen Empfängern parallel durchgeführt.

Um die Aussagen verallgemeinern zu können wurden 3 Wiederholungen à 24 h Messzeit in Abständen von 2 – 4 Wochen für



Bild 3: Versuchsaufbau GPS-Empfänger

jeweils statische und dynamische Messungen an aufeinander folgenden Tagen durchgeführt.

Die GPS-Empfänger mit unterschiedlichen Ausstattungen wie Antennen, Korrektursignal, Empfänger-Typ und -Qualität wurden auf dem Messwagen des Rundlaufs montiert (Bild 3).

Das 4 m hohe Vordach der Testhalle im S-W (Bild 2) schattet die Satellitensignale teilweise ab. Dies entspricht in etwa der Situation bei einem dichten Baumbestand am Feldrand.

Für den stationären Versuch wurde der Messwagen auf dem Referenzpunkt „B“ positioniert (Bild 2). Während der dynamischen Versuche war der Messwagen konstant

mit ca. 8 km/h in Bewegung. Zur Berechnung seiner tatsächlichen Position dient ein Referenzsystem mit vier fixen Punkten A, B, C und D (Bild 2).

Der Rundlauf der DLG-Prüfstelle liegt bei 8°54.7'E und 49°52.5'N (geogr. L/B, ETRS89, HKVV).

Alle Daten wurden in geographischen Koordinaten (L/B), bezogen auf das WGS84 Ellipsoid gespeichert, und anschließend in metrische Daten X (Rechtswert) / Y (Hochwert) transformiert.

Die Abweichungen (Messwert – Referenzwert) wurden jeweils einzeln in X- und Y-Richtung berechnet und die 2 dimensionale = horizontale Abweichung daraus abgeleitet.

Ein Histogramm der Häufigkeiten der horizontalen Abweichung mit 10 cm Fehlerklassen wurde erstellt (Bilder 5, 6, 8 + 9).

In Analogie zu den gebräuchlichen statistischen Größen wurde die horizontale Positionsgenauigkeit, entsprechend der Fehlerklasse, mit 50 %, 68 %, 95 % und 98 % Wahrscheinlichkeit ermittelt. Die statistischen Größen wie „Standardabweichung“ (s oder „RMS“), „Fehlerkreisradius“ (CEP50/95) und „dRMS“ oder „Mittlerer Punktfehler“ gelten ausschließlich für Werte mit Normal- bzw. Rayleighverteilung.

Fehler und Genauigkeitsmaße

Per Definition ist die Genauigkeit ein Maß für die Korrektheit einer gemessenen Position im Vergleich zu:

- einer wahren Position (Absolute Genauigkeit) oder
- dem Mittelwert aller gemessenen Positionen (Relative Genauigkeit).

Die Genauigkeit kann außerdem

- in Ruhe (statisch) oder
- in Bewegung (dynamisch) ermittelt werden.

Für die Landwirtschaft ist besonders die dynamische Genauigkeit von Interesse.

Die dynamische Genauigkeit lässt sich nicht aus der statischen Genauigkeit ableiten (Vgl. Bild 4)!

Die Positionierung mittels GPS basiert auf statistischen Verfahren. Angaben zur Genauigkeit können daher nicht eindeutig (100%ig) beschrieben werden sondern ebenfalls als statistische Werte mit den dazugehörigen Wahrscheinlichkeiten. Dabei bedeutet, dass z. B. bei 68 % Wahrscheinlichkeit in 68 % (oder $\sim 2/3$) der Fälle die Abweichung der Positionsangabe kleiner oder gleich dem angegebenen Wert ist. In einem Drittel der Fälle kann die Abweichung aber darüber liegen.

Von den Herstellern wird häufig die horizontale, statische, relative

Genauigkeit als „Mittlerer Punktfehler“ oder „dRMS“ mit 63 % – 68 % Wahrscheinlichkeit angegeben. Es finden sich darüber hinaus allerdings sehr unterschiedliche Methoden zur Angabe der Genauigkeit. Die Genauigkeitsangaben verschiedener Hersteller sind nur vergleichbar, wenn die Methode zur Ermittlung der Angaben bekannt ist (Vgl. Tabellen 6 + 7).

Da die Genauigkeit der GPS-Positionierung eine Funktion mehrerer Parameter einschließlich Ort und Zeit ist, sind die numerischen Ergebnisse nur für Ort und Zeit der tatsächlichen Messung gültig.

Um für den landwirtschaftlichen Einsatz sinnvolle Aussagen zu wechselnden Einsatzorten treffen zu können wird daher zur Beurteilung der Empfänger ein System der **Klassifizierung** herangezogen (Tabelle 2).

In der Praxis kann es aufgrund der oben genannten Störeinflüsse zu **Ausreißern** kommen, die von den statistischen Größen nicht erfasst werden. Das sind einzelne Messwerte, die überdurchschnittlich große Abweichungen aufweisen. Der **mittlere oder durchschnittliche Fehler** ist ein Maß für einen **Versatz** (Off-Set) des Mittels aller Messwerte im Verhältnis zum Sollwert. Dieser Lageversatz beein-

trächtigt besonders das Wiederauffinden von bereits eingemessenen Punkten. Zusätzlich verursacht er z. B. den Versatz einer kompletten Vermessung der Feldgrenzen, dabei kann die berechnete Größe der Fläche durchaus korrekt sein, die Lage im Vergleich zu anderen Messungen bzw. Kartenmaterial aber falsch.

Der **„CrossTrack“-Fehler** ist die Abweichung quer zur gefahrenen Spur. Im Falle der Kreisbahn des Rundlaufes ist das die Abweichung des Kreisbahnradius. Der „CrossTrack“-Fehler dient zur Beurteilung von Lenksystemen, hier berechnet für 24 h.

Für das reine **Parallelfahren** wird oft auch ein so genannter **„Pass-to-Pass“-Fehler** für eine kurze Zeitspanne berechnet. Hierbei geht es darum, die Abweichungen zwischen zwei benachbarten Anschlussfahrten zu ermitteln, die Zeitintervalle schwanken je nach Schlaggröße (üblich ca. 15 min – 30 min). Dieser Wert ist nicht eindeutig definiert und wurde hier nicht berechnet. Als Faustregel gilt: Der „Pass-to-Pass“-Fehler ist bis zu 3-mal kleiner als der „CrossTrack“-Fehler.

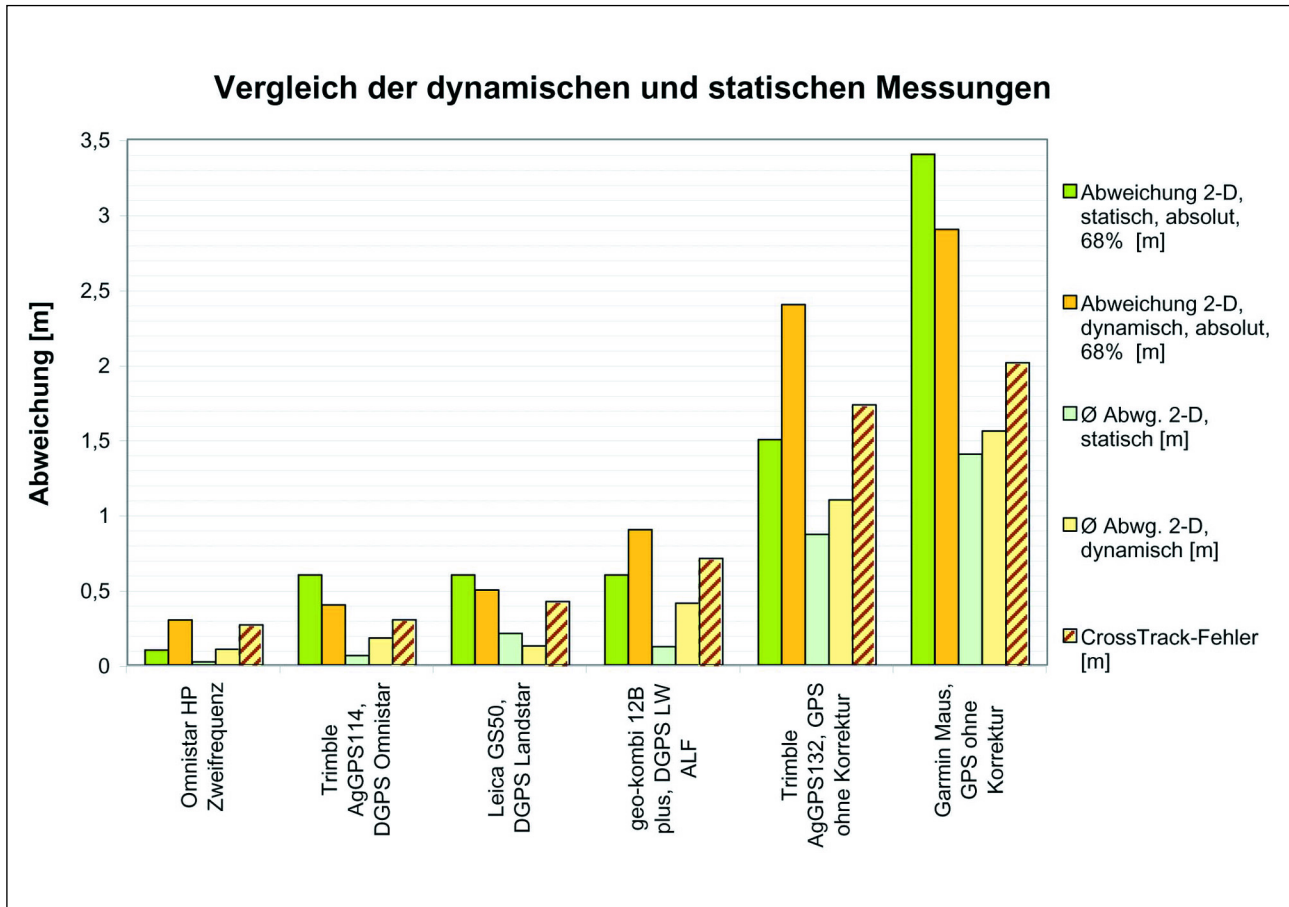


Bild 4: Messergebnisse im Vergleich: Horizontale (2-Dimensionale) Abweichung mit 68 % Wahrscheinlichkeit sowie der Mittlere (Durchschnittliche) Fehler sowohl statisch als auch dynamisch gemessen. Zusätzlich der dynamische „CrossTrack“-Fehler, das ist die Abweichung quer zur Fahrspur.

Die Herstellerspezifikationen zur statischen Genauigkeit (Horizontale Abweichung, „dRMS“ bei 68 % Wahrscheinlichkeit) werden von allen Empfängern unter den gegebenen Bedingungen erfüllt (Bild 4). Zuverlässigkeit, Positions- und Wiederholgenauigkeit der geprüften GPS-Empfänger sind unterschiedlich. Die GPS-Empfänger lassen sich klar in verschiedene Anwendungsgruppen unterteilen (Tabelle 3).

Die durchschnittliche Abweichung der GPS-Empfänger ohne Korrektur „Klasse 0“ liegt deutlich über denen der DGPS-Empfänger. Dies bedeutet, dass Messungen mit GPS ohne Korrektur (Geräte der „Klasse 0“), die an unterschiedlichen Tagen oder mit verschiedenen Geräten durchgeführt werden, u. U. einen

großen Versatz aufweisen. Sie sollten nicht für präzise Vermessungsaufgaben verwendet werden.

Bedingt durch interne Datenverarbeitung (Filtern, Glätten etc.) zeigen die verschiedenen Systeme statisch und dynamisch unterschiedliche Genauigkeiten.

Im Verhältnis zum statischen Versuch sind z. B. die dynamischen Werte der Garmin GPS Maus deutlich besser.

Beim OmniSTAR HP Zweifrequenz-Empfänger hingegen wirkt sich im dynamischen Einsatz die Abschattung und der dadurch bedingte teilweise Signalverlust mit einhergehenden (längeren) Re-Initialisierungsphasen negativ aus.

Die geprüften DGPS-Empfänger der „Klasse II“ mit horizontalen Abweichungen ≤ 1 m (68 % Wahrscheinlichkeit) sind für alle landwirtschaftlichen Arbeiten im Bereich teilflächenspezifischer Bewirtschaftung gut geeignet.

Die Abweichungen (horizontal, 68%) des Zweifrequenz-Empfängers Omnistar HP „Klasse III“ liegen im Dezimeter Bereich mit $\leq 0,3$ m dynamisch und $\leq 0,1$ m statisch (Tabelle 4 + 5), diese Ergebnisse sind für DGPS-Empfänger bisher unerreicht. Der Empfänger eignet sich besonders für Anwendungen mit hohen Genauigkeitsanforderungen in Vermessung und Automation (Tabelle 2).

Tabelle 2:

Klassifizierung der landwirtschaftlich genutzten GPS-Empfänger nach Empfängertyp und Einsatzmöglichkeiten

Klassifizierung	Klasse 0	Klasse I	Klasse II	Klasse III	Klasse IV
Garantierte Genauigkeit (stationär /relativ)	15 m	5 m	1 m	0,5 m	0,05 m
GPS-System	GPS	DGPS	DGPS (Fast update rate)	Zweifrequenz GPS	RTK GPS
Korrektursignal	Kein	funkgestützte Systeme (RDS, Mobil-, Küstenfunk)	Wie Kl. I und: L-Band Satellit	Wide area services for decimeter GPS	Eigene Referenz Station oder vgl. VRS Service
Einsatzgebiete	Logistik + Navigation, Feldbegehung, Bonituren, Probenahme	Wie Kl. 0 und: Ertragskartierung, Variable Gerätesteuerung, Flächenaufmaß	Wie Kl. I und: Feldgrenzenvermessung, Lenkhilfen	Wie Kl. II und: Vermessung, Autonome Fahrzeugsteuerung	Wie Kl. III und: Steuerung in Reihenkulturen, Einzelpflanzenpositionen
Signal Stabilität	Hoch	Mittel	Mittel	Gering	Gering
Signal Qualität	Gering	Gut	Gut	Gut / Sehr gut	Sehr gut
Preisklasse ab	200,- €	1.000,- €	2.500,- €	7.000,- €	30.000,- €

Die Qualität der Korrektursignale hängt allgemein von der Entfernung des Empfängers zur Referenzstation ab. Die Satelliten gestützten Dienste bieten eine „Virtuelle Referenzstation“, diese liefert Standort unabhängig hohe Genauigkeit.

Der geo-kombi wird mit funkgestützten Korrektursignalen auf Langwelle (ALF) oder UKW

(Rasant) betrieben. Die Empfangssituation dieser Dienste kann lokal sehr unterschiedlich sein.

Je genauer die angestrebte Positionierung der Empfänger ist, desto häufiger werden Werte von internen Filtern aufgrund unzureichender Genauigkeit ausgeschlossen.

Empfangsstabilität und Positionsgenauigkeit verhalten sich gegenläufig.

Deutlich wird jedoch auch, dass die Empfangsstabilität allein kein Qualitätskriterium ist. Die GPS-Empfänger ohne Korrektur zeigten kaum Signalverlust, verzeichnen aber die größten Positionierungsfehler.

Tabelle 3:

Messergebnisse zur Klassifizierung der geprüften GPS-Empfänger. Gemessene Genauigkeit ist die Horizontale Abweichung mit 68 % Wahrscheinlichkeit. Als gemessene Genauigkeit wird jeweils der maximale Wert angegeben (statisch oder dynamisch).

Messergebnisse	Klasse 0	Klasse II	Klasse III
Bewertung (Prüfzeichen)	Genauigkeit ≤ 15 m	Genauigkeit ≤ 1 m	Genauigkeit ≤ 0,5 m
Geprüfter Empfänger	Garmin GPS Maus	Trimble AgGPS114, OmniSTAR	OmniSTAR HP
gemessene Genauigkeit 68 %	3,5 m	0,6 m	0,3 m
Geprüfter Empfänger	Trimble AgGPS132	Leica GS50, Landstar	
gemessene Genauigkeit 68 %	2,5 m	0,6 m	
Geprüfter Empfänger		geo-kombi 12B plus, LW DGPS	
gemessene Genauigkeit 68 %		0,9 m	

Empfehlungen zur Auswahl eines Systems

Die verschiedenen Einsatzmöglichkeiten der Empfängertypen wurden in Tabelle 2 definiert. Daraus ergeben sich unterschiedliche Anforderungen an die Positionsgenauigkeiten. *Für eine Mehrfachnutzung der Systeme muss immer die höchste Genauigkeitsanforderung ausschlaggebend sein.*

Für den überwiegenden Teil der Anwendungen wird nach wie vor empfohlen, mit Differential-GPS-Systemen zu arbeiten (Tabelle 2). GPS Standalone Empfänger „Klasse 0“ bieten eine geringe Wiederholgenauigkeit bei \emptyset Abweichung von ca. 1,5 m (Vgl. Tabelle 4 + 5). Hierdurch eignen sie sich schlecht für die Feldvermessung, besonders wenn diese Angaben durch Dritte kontrolliert oder mit verschiedenen Geräten nachgenutzt werden.

Für die **Feldvermessung** zur mehrjährigen Nutzung mit Datenablage im GIS wird eine hohe absolute Genauigkeit gefordert, um georeferenzierte Daten von *unterschiedlichen GPS-Empfängern und unterschiedlichen Zeitpunkten in ein System* einpflegen und eindeutig

zuordnen zu können (z. B. Vermeidung von Überlappung, Verschneiden mit anderen Informationsebenen wie Topographische Karten o.ä.). Als Empfehlung sollte hierfür mindestens ein „Klasse I“ Empfänger oder höher genutzt werden, d. h. ein Empfänger mit Korrektursignal.

Für **Lenkhilfen** bedarf es einer hohen relativen Genauigkeit, d. h. hier speziell ein kleiner „CrossTrack-Fehler“, dazu ist mit heutigem Stand der Technik ein Korrektursignal unerlässlich. Abhängig vom Standort können unterschiedliche Korrekturdienste zum Einsatz kommen, Standort unabhängig sind die Satelliten gestützten Korrektursignale. Empfehlung hierzu ein „Klasse II“ Empfänger mit mindestens 5 Hz Position Update Rate.

Die Zweifrequenz- oder Dual-Frequency-Empfänger „Klasse III“ mit einer Genauigkeit im Dezimeterbereich ($< 0,5$ m) sind erst seit kurzem auf dem Markt. Die gemessenen Ergebnisse müssen die Empfänger in der Praxis noch bestätigen. Besonders die Zuverlässigkeit

und Empfangstabilität sowie kürzere, praxisgerechte, Initialisierungsphasen sind noch zu gewährleisten.

Der Aufbau einer autonomen Fahrzeugsteuerung ist auf Grundlage der Zweifrequenz-Empfängertechnik, durch Kopplung mit weiteren Sensoren, möglich.

Für die **höchsten Präzisionsanforderungen** z. B. für den Einsatz von mechanischen Hacken bei Reihenkulturen oder für Einzelpflanzenbonituren sollte ein RTK-GPS-System „Klasse IV“ zum Einsatz gebracht werden.

Der **Kosten-Nutzen-Aspekt** spielt bei der Auswahl der geeigneten Technik eine große Rolle. Die technischen Möglichkeiten der einzelnen Empfängertypen zu kennen ist für eine sinnvolle Entscheidung unerlässlich.

Die **Klassifizierung** in den Tabellen 2 und 3 bietet Hilfestellung zur Auswahl eines für den spezifischen Einsatz geeigneten Empfängers.

Messergebnisse im Detail

In Analogie zu den gebräuchlichen statistischen Größen (Vgl. Tabelle 6 und 7) wie:

- „CEP50“ Fehlerkreis (50 % Wahrscheinlichkeit) sowie
- „dRMS“ oder „Mittlerer Punktfehler“ (63 % bis 68 % Wahrscheinlichkeit) und
- „2dRMS“ oder „CEP95“ (95 % bis 98 % Wahrscheinlichkeit)

wurde die horizontale Positionsgenauigkeit der geprüften Empfänger mit 50 % / 68 % / 95 % / 98 % Wahrscheinlichkeit ermittelt.

Die Messwerte der horizontalen Abweichung d. h. der Radius des Fehlerkreises wurde für jeden Punkt individuell berechnet.

Anschließend wurde die Häufigkeit

der aufgetretenen horizontalen Abweichung in 10 cm Fehlerklassen berechnet und in ein Histogramm eingetragen.

Die horizontalen (2-dimensionalen) Abweichungen der Messwerte von der wahren Position sind nachfolgend für 4 Wahrscheinlichkeitsstufen für sowohl die statischen als auch die dynamischen Versuche dargestellt (Tabelle 4 + 5). Diese Werte wurden aus den Histogrammen (Bild 7 + 10) der jeweiligen Versuche abgelesen.

Es wird deutlich, dass die erreichbare Genauigkeit mit zunehmender Wahrscheinlichkeit nicht linear ansteigt. Das heißt, auch wenn ein Großteil der Werte korrekt angegeben werden sind es oft die letzten 5 %, die über die Qualität eines

Empfängers entscheiden. So zeigt z. B. die Garmin GPS Maus ohne Korrektursignal bei 68 % noch Abweichungen $\leq 3,4$ m, bei 95 % sind es schon nur noch $\leq 5,7$ m und bei 98 % liegen sie $\leq 6,7$ m. Für den Einsatz in der teilschlag-spezifischen Landbewirtschaftung sollte die 95 % Grenze ausschlaggebend sein, da eine hohe Zuverlässigkeit der Positionierung erwartet wird.

Beim Leica GS50 kann über das Menü des Empfängers das lokale Referenzsystem eingetragen werden. Die Koordinatentransformation wird dann bereits im Empfänger vorgenommen. Dies ist sehr hilfreich, wenn die GPS Daten zusammen mit anderen Informa-

Tabelle 4:

Übersicht der statischen Messergebnisse aller geprüften GPS-Empfänger

3 x 24 h statisch		Statische, Horizontale Abweichung, absolut, Fehlerklassen nach Häufigkeit [m]				
Empfänger	Anzahl Werte	50 %	68 %	95 %	98 %	Ø Abwg.
Omnistar HP Zweifrequenz	255.971	0,1	0,1	0,2	0,5	0,0
Trimble AgGPS114, DGPS Omnistar	258.517	0,5	0,6	1,1	1,3	0,1
Leica GS50, DGPS Landstar	257.596	0,5	0,6	1,3	1,6	0,2
geo-kombi 12B plus, DGPS LW	256.859	0,5	0,6	1,1	1,3	0,1
Trimble AgGPS132, GPS ohne Korrektur	256.953	1,3	1,5	2,1	2,8	0,9
Garmin Maus, GPS ohne Korrektur	258.342	2,8	3,4	5,7	6,9	1,4

tionsebenen (z. B. Topographische Karten) verarbeitet werden.

Bei den dynamischen Versuchen wurde mit dem Empfänger OmniSTAR HP ein starker Anstieg der Positionierungsfehler mit zunehmender Wahrscheinlichkeit gemessen. Hier liegt ein Problem durch die (Teil-)Abschattung und den zeitweiligen Verlust der Satellitensignale (der zweiten Frequenz) zugrunde.

Zur „Re-initialisierung“ (d. h. Wiederfinden des Signals und Auflösen unbekannter Parameter zur Berechnung der neuen Position) benötigt der Empfänger eine gewisse Zeit während der er größere Abweichungen zu verzeichnen hat. Es zeigt sich, dass die Zuverlässig-

keit (Signalstabilität) der Zweifrequenz-Empfänger-Systeme noch verbessert werden muss. GPS-Systeme mit höherer Genauigkeit reagieren empfindlicher auf (Teil-)Abschattung. Für höchste Genauigkeit muss während der Messung auf beste Signalqualität geachtet werden.

Der Trimble AgGPS114 DGPS zeigt beim dynamischen Versuch starke Ausreißer, daher wird hier bei 98 % das Messergebnis deutlich schlechter. Das Ausreißerproblem liegt vor allem an Interferenzen (Störung) zwischen den benachbarten Antennen. Die Abstände zwischen den Antennen konnten aufgrund des Messaufbaus nicht ausreichend groß gewählt werden

(Abstand ca. 25 cm). Ausreißer in dieser Größenordnung wurden in vergleichbaren Praxiseinsätzen nicht festgestellt.

Die „SmartAntenna“ (integriertes Empfänger und Antenne Modul) des AgGPS114 ist anfälliger für Störungen als die kombinierte Antenne (GPS und Korrektursignal) des sonst baugleichen AgGPS132. Interferenzen treten in der landwirtschaftlichen Praxis selten auf, dennoch sollte darauf geachtet werden, das z. B. Antennen des Bordfunks, Radio oder Mobiltelefon weit genug von der GPS Antenne entfernt platziert werden (Abstand > 50 cm).

Tabelle 5:

Übersicht der dynamischen Messergebnisse aller geprüften GPS-Empfänger.

Die Werte in den Klammern sind durch Ausreißer stark verfälscht.

3 x 24 h dynamisch		Horizontale Abweichung, absolut, Fehlerklassen nach Häufigkeit [m]					„CrossTrack“ Fehler (Abw. d. Radius) [m]	
Empfänger	Anzahl Werte	50 %	68 %	95 %	98 %	Ø Abwg.	Std. Abw. Crosstrack 68 %	Ø Abwg. Crosstrack
Omnistar HP Zweifrequenz	228.220	0,2	0,3	(1,3)	(2,6)	0,1	0,3	0,0
Trimble AgGPS114, DGPS Omni.	229.807	0,3	0,4	1,1	(7,6)	0,2	0,3	0,1
Leica GS50, DGPS Landstar	229.284	0,4	0,5	1,2	1,6	0,1	0,4	0,0
geo-kombi 12B plus, DGPS LW	229.860	0,7	0,9	2,1	3,0	0,4	0,7	-0,1
Trimble AgGPS132, GPS ohne Korrektur	229.890	1,8	2,4	4,7	6,1	1,1	1,7	-0,3
Garmin Maus, GPS ohne Korrektur	229.889	2,2	2,9	5,7	6,7	1,6	2,0	0,1

Graphische Darstellung der Messergebnisse

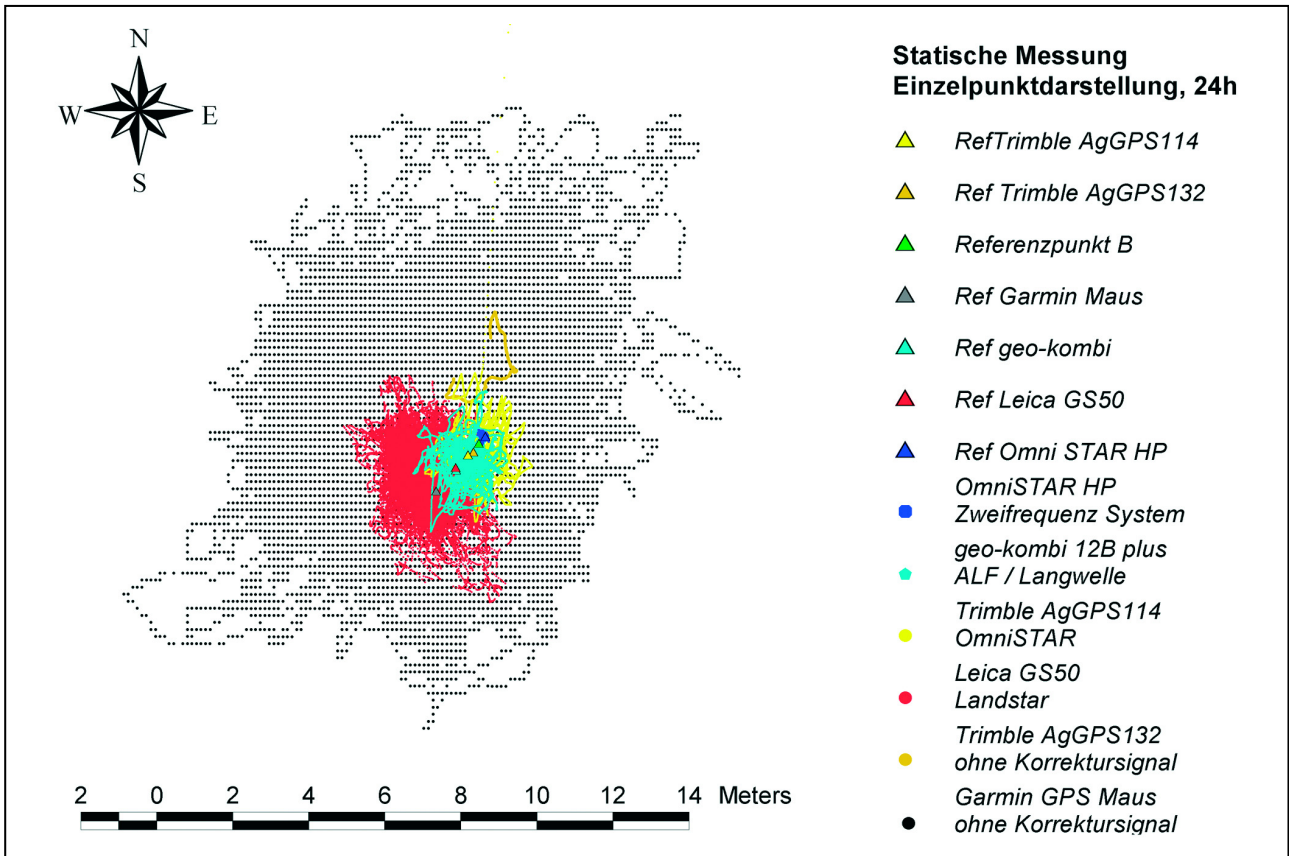


Bild 5: Punktwolke, Einzelpositionen aller Empfänger, statische Messungen, 24 h, 1. Messtag

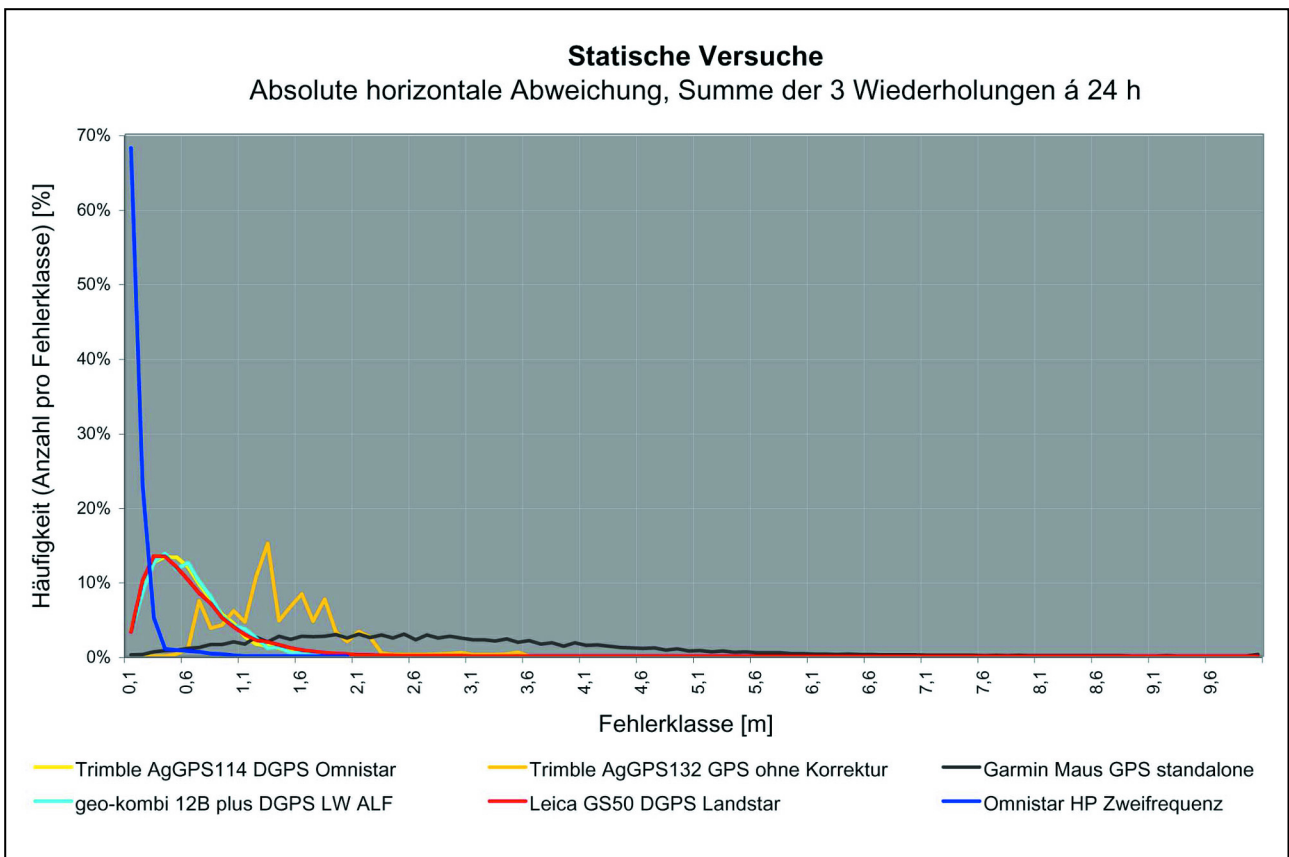


Bild 6: Histogramm, Häufigkeitsverteilung der bweichungen, statische Messungen

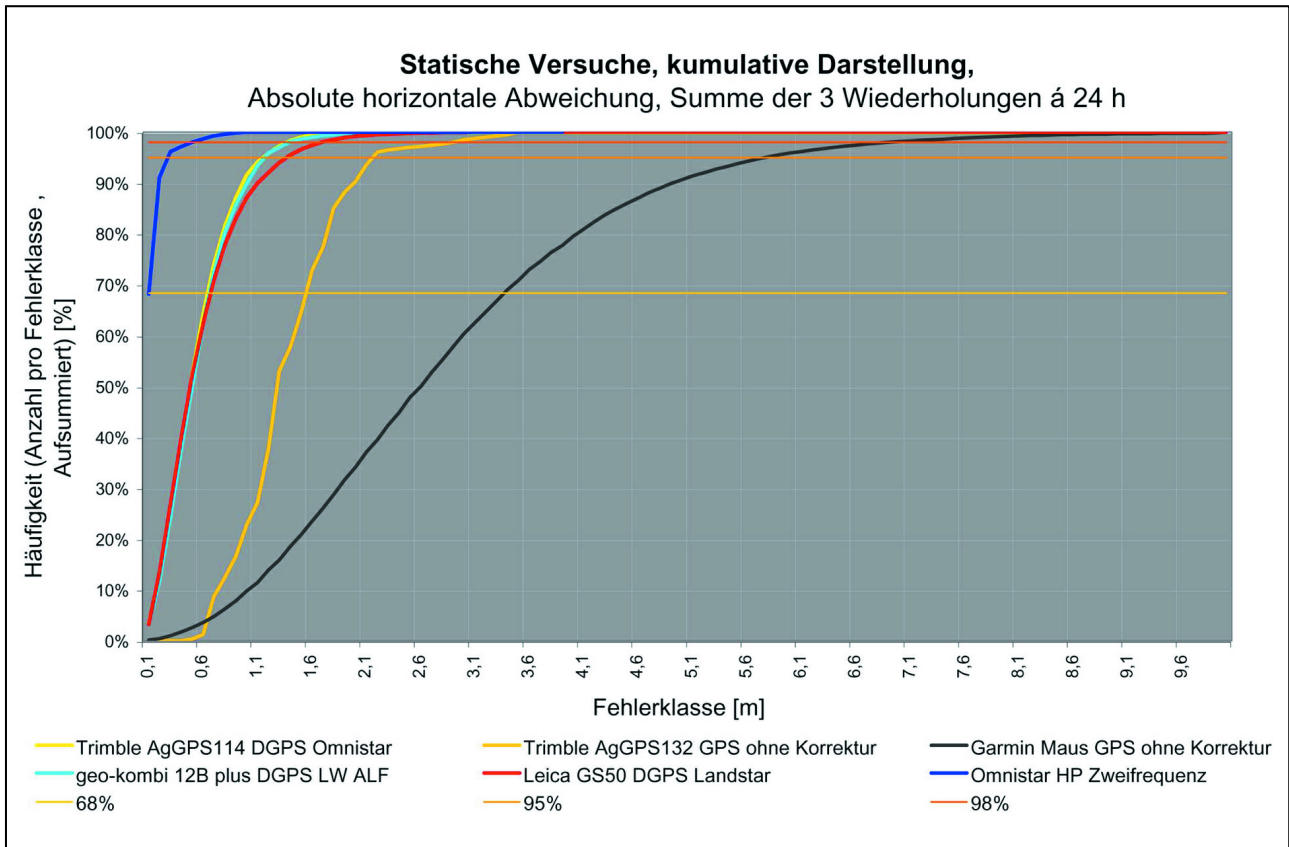


Bild 7: Kumulative Darstellung, Häufigkeitsverteilung der Abweichungen, statische Messungen

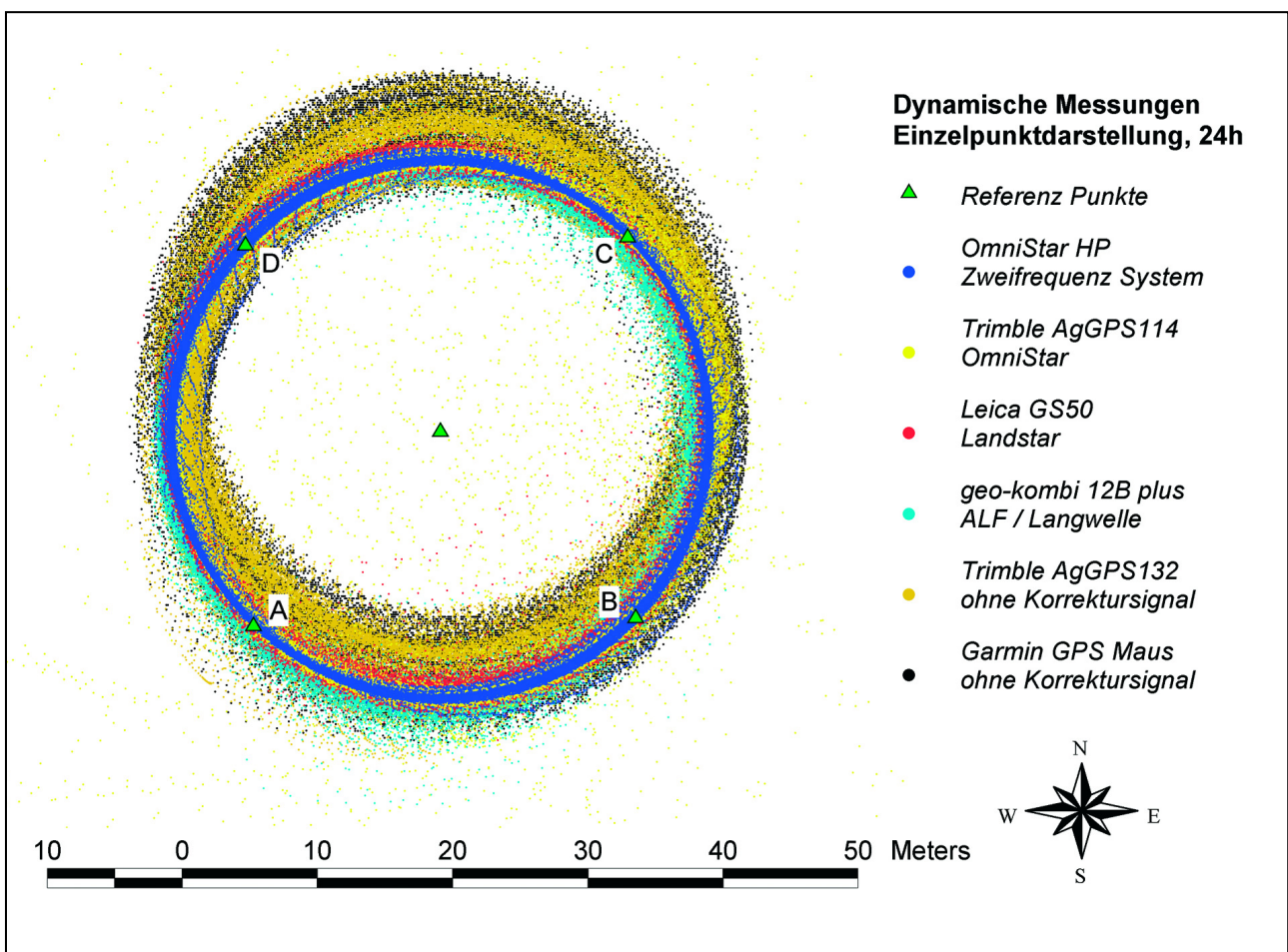


Bild 8: Punktwolke, Einzelpositionen aller Empfänger, dynamische Messungen, Ø Kreisbahn 44 m

In Bild 5 wird der Effekt der scheinbaren Genauigkeit durch Streichen von Kommastellen sichtbar. Bei der Garmin GPS Maus werden nur 4 Stellen nach dem Komma zur Positionsangabe in Grad und Dezimalminuten genutzt. Hierdurch ergeben sich Sprünge zwischen den Einzelpositionen von 12 cm (Ost-West) und 19 cm (Nord-Süd),

es entsteht das in Bild 5 sichtbare rasterförmige Muster. Dieser Effekt ergibt eine stetigere / ruhigere Anzeige der Positionen. Dies vermittelt den Eindruck einer korrekten Positionsangabe. Tatsächlich ist die Positionsangabe nicht stetig, vielmehr wird der kritische Bereich nicht angezeigt. Das Resultat ist eine Positionsangabe

mit geringerer Genauigkeit. Die Empfänger der anderen Hersteller verwenden 6 bzw. Leica sogar 7 Kommastellen bei der Angabe der Positionen in Grad und Dezimalminuten. Hier sind keine Sprünge zwischen den Einzelpositionen zu erkennen (Genauigkeit der Angaben mit 6 Kommastellen ≤ 1 cm).

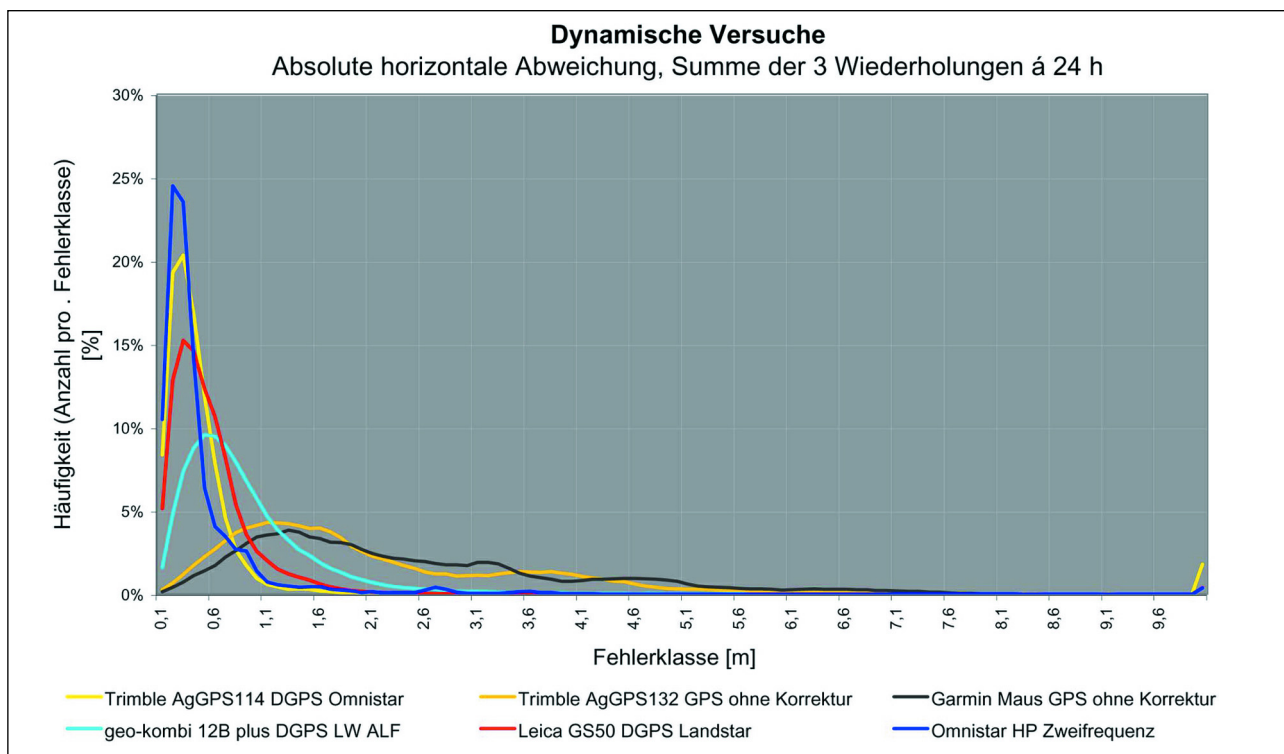


Bild 9: Histogramm, Häufigkeitsverteilung der Abweichungen, dynamische Messungen

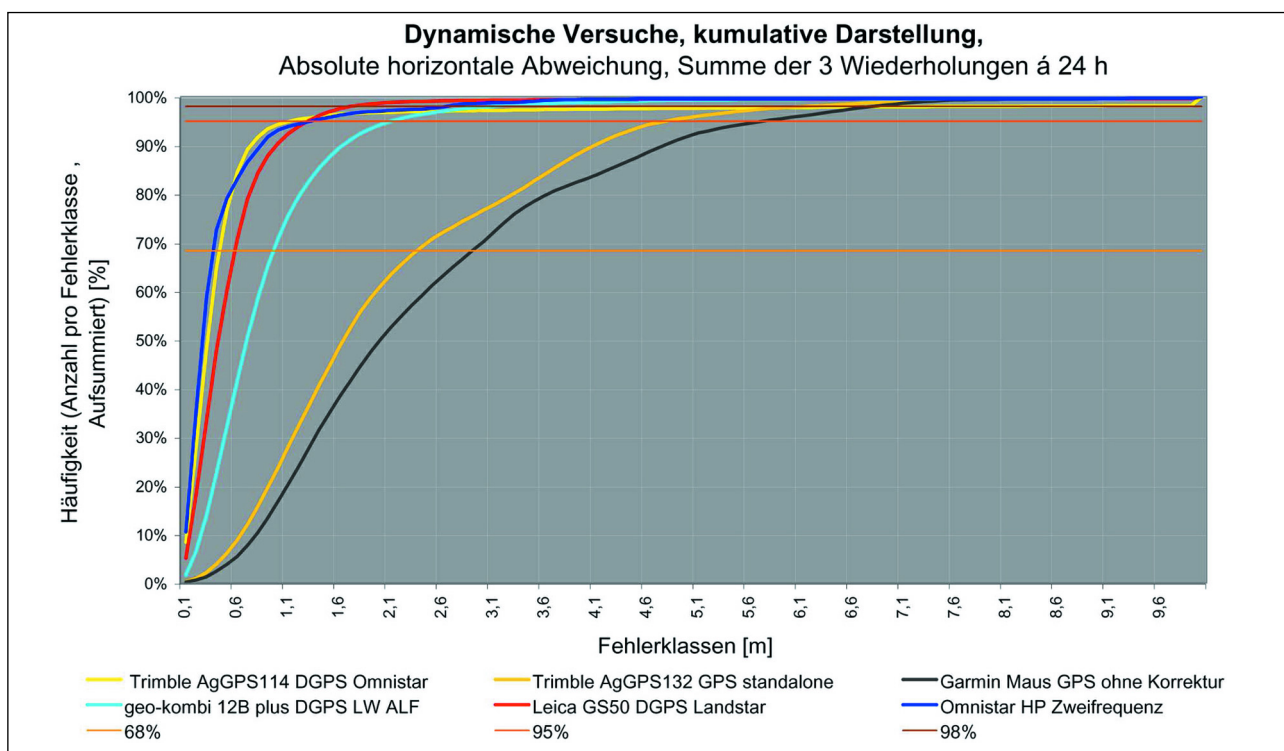


Bild 10: Kumulative Darstellung, Häufigkeitsverteilung der Abweichungen, dynamische Messungen

Formeln und Umrechnungsfaktoren

Die üblicherweise zur GPS-Evaluierung verwendeten Formeln basieren auf den getrennt berechneten Standardabweichungen von Rechts- und Hochwert (s_{XY} oder „RMS_{XY}“ mit 68 % Wahrscheinlichkeit).

Voraussetzung zur Berechnung der Standardabweichung ist eine normalverteilte Grundgesamtheit, dies war bei den Ergebnissen der dynamischen Versuche teilweise nicht gewährleistet.

Die Formeln für die zweidimensionalen Werte gehen von einer „Rayleighverteilung“ ($s_x \approx s_y$) aus.

Beides sind z. T. stark vereinfachte Annahmen, die aber üblicherweise zur Bewertung von GPS-Empfängern herangezogen werden.

Tabelle 6:

Formeln (genäherte Werte) zur Berechnung der üblicherweise für GPS-Evaluierung verwendeten statistischen Größen unter Angabe der dazugehörigen Wahrscheinlichkeit

Statistischer Wert	Beschreibung	Formel	Wahrscheinlichkeit	Dimension
s_{abs} RMS	Empirische (absolute) Standardabweichung oder „Root Mean Square“ vom Rechts- oder Hochwert	$s_{abs} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N Dev_i^2}{N-1}}$	68.3 %	1-D
s_{rel} CrossTrack-Fehler	Standardabweichung des Fehlers vom Rechts-, Hochwert oder Radius („CrossTrack“-Fehler)	$s_{rel} = \sqrt{\frac{N \cdot \sum_{i=1}^N (Dev_i^2) - \left(\sum_{i=1}^N Dev_i\right)^2}{N(N-1)}}$	68.3 %	1-D
m_p dRMS	Mittlerer Punktfehler oder „Distance RMS“ (Vereinfachung entsprechend dem Rayleigh Fehler Modell)	$m_p \approx \sqrt{s_x^2 + s_y^2}$	63 % – 68 %	2-D
2dRMS	Doppelte dRMS	$2dRMS \approx \sqrt{([2 \cdot s_x]^2 + [2 \cdot s_y]^2)}$	93 % – 98 %	2-D
CEP ₅₀	Fehlerkreis (Circular Error Propable)	$CEP_{50} \approx 0.59 \cdot (s_x + s_y)$	50 %	2-D
CEP ₉₅	95 % CEP	$CEP_{95} \approx 2.08 \cdot CEP$	95 %	2-D
CEP ₉₉	99 % CEP	$CEP_{99} \approx 2.08 \cdot CEP$	99 %	2-D

Tabelle 7:

Umrechnungsfaktoren zum Vergleich unterschiedlicher statistischer Angaben:

Der Wert aus der linken Spalte multipliziert mit dem angegebenen Faktor ergibt den Wert aus der oberen Zeile.

X-Y steht für Rechtswert **oder** Hochwert d. h. eine eindimensionale Größe. Horizontal bezeichnet eine

zweidimensionale Größe, also Rechts- **und** Hochwert.

Umrechnungs-faktoren statistischer Werte		Dimension	X-Y , 1-D			Horizontal, 2-D				
		Statistischer Wert	Mittel-Wert	s, RMS	2*s, 2*RMS	CEP ₅₀	Mittel-Wert	m_p , dRMS	CEP ₉₅	2dRMS
Dimension	Statistischer Wert	Wahrscheinlichkeit	58 %	68 %	95 %	50 %	54 %	63 % bis 68 %	95 %	93 % bis 98 %
X-Y, 1-D	Mittelwert	58 %	–	1,25	2,46	1,48	1,57	1,77	3,06	3,68
	s, RMS	68 %	0,80	–	1,96	1,18	1,25	1,41	2,44	2,94
	2*s, 2*RMS	95 %	0,41	0,51	–	0,60	0,64	0,72	1,24	1,50
Horizontal, 2-D	CEP 50 %	50 %	0,68	0,85	1,67	–	1,06	1,20	2,08	2,5
	Mittelwert	54%	0,64	0,80	1,56	0,94	–	1,13	2,01	2,36
	m_p , dRMS	63% bis 68%	0,57	0,71	1,39	0,83	0,89	–	1,73	2,08
	CEP 95 %	95 %	0,33	0,41	0,81	0,48	0,50	0,58	–	1,20
	2dRMS	93% bis 98%	0,27	0,34	0,67	0,40	0,42	0,48	0,832	–

Prüfungsdurchführung

DLG-Prüfstelle für Landmaschinen,
Max-Eyth-Weg 1,
D-64823 Groß-Umstadt

Fachlich verantwortlich

Cornelia Weltzien,
Prüfingenieurin

Dr. Alexander von Chappuis,
Fachgebietsleiter Technik
Pflanzenproduktion

Berichtersteller

Dipl.-Ing. (FH) Cornelia Weltzien
DLG-Prüfstelle für Landmaschinen,
Am Lerchensteig 42,
D-14469 Potsdam-Bornim

03/2003
© DLG



Deutsche Landwirtschafts-
Gesellschaft e.V.
Prüfstelle für Landmaschinen
Max-Eyth-Weg 1, D-64823 Groß-Umstadt
Telefon: 0 60 78/96 35-0, Fax: 0 60 78/96 35-90
E-Mail: Tech@DLG-Frankfurt.de
Internet: www.dlg-test.de

Deutsche Landwirtschafts-
Gesellschaft e.V.
Prüfstelle für Landmaschinen
Lerchensteig 42, D-14469 Potsdam
Telefon: 03 31/5 67 02-0, Fax: 03 31/5 67 02-90
E-Mail: Tech@DLG-Frankfurt.de
Internet: www.dlg-test.de

Download aller DLG-Prüfberichte unter: www.dlg-test.de!