

Satellitengestützte Landwirtschaft - Griff nach den Sternen oder Realität auf dem Boden?



Quelle: Innospace2Agriculture

Gliederung

1. GNSS (Global Navigation Satellite System) – welche Systeme gibt es?
2. GNSS – Qualität reicht uns nicht aus – Wir Landwirte nehmen es genauer! Was machen, damit es genauer wird?
3. Lenksysteme - Einstiegsdroge in das „Precision Farming“?
4. Wovon ist die Genauigkeit auf dem Acker abhängig? – Präzises Lenksystem allein reicht nicht aus!
5. ISOBUS – Ein weiterer Baustein von „Precision Farming“
6. „Precision Farming“ – Präzision in der Teilfläche
7. Möglichkeiten für satellitengestützte Landwirtschaft

1. GNSS (Global Navigation Satellite System) – welche Systeme gibt es?

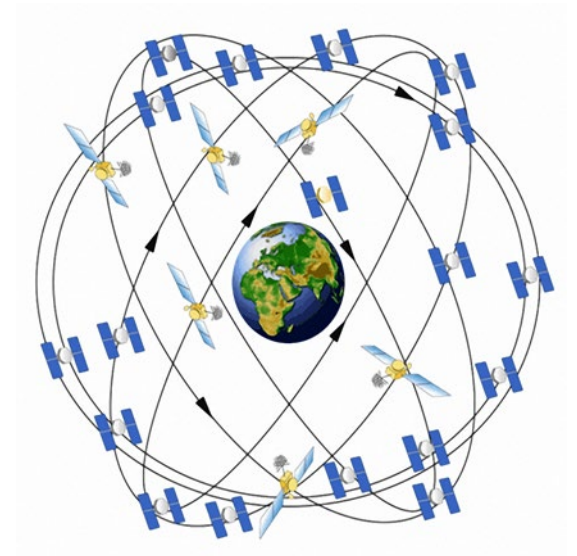


- » **GPS (Global Position System)** – USA
 - › 31 Satelliten
 - › Militärischer Ursprung

- » **GLONASS** – Russland
 - › 25 Satelliten
 - › Russisches Militärsystem

- » **GALILEO** – Europa
 - › 30 Satelliten
 - › Europäisches Satellitennavigationssystem

- » **BeiDou** – China
 - › 35 Satelliten
 - › Chinesisches Satellitennavigationssystem



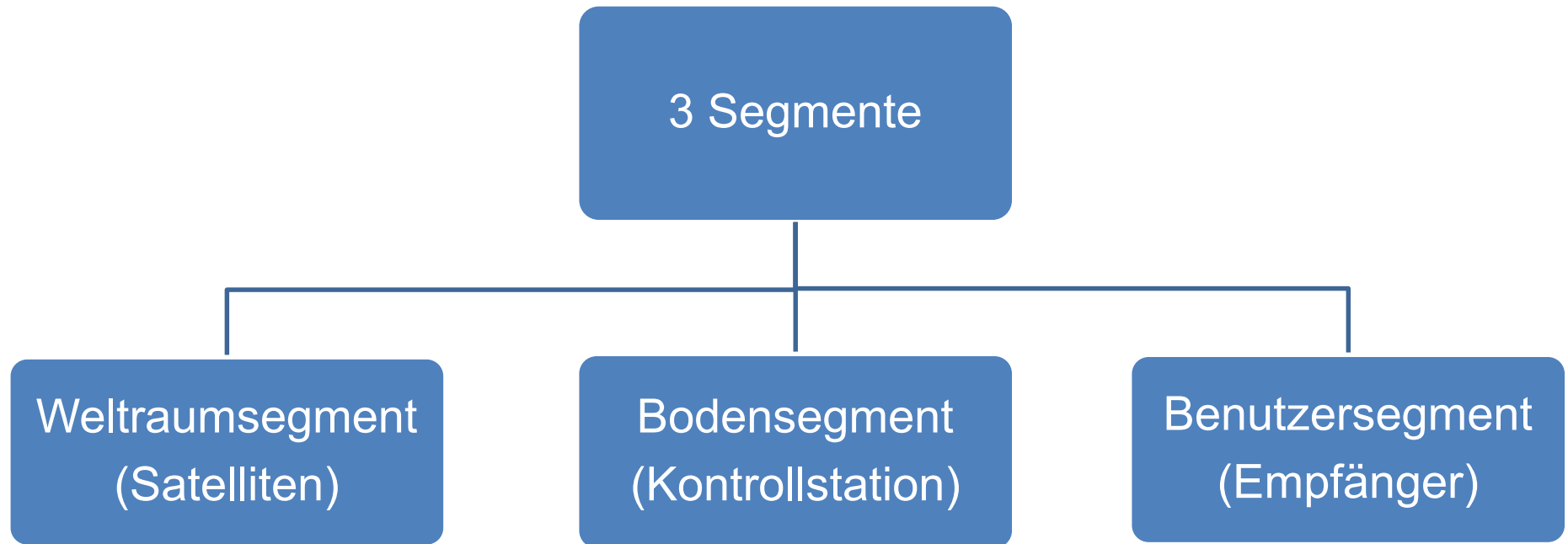
Quelle: Lange Electronic

GPS – erstes Positionsbestimmungssystem

- » GPS (**G**lobal **P**ositioning **S**ystem)
- » Eigentlicher Name: **NAVSTAR** (Navigation System for Timing and Ranging)
- » GPS ist eines von mehreren Satellitennavigationssystemen, die unter dem Begriff GNSS (**G**lobal **N**avigation **S**atellite **S**ystem) zusammengefasst sind
- » GPS wurde vom amerikanischen Verteidigungsministerium entwickelt und 1995 offiziell in Betrieb genommen
- » Es besteht aus bis zu 31 aktiven Satelliten, die die Erde in einer Höhe von 20.200 km umkreisen
- » GPS Satelliten senden Signale aus, welche die genaue Ortsbestimmung eines GPS Empfängers ermöglichen

- » Das GPS-Signal wird jedem kostenlos zur Verfügung gestellt, der
 - › einen GPS-Empfänger besitzt
 - › eine uneingeschränkte "Sicht" auf die Satelliten hat

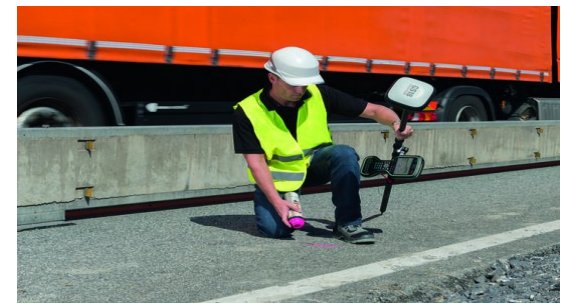
Segmente eines GNSS-Systems



Quelle: science ORF



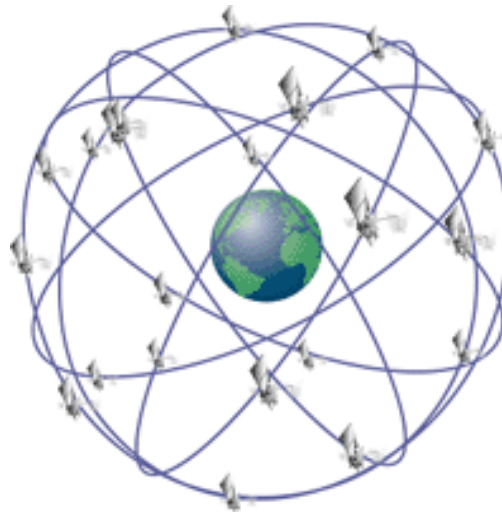
Quelle: pocketnavigation



Quelle: Boels

Weltraumsegment

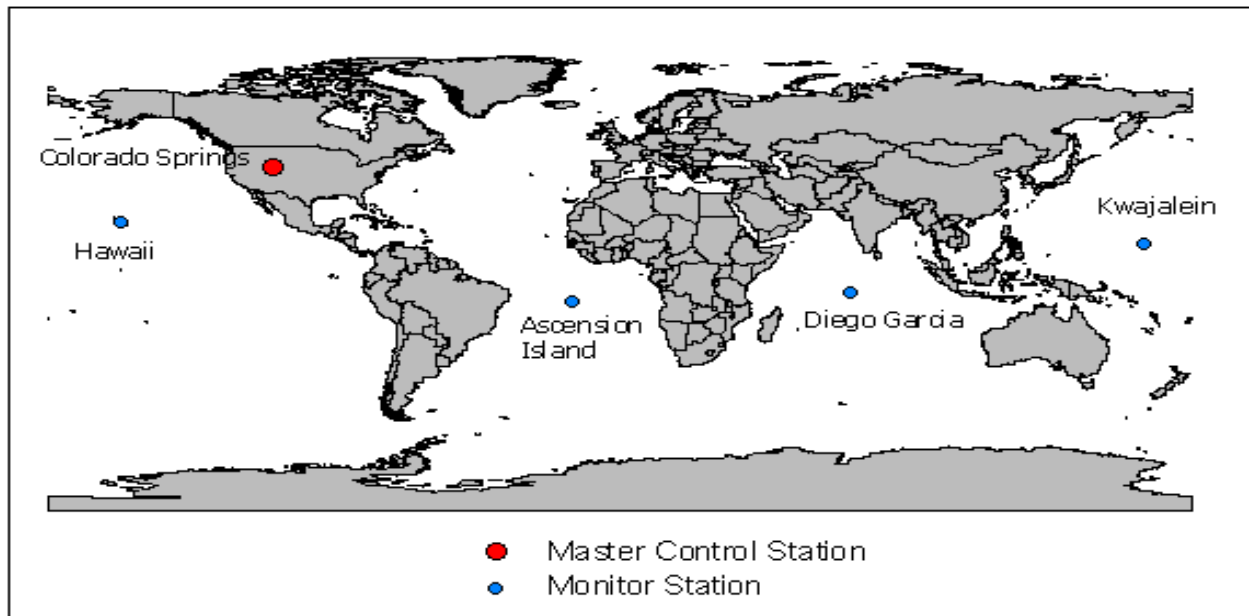
- » 24 operierenden Satelliten
- » in sechs Orbits (je vier Satelliten)
- » in einer Höhe von 20.200 Kilometer
- » die Erde innerhalb von 12 Stunden einmal umrunden (60 Grad voneinander getrennt)
- » häufig befinden sich mehr als 24 Satelliten im Weltraum, da neue Satelliten gestartet werden, um alte zu ersetzen und andere repariert werden müssen



Quelle: Wikipedia

Bodensegment

- » besteht aus Überwachungsstationen (Monitor Stations) und der Haupt-Kontroll-Station (Master Control Station)
- » über die ganze Welt verteilt
- » Überwachungsstationen empfangen Daten von den GNSS Satelliten und überwachen insbesondere die Satellitenbahnen und Borduhren
- » Daten werden an die Haupt-Kontroll-Station weitergeleitet, von wo laufend Korrektursignale an die Satelliten gesendet werden



Benutzersegment

» umfasst die von uns benutzten GNSS-Empfänger bzw. GNSS-Geräte (Endgeräte)

- › Handy
- › Navi
- › Tracker
- › GNSS-Rover
- › ...

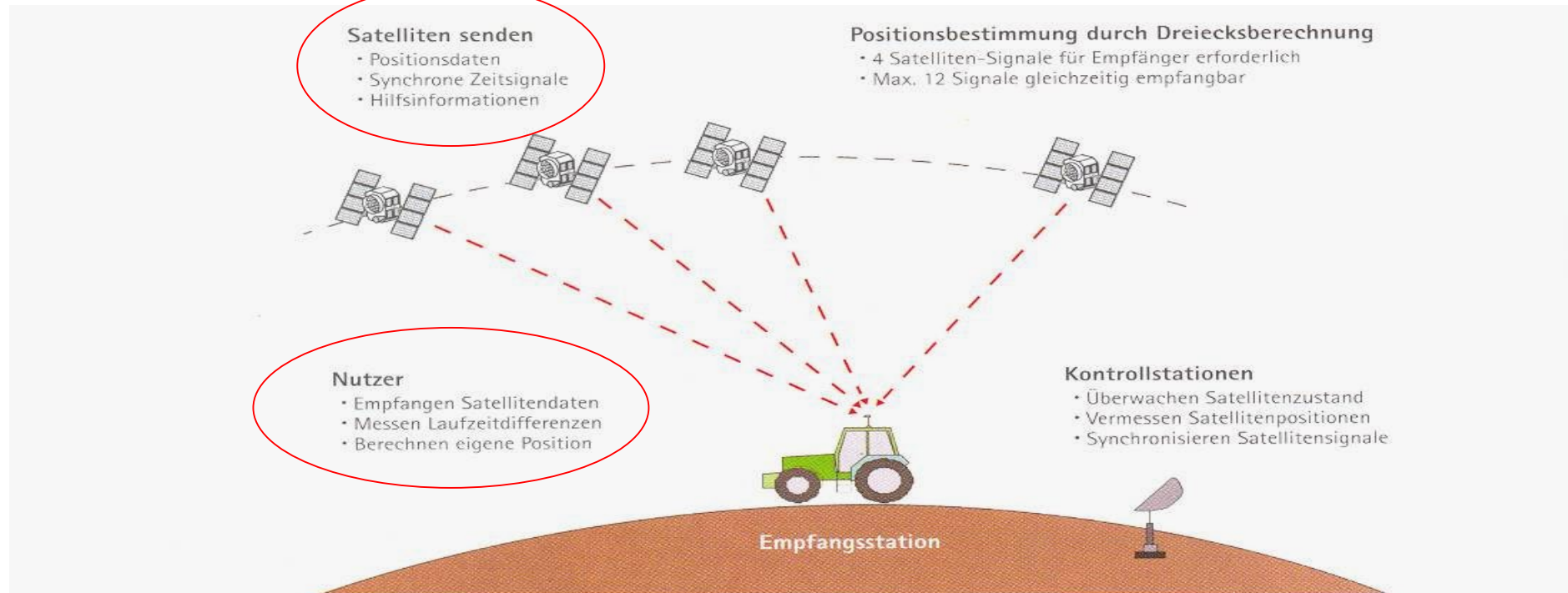


Quelle: GPS-Camera

» GNSS-Geräte bestehen aus

- › einer Antenne zum Empfang der Satellitensignale
- › einem Segment zur Verarbeitung der Signale
- › einer Steuerungs- und Anzeigeneinheit

Wie viele Satelliten brauche ich zur Positionsbestimmung und warum?



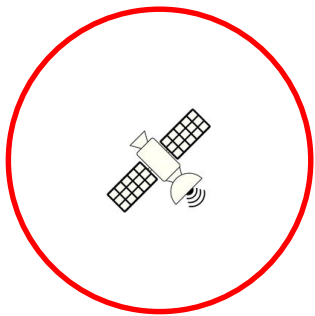
Quelle: KTBL (Parallelfahrssysteme)

Zur Positionsbestimmung vergleicht der GPS-Empfänger die Zeit, zu der das Signal von einem bestimmten Satelliten ausgesandt wurde, mit der Zeit, zu der das Signal empfangen wurde

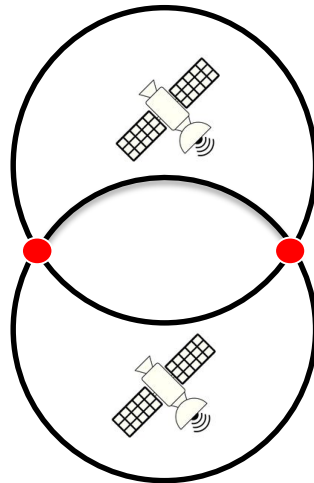
3 Satelliten zur Positionsbestimmung + 1 Satellit zur Höhenbestimmung

Positionsbestimmung durch Multilateration

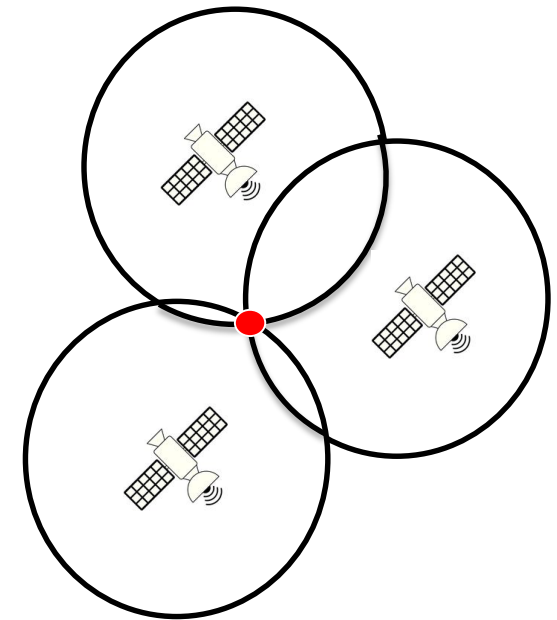
Trilateration – Bestimmung der Position aus drei Entfernungen



Ein Satellit:
mögliche Empfängerpositionen



Zwei Satelliten:
mögliche Empfängerpositionen

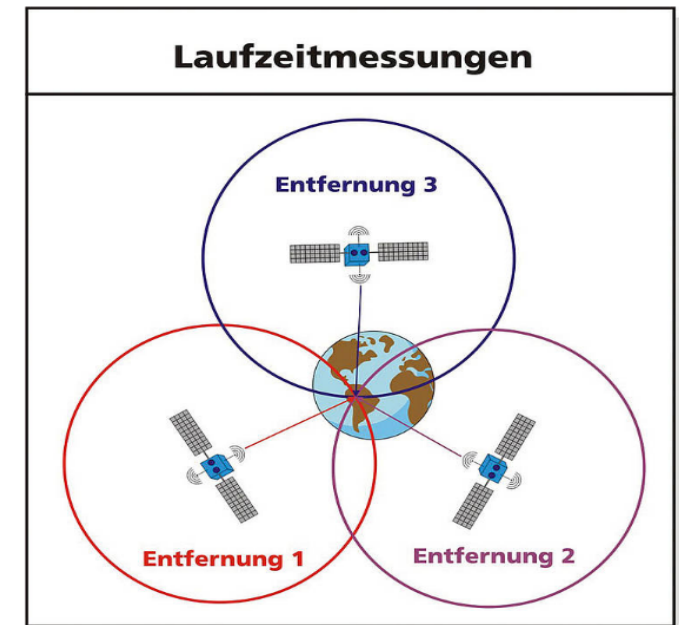


Drei Satelliten:
eindeutige Empfängerposition

Grundlagen Satelliten

Entfernungsmessung vom Satelliten - Laufzeitmessung

- » Messung der Zeit vom Senden des Signales bis zum Empfangen
- » Die Signale (Radiosignale) bewegen sich mit Lichtgeschwindigkeit 300.000 Kilometern pro Sekunde (genauer Wert $c = 299.792.458$ m/s)
- » Entfernung = Lichtgeschwindigkeit x Zeit
- » Die Satelliten sind die Referenzpunkte, um die aktuelle Position zu bestimmen
- » Der GPS Empfänger errechnet aus der Zeit, die das Signal benötigt, die Distanz
- » Um eine exakte Position zu bestimmen, sind mindestens 4 Satelliten nötig (Länge, Breite, Höhe und Zeit)

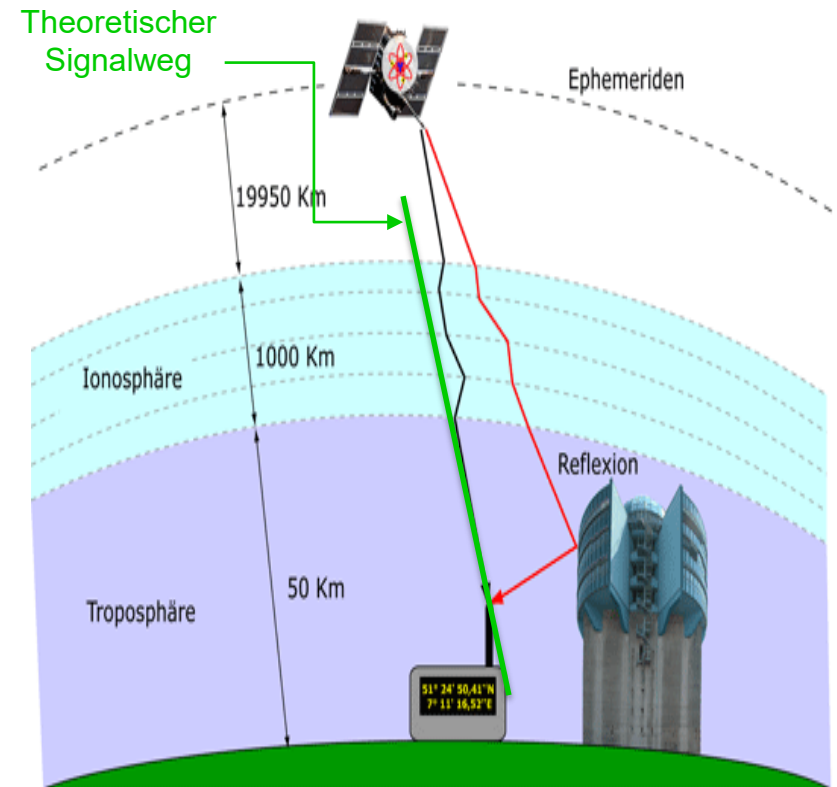


Quelle: DLG-Merkblatt 388: Satellitenortungssysteme (GNSS) in der Landwirtschaft

GNSS – Allgemeine Störungen vom Satellit zum Empfänger

Verringerung der Genauigkeit durch:

- » Satellitenfehler
- » Atmosphärische Fehler
- » Mehrwegeempfang
- » Fehler durch den Empfänger
- » Satellitenkonstellation



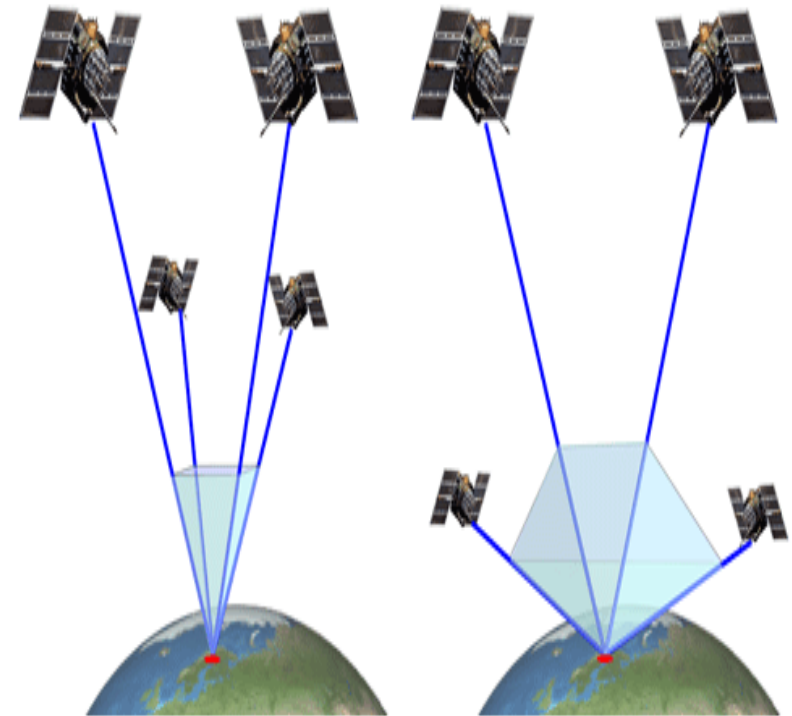
Quelle: Kompendium



[Wovon ist die Genauigkeit auf dem Acker abhängig?](#)

Satellitenkonstellation

- » schlechte Geometrie ist, wenn die empfangenen Satelliten alle dicht beieinander stehen
- » je kleiner der umfasste Raum ist, desto geringer ist die Genauigkeit
- » je weiter die verwendeten Satelliten auseinanderstehen, desto höher ist das umfasste Volumen und damit die Genauigkeit



Quelle: Kompendium



GNSS-Signalfehler bei der Positionsbestimmung

	Zeitfehler	Positionsfehler
Satellitenposition	6-60 ns	1-10 m
Ionosphäre	0-180 ns	0-90 m
Troposphäre	0-60 ns	0-10 m
Mehrwegeeffekt	0-6 ns	0-1 m
Zeitdrift	0-9 ns	0-1,5 m

Quelle: allnav GmbH, Uni Münster (Eigene Darstellung)

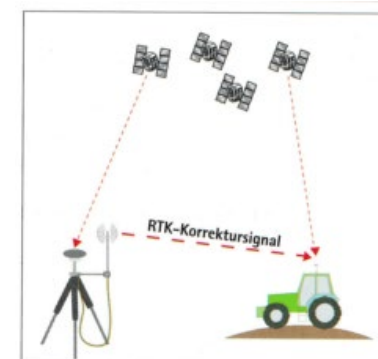
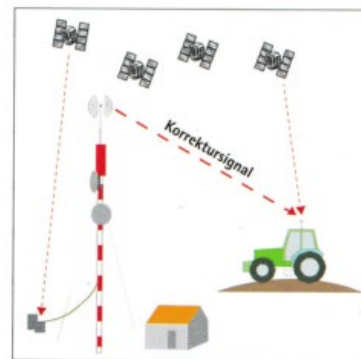
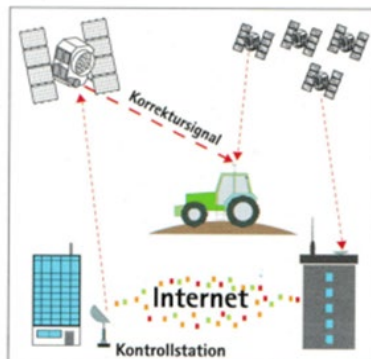
- » ohne Korrekturmaßnahmen beträgt die absolute Genauigkeit bei der Positionsbestimmung circa 5-10 m
 - › benötigt wird ein GNSS-Empfänger, wie er heute in verschiedener Ausführung und unterschiedlicher Genauigkeit auf dem Markt erhältlich ist, bzw. in allen Mobiltelefonen integriert ist
 - › für die Navigation im Auto ausreichend, für die Landwirtschaft nicht

2. GNSS – Qualität reicht uns nicht aus – Wir Landwirte nehmen es genauer! Was machen, damit es genauer wird?

➔ Korrektursignal

» Unterschiede:

- a) Korrektursignalübertragung (satellitengestütztes- und terrestrisches Verfahren)
- b) Messverfahren der Laufzeitkorrektur (Codemessung und Trägerphasenmessung)
- c) Empfängertypus (Einfrequenz und Zweifrequenz)
- d) Genauigkeit
- e) Kosten

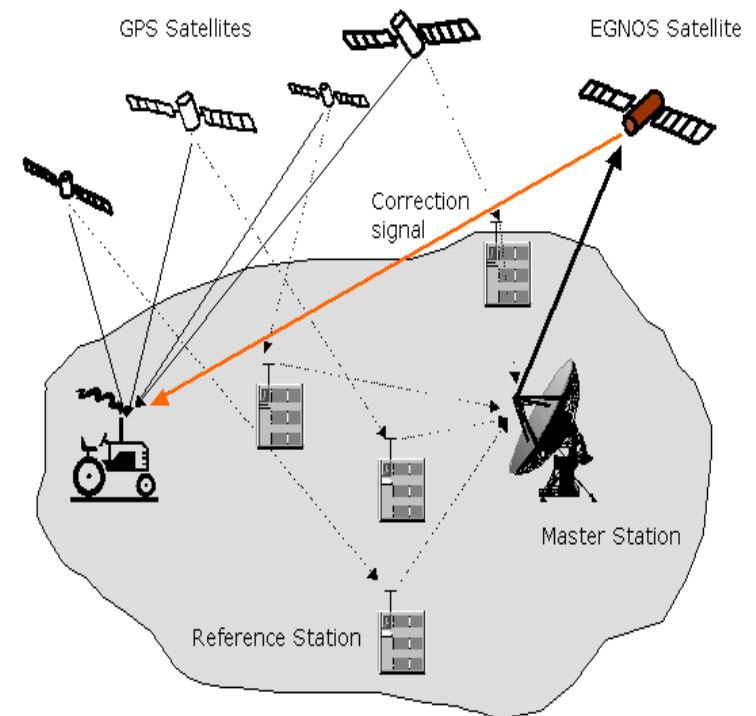


a) Satellitengestütztes Verfahren

- » Korrektursignal wird von geostationären Satelliten (z.B. EGNOS) ausgesendet
 - › Im Gegensatz zu den GNSS-Satelliten ist ihre Position stabil
 - › Geostationäre Satelliten umkreisen die Erde parallel zum Äquator in einer Höhe von etwa 36000 Kilometern

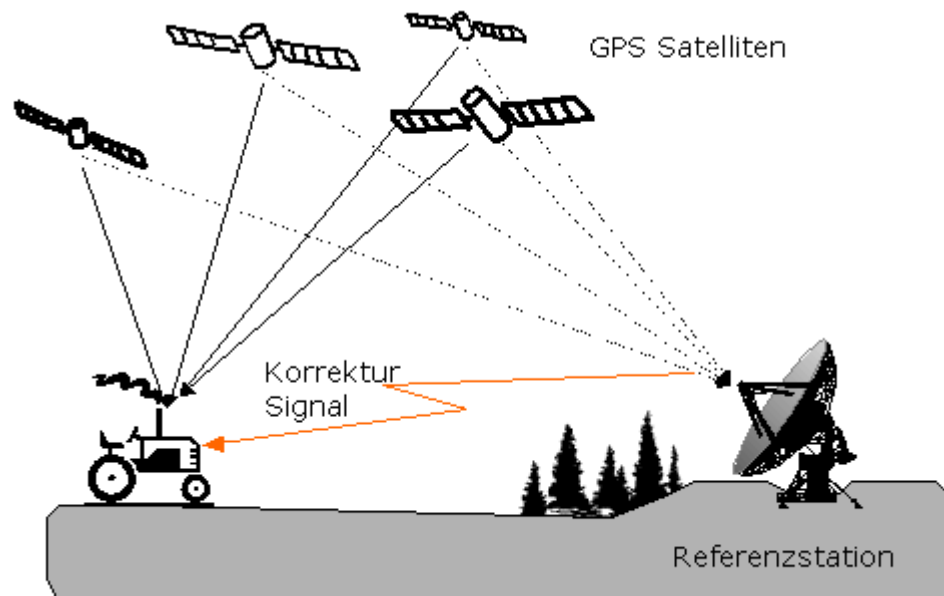
Funktionsweise:

- » ein Verbund von über 30 Monitorstationen (Reference Station) erhalten Satellitensignale von GNSS-Satelliten
- » diese werden an 4 zentrale PCs (Master Station) weitergeleitet
- » In diesen Datenverarbeitungsstationen werden die aktuellen Positionsfehler in diesem Gebiet berechnet (Vergleich der über Satelliten ermittelten Position mit der tatsächlich bekannten Position der Monitorstation)
- » Diese Korrekturinformationen werden nun an den geostationären Satellit gesendet von wo sie an die GNSS-Empfänger weitergeleitet werden



a) Terrestrisches Verfahren

- » Korrektursignal wird von exakt vermessenen Bodenstationen, so genannten (mobilen/festen) Referenzstationen ausgesendet
 - › kontinuierlich wird ihre Position mit den Signalen der GNSS Satelliten bestimmt
 - › diese Position wird mit ihrer tatsächlichen, bekannten, Position verglichen und daraus ein Korrekturwert berechnet
 - › dieser Korrekturwert kann über Datenfunk/Mobilfunk den mobilen DGNSS-fähigen Empfängern zugeführt werden, die damit ihrerseits wiederum eine Korrektur ihrer eigenen Positionskoordinaten durchführen.



b) Messverfahren der Laufzeitkorrektur

Codemessung

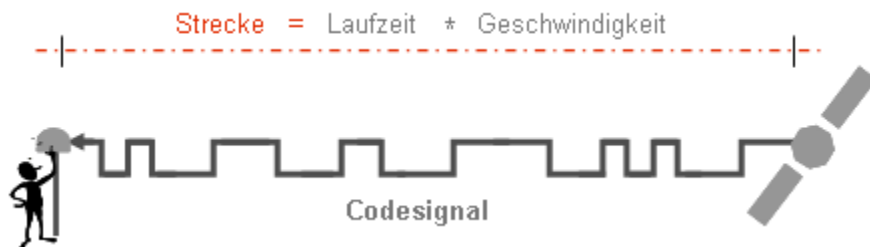
- ›› Verfahren der Codemessung beruht auf reiner Laufzeitmessung des Satellitensignals

Laufzeit:

- ›› Aussendezeitpunkt des Signals am Satelliten und Empfangszeitpunkt im Empfänger miteinander verglichen

Geschwindigkeit:

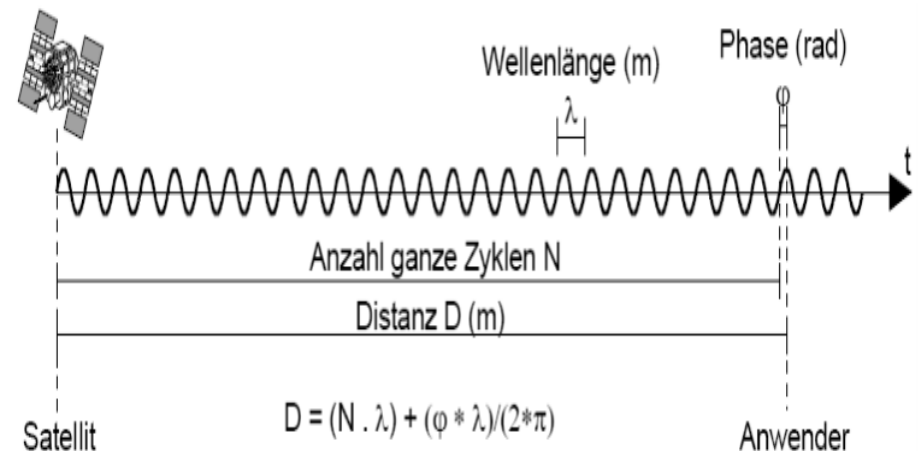
- ›› bekannte Ausbreitungsgeschwindigkeit (Lichtgeschwindigkeit) des Signals



Quelle: LGL Baden-Württemberg

Trägerphasenmessung

- ›› die „Länge“ der Trägerphase von Satellit bis Empfänger wird bestimmt
- ›› Trägerphase beschreibt eine Sinuswelle des L1, bzw. des L2 Signals, das vom Satelliten ausgesandt wird



Quelle: „Einsatz von Geobasisdaten und GNSS in der Forstverwaltung“ von Elisabeth Riepel Christoph Jobst

c) Empfängertypus – Frequenzen

- » GPS-Satelliten senden ihre Signale grundsätzlich auf zwei Frequenzen (L1&L2)
 - › um atmosphärische Fehler in der Ionosphäre zu minimieren und somit die Genauigkeit zu verbessern
 - › stehen nur Einfrequenz-Messungen zur Verfügung müssen ungenauere Modelle für die Ionosphärenkorrektur verwendet werden

Einfrequenzempfänger

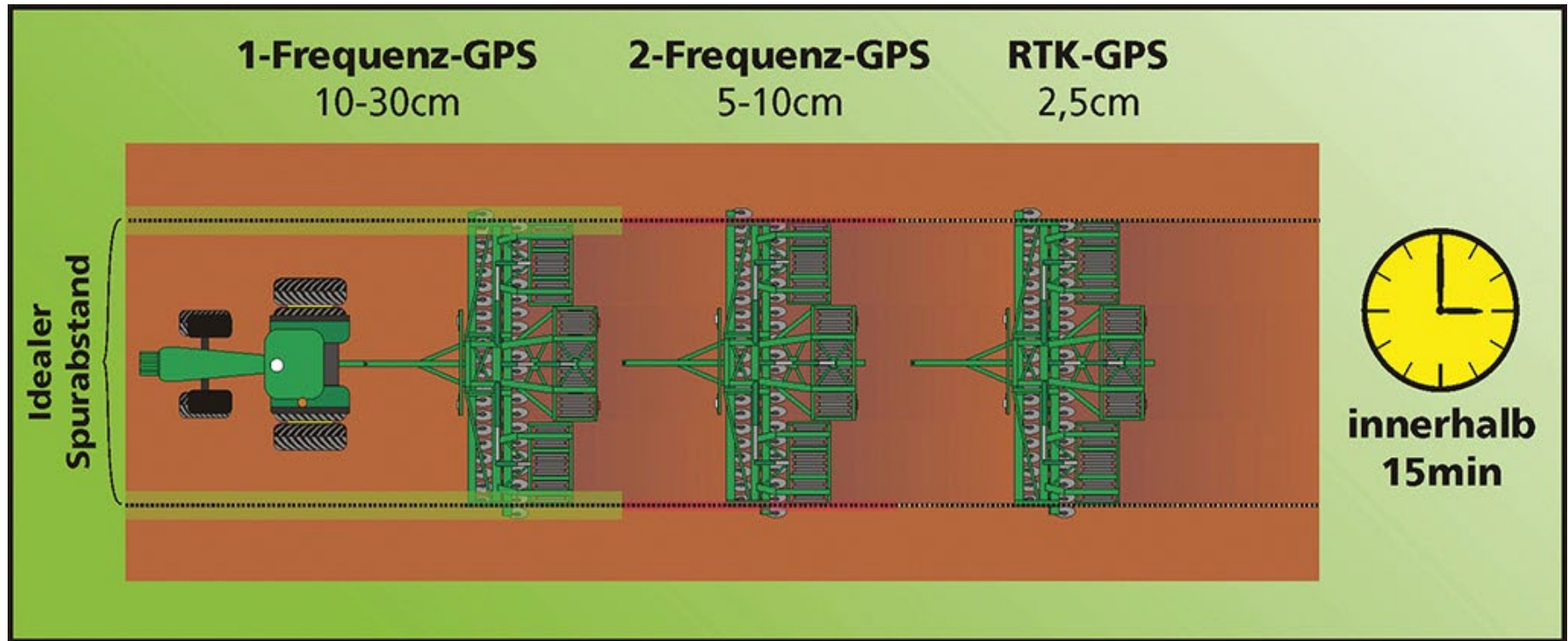
- » Funksignale können nur auf einer Frequenz (L1) analysiert werden
- » nutzen das Verfahren der Codemessung
- » wesentlich empfindlicher, was Abschattungen und Reflexionen betrifft

Zweifrequenzempfänger

- » Funksignale können auf beiden kodierten Frequenzen (L1 und L2) analysiert werden
- » Messprinzip ist – über normale Codemessung hinaus (nur L1) – die Phasenmessung der Trägerwellen (L2)

d) GPS-Genauigkeiten

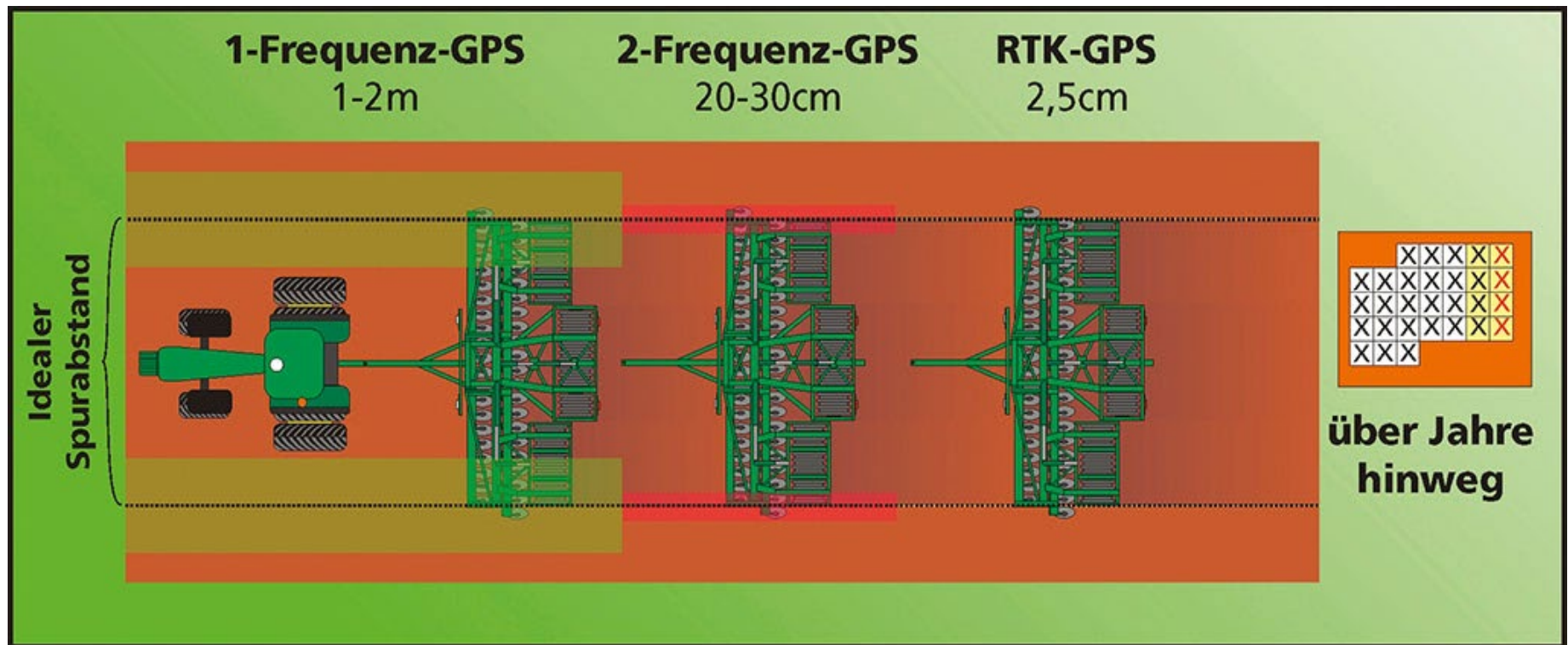
- » **Spur-zu-Spur-Genauigkeit** (Relative Genauigkeit) für die meisten landwirtschaftlichen Anwendungen relevant (Bodenbearbeitung, Grunddüngung usw.). Innerhalb von 15 min muss wieder die Vorgängerspур gefunden werden (bei EGNOS 10 – 30 cm).



Quelle: DLG-Merkblatt 388: Satellitenortungssysteme (GNSS) in der Landwirtschaft

d) GPS-Genauigkeiten

- » „Absolute“ Genauigkeit gibt an mit welcher Genauigkeit eine Spur nach Tagen, Monaten oder Jahren wieder gefunden wird (bei EGNOS ca. 2m, RTK 2,5 cm) z.B: Pflanzenreihen müssen später mit Feldspritze wieder gefunden werden (Gemüseanbau)



Quelle: DLG-Merkblatt 388: Satellitenortungssysteme (GNSS) in der Landwirtschaft

e) Kosten der Korrekturdienste

Korrekturdienst	Absolute Genauigkeit ±cm	Relative Genauigkeit ±cm	Zeitraum	Kosten je Zeitraum € (Stand 2013)
EGNOS	50-300	10-30	/	kostenlos
OMNISTAR HP+, national GPS/GLONASS	20-30	5-10	1 Monat	445
			3 Monate	895
			6 Monate	1.295
John Deere Star Fire III	20-30	3	12 Monate	850
			24 Monate	1.500
RTK NET	2-3	2-3	1 Jahr	845

Quelle: KTBL-Heft 96 „Parallelfahrssysteme“ (Stand 2013; Eigene Darstellung)

- » Gebühren werden mit dem Erwerb eines Empfängers abgegolten oder bei anderen Anbietern entstehen Kosten für die Nutzung der Signale
- » kostenloser Empfang des RTK-Korrektursignal steigt in Zukunft

Korrektursysteme – Welche Verfahren gibt es?

DGNSS

(Korrektursignal über satellitengestütztes Verfahren)

Spur-zu-Spur
Genauigkeit:
10-30 cm

Absolute Genauigkeit:
50-200 cm

PPP (Precise Point Positioning)

(Korrektursignal über satellitengestütztes Verfahren)

Spur-zu-Spur
Genauigkeit:
5-10 cm

Absolute Genauigkeit:
10-50 cm

RTK

(RTK-Korrektursignale über terrestrisches Verfahren)

Spur-zu-Spur
Genauigkeit:
2,5 cm

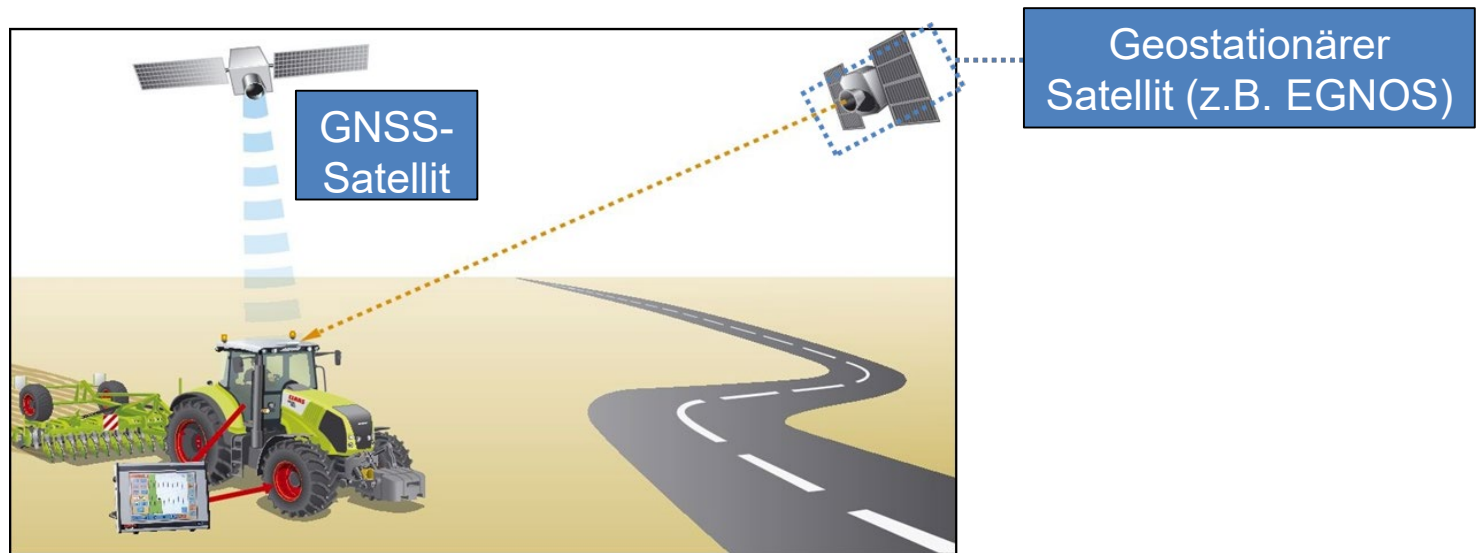
Absolute Genauigkeit:
2,5 cm

Quelle: Geo-Konzept (Eigene Darstellung)

[Wovon ist die Genauigkeit auf dem Acker abhängig?](#)

DGNSS (Differentielles GNSS)

- » **Funktionsweise:** zusätzlicher Empfänger steht auf einer festen Position (Geostationärer Satellit) die er genau kennt. Dadurch kann er die aktuellen Abweichungen zu dieser Position via Satellit an den mobilen Empfänger (Traktor) übertragen
- » Positionsbestimmung auf Basis der Codemessung



Korrekturdienst	Typ	Laufende Kosten	Relative Genauigkeit
z.B. EGNOS	Satellitengestützt 1-Frequenz-Signal	Lizenzkostenfrei	+/- 15 bis 30 cm Basisgenauigkeit

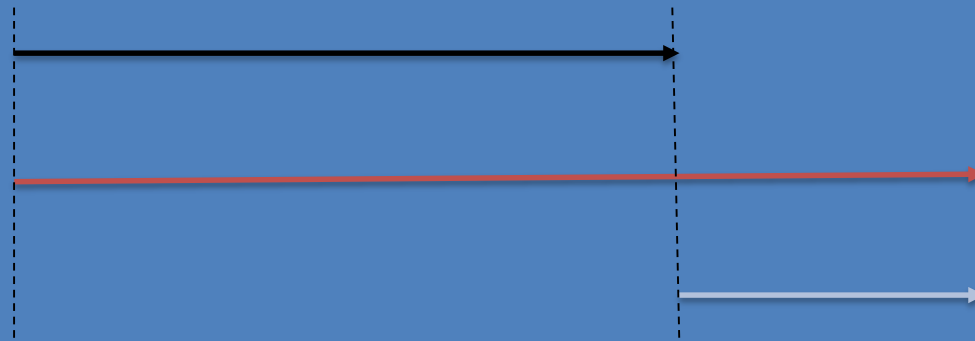
Differentielle Laufzeitkorrektur

GNSS-Referenzstation

Erwartete Laufzeit

Gemessene Laufzeit

Laufzeitfehler

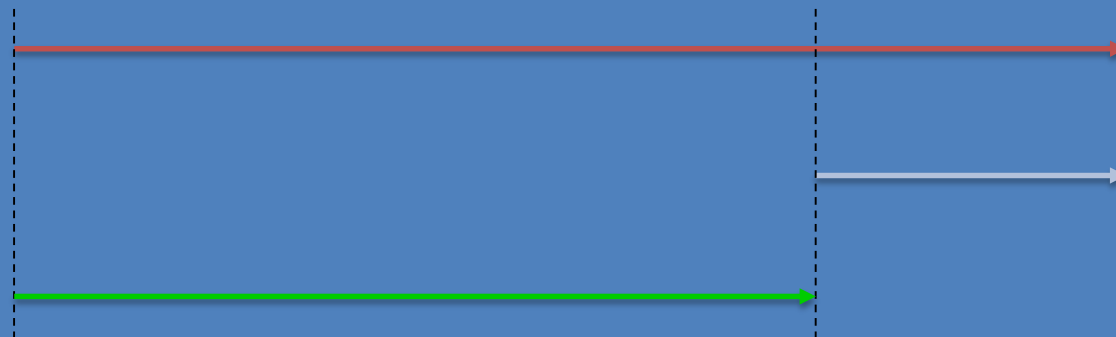


GNSS-Empfänger

Gemessene Laufzeit

Laufzeitfehler

Korrigierte Laufzeit



Anwender „DGNSS“

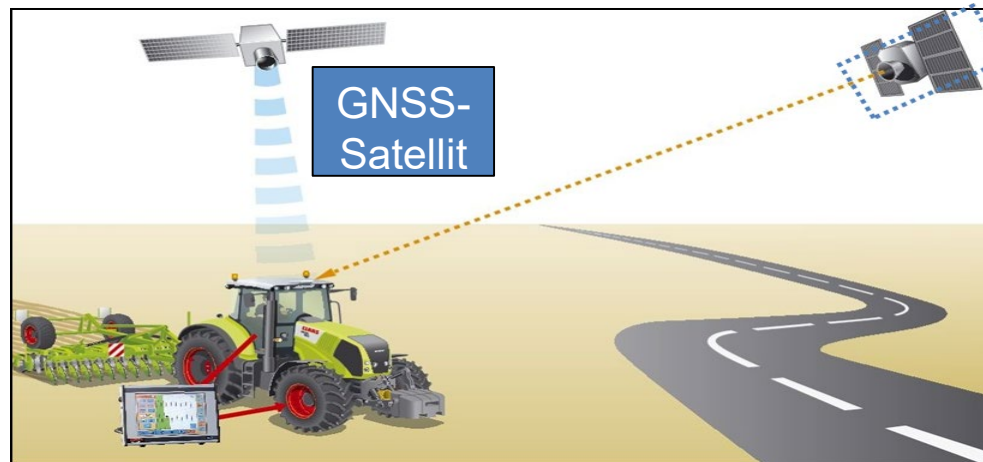
- » Grundsätzlich für Anwendungen, die eine geringe Genauigkeit erfordern, wie z.B. einfache Bodenbearbeitung mit großen Arbeitsbreiten, Düngung, Pflanzenschutz, Ausbringen von Gülle, Grünland, Kalk, Mist etc.
- » Günstige „Einstiegsvariante“, update auf höhere Genauigkeit möglich, wenn die Hardware es erlaubt



Quelle: Schafmeister Agrarservice

PPP (Precise Point Positioning)

- » Referenzstationen werden nur mittelbar genutzt
- » vielmehr werden unabhängig vom GNSS-System fortlaufend und hochgenau die Fehler der Satellitenumlaufbahnen und die Fehler der Satellitenuhren von einem weltumspannenden Netzwerk von Kontrollstationen ermittelt
- » teilweise werden auch Fehler in der Atmosphäre berechnet und via Satellit an Empfänger übertragen
- » Positionsbestimmung auf Basis der Trägerphasenmessung



Geostationärer Satellit
(z.B. OMNISTAR)

Korrekturdienst	Typ	Laufende Kosten	Relative Genauigkeit
z.B. OMNISTAR HP	Satellitengestützt 2-Frequenz-Signal	Lizenzkosten	+/- 5 bis 12 cm

Anwender „PPP“

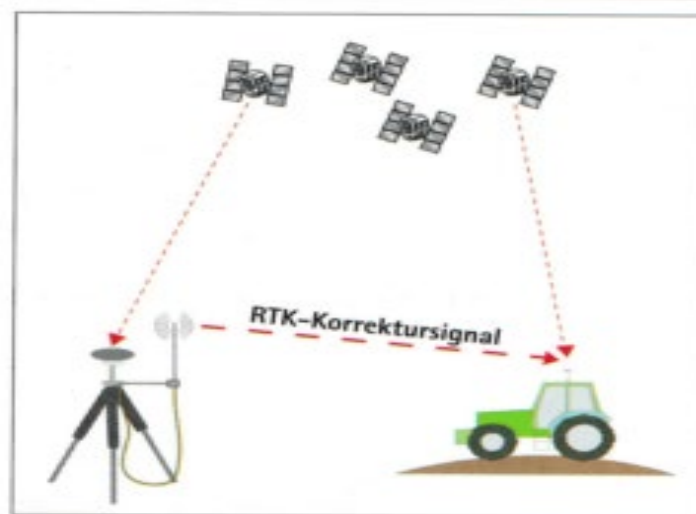
- » Für alle Arbeiten geeignet, die nicht die höchste Genauigkeit benötigen
- » Betriebe mit offener Feldstruktur und wenig Bewaldung (Abschattung)
- » Betriebe mit wechselnden Arbeitsregionen
- » höhere Störanfälligkeit gegenüber Abschattungen an Feldrändern und Hecken/Bäumen
- » Signalstärke nimmt von Süden nach Norden ab



Quelle: Agrarservice Bank

RTK (Real Time Kinematic)

- » **Funktionsweise:** zusätzlicher Empfänger steht auf einer festen Position die er genau kennt. Dadurch kann er die aktuellen Abweichungen zu dieser Position via Datenfunk oder Mobilfunk an den mobilen Empfänger (Traktor) übertragen
- » verwendet im Gegensatz zu DGNSS jedoch nicht die von den Satelliten gesendeten Codes, sondern die Trägerphasen selbst zur Ermittlung der Entfernungen zu den jeweiligen Satelliten, sonst gleiche Funktionsweise zu DGNSS
- » Voraussetzung ist ein ungestörter Empfang der Signale von mindestens fünf GNSS-Satelliten (empfohlen werden mindestens sechs Satelliten)
- » RTK-Systeme bestehen mindestens aus zwei hochgenauen GPS-Empfängern
 - › Referenzstation
 - › Mobiler Empfänger (Rover)



Quelle: KTBL-Heft 96 „Parallelfahrssysteme“

RTK-Lösungen

- » Empfänger muss in der Lage sein, Daten zu senden und die Korrekturdaten auf einem zweiten Kanal zu empfangen
- » Datenübertragung über Datenfunk/Mobilfunk an Rover

Mobiles RTK



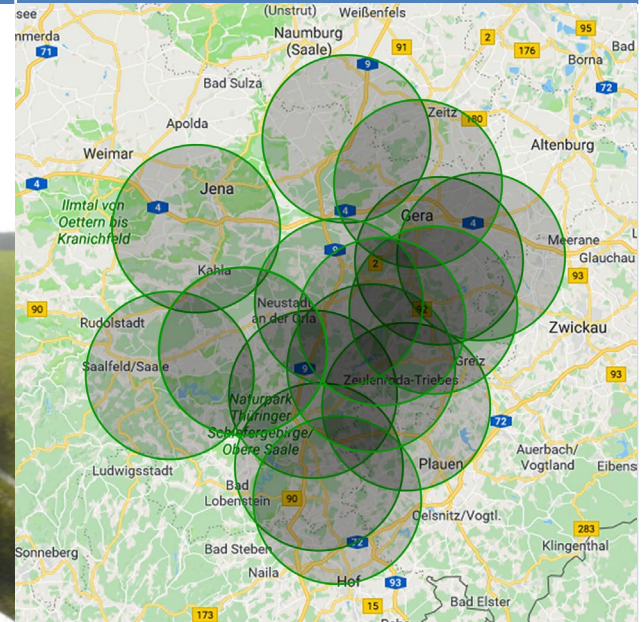
Quelle: CLEAN PNG

Festes RTK



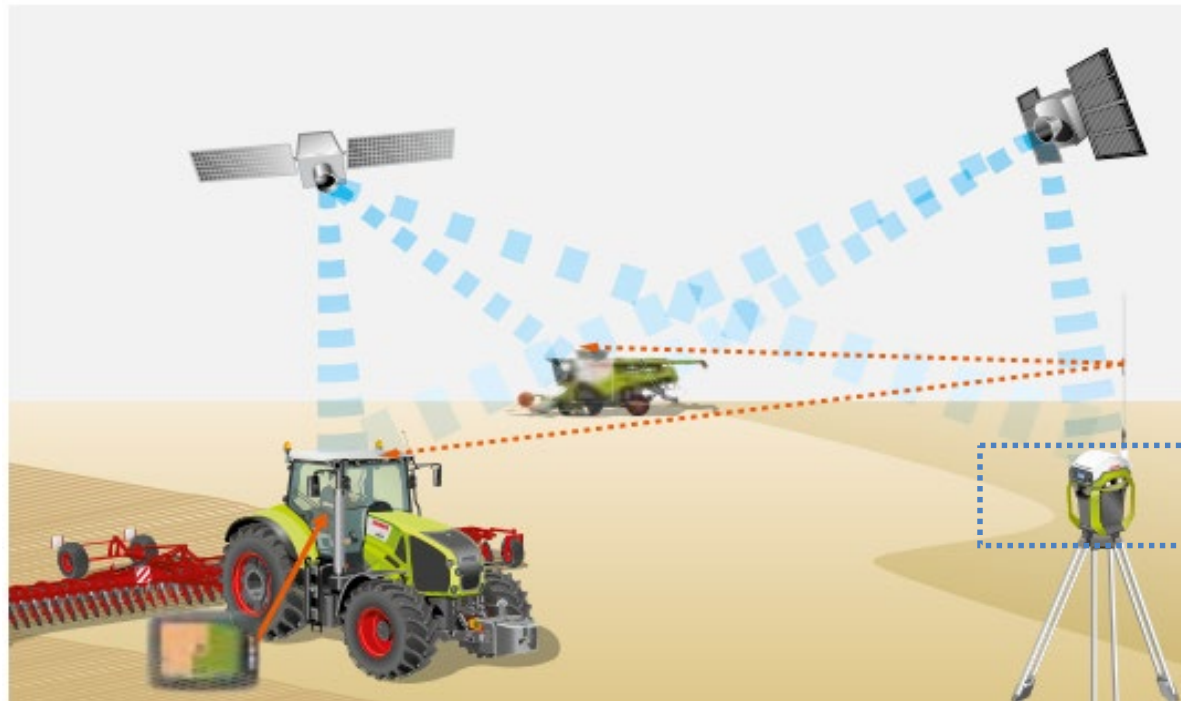
Quelle: DLG-Merkblatt 388: Satellitenortungssysteme (GNSS) in der Landwirtschaft

RTK Netzwerk



Quelle: Laremo

Mobiles RTK



Quelle: Claas

Korrekturdienst	Typ	Laufende Kosten	Relative Genauigkeit
z.B. RTK Field Base	Mobile Referenzstation Reichweite 3- 5 km 2-Frequenz-Signal GPS- und GLONASS-Empfang	Lizenzkostenfrei	+/- 2 bis 3 cm

Anwender „Mobiles RTK“

- » Betriebe mit Anspruch an zuverlässige Drillgenauigkeiten
- » auch für Flottenverbände kompatibel, da das Signal innerhalb der Reichweite unbegrenzt vielen Maschinen zur Verfügung steht
- » Betriebe mit Arbeitsradius von 3 – 5 km um die mobile Basis
- » flexibler Einsatz der mobilen Referenzstation
- » überall und jederzeit einsetzbar



Quelle: Claas

Festes RTK



Quelle: Claas

Korrekturdienst	Typ	Laufende Kosten	Relative Genauigkeit
RTK	Feststation Reichweite ca. 15 km GPS- und GLONASS-Empfang	ggf. Lizenzkosten	+/- 2 bis 3 cm Höchstmögliche wiederholbare Genauigkeit

Anwender „Festes RTK“

- » der höchste Genauigkeit benötigt
- » für alle Arten von Anwendungen (Saat, Bodenbearbeitung, ...)
- » mehrere Maschinen ausstatten möchte
- » Flächen im Radius von 15 km
- » ohne mobile Station am Feldrand arbeiten möchte
- » schnellste Signalverfügbarkeit (Initialisierung)
- » Voraussetzung für Controlled Traffic Farming

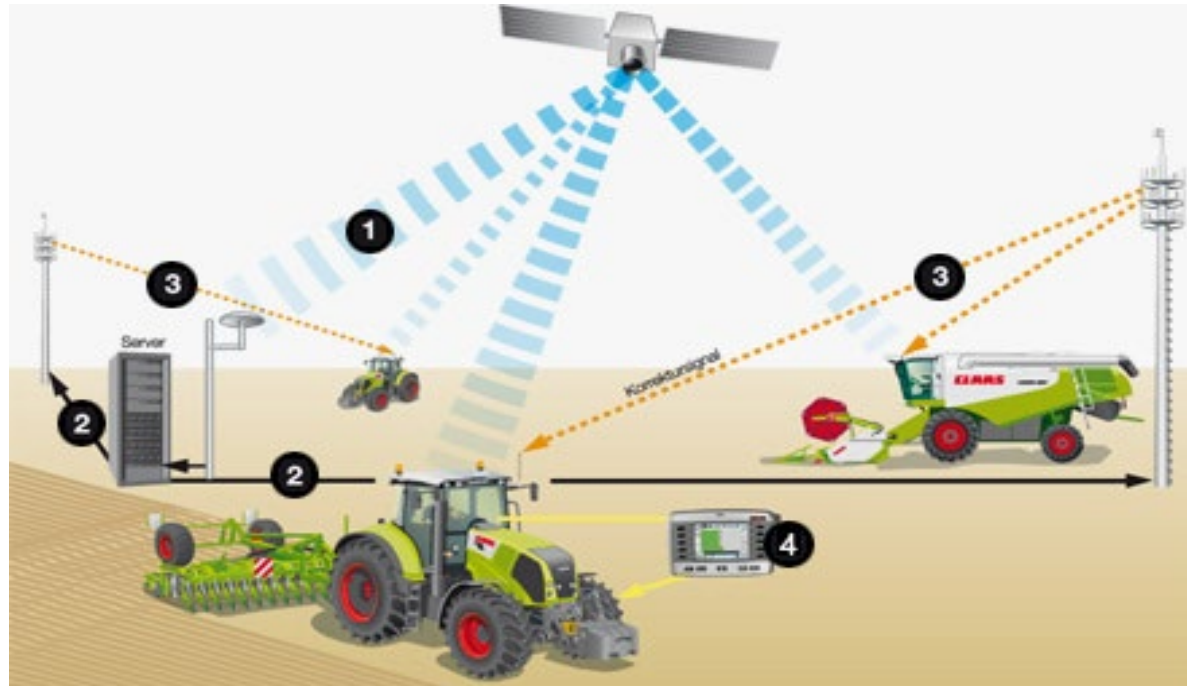


Quelle: Global Farming

Nachteile RTK-Station

- » Sehr hoher Anschaffungspreis, keine Flexibilität
- » Funk-Reichweite der Station: Für eine gute Abdeckung muss bei der Bundesnetzagentur ein Funkkanal gekauft werden
- » Abnahme der Genauigkeit mit zunehmender Entfernung zur Station
- » Keine Ausfallsicherheit: Kein Backup, in der Regel keine dauerhafte unterbrechungsfreie Stromversorgung und sicherlich keine zweite Rückfall-Station auf dem Betrieb vorhanden
- » Wartung muss durch den Betreiber selbst durchgeführt werden (und wird, wie bei vielen anderen Geräten auch, erst dann gemacht, wenn das System dringend gebraucht wird oder nicht mehr funktioniert)
- » Im Falle einer mobilen RTK-Referenzstation: genaues (wiederholtes) Aufstellen auf 2,5 cm genau gelingt fast nie, außerdem: Diebstahl- und Sabotagegefahr für die alleine in der Flur stehende, teure Station

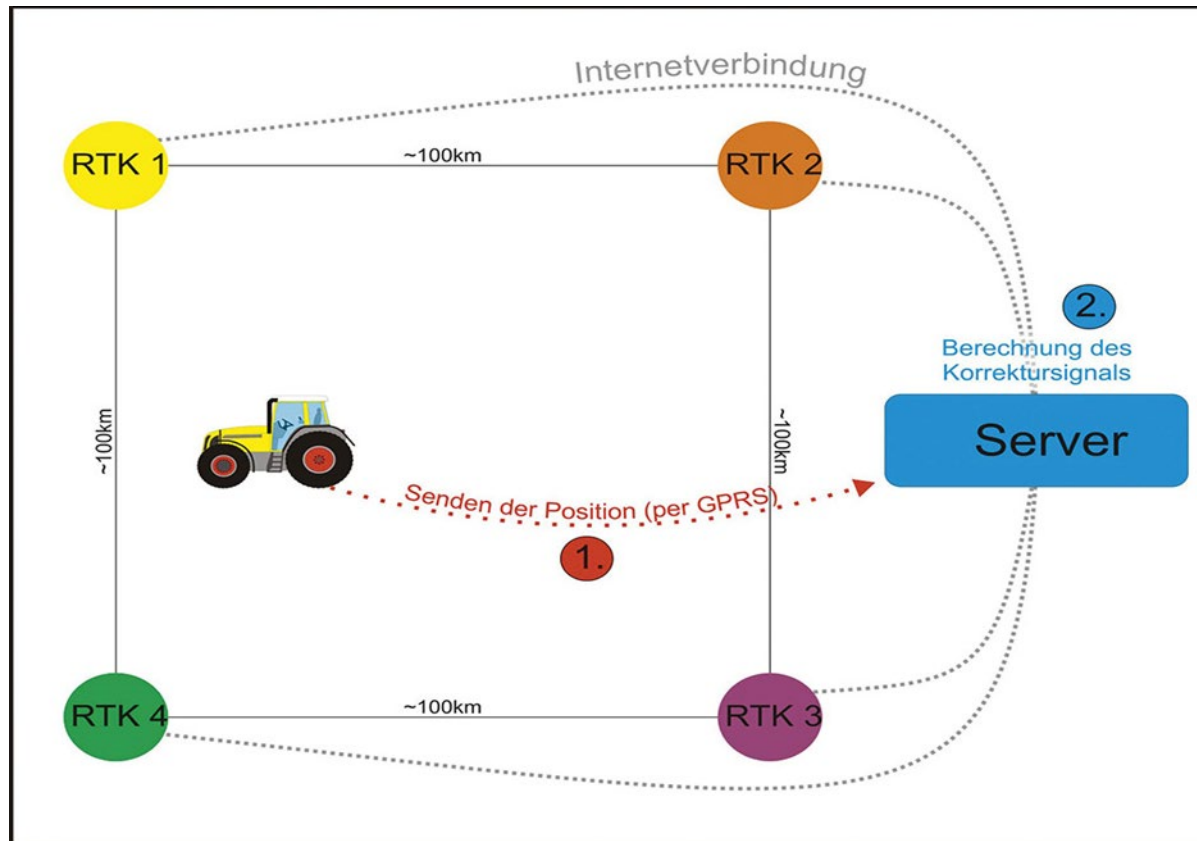
RTK Netzwerk



Quelle: Claas

Korrekturdienst	Typ	Laufende Kosten	Relative Genauigkeit
z.B. RTK NET	Korrektursignal über Mobilfunk 2-Frequenz-Signal Uneingeschränkter Arbeitsradius GPS- und GLONASS-Empfang	Lizenzpflichtig	+/- 2 bis 3 cm Höchstmögliche wiederholbare Genauigkeit

RTK Netzwerk (Virtuelle Referenzstation-RTK)



Quelle: DLG-Merkblatt 388: Satellitenortungssysteme (GNSS) in der Landwirtschaft

- » RTK-Netzwerke bestehen aus mehreren RTK-Referenzstationen, deren Daten über das Internet an einen zentralen Rechner übertragen werden
- » Zentralserver berechnet ein Korrektursignal aus vernetzten Referenzstationen
- » Das hochpräzise RTK-Korrektursignal wird via Mobilfunk zur Maschine übertragen

Anwender „RTK Netzwerk“

- » für Regionen, in denen auf keine Feststation zurückgegriffen werden kann
- » der höchste Genauigkeit benötigt
- » mehrere Maschinen ausstatten möchte
- » Voraussetzung für Controlled Traffic Farming
- » uneingeschränkter Arbeitsradius
- » maximale wiederholbare Genauigkeit
- » sehr schnelle Signalverfügbarkeit
(Initialisierung)



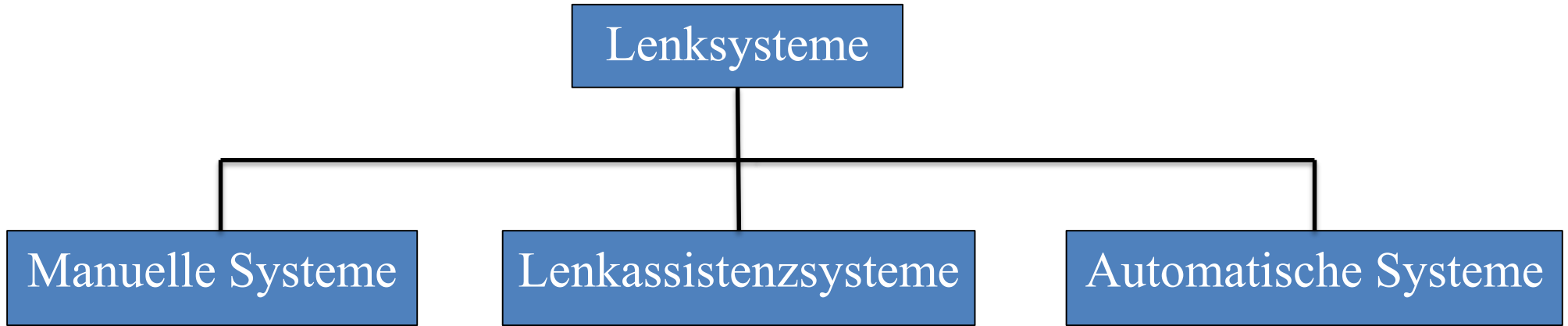
Quelle: Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt

3. Lenksysteme - Einstiegsdroge in das „Precision Farming“?



Quelle: BayWa

Lenken mit System



Quelle: Claas



Quelle: Trimble



Quelle: Geo-Konzept

Manuelle Systeme

- » Fahrer lenkt selbst
- » Parallelfahrhilfe mittels Leuchtbalken oder LED-Anzeige
- » Ideal für Arbeiten ohne Fahrgassen (Düngerstreuen, Anwendung von Herbiziden)
- » Teilbreitenschaltung von Spritzen und Düngerstreuern
- » Kostengünstige Einsteigerlösung
- » Arbeitserleichterung, Kraftstoff- und Zeiteinsparung



- Anzeige gibt den einzuschlagenden Lenkwinkel an
- Genauigkeit abhängig von Anzeige und Geschick des Fahrers

Quelle: Farmers Weekly

Lenkassistenzsysteme (Stellmotor am Lenkrad)

- » Einstieg in automatisches Lenken
- » kein Eingriff in die Hydraulik
- » Flexibler Nutzen der Lenktechnik, einsetzbar auf unterschiedlichen Maschinen
- » Lenkassistenzsysteme greifen aktiv in die Lenkung ein
- » Das Fahrzeug wird automatisch entlang paralleler Spuren gelenkt



- Elektromotor dreht Lenkrad
- keine Hydraulik
- einfache Installation und entsprechend einfacher Transfer von Fahrzeug zu Fahrzeug

Lenkassistenzsysteme (Stellmotor im Lenkrad)

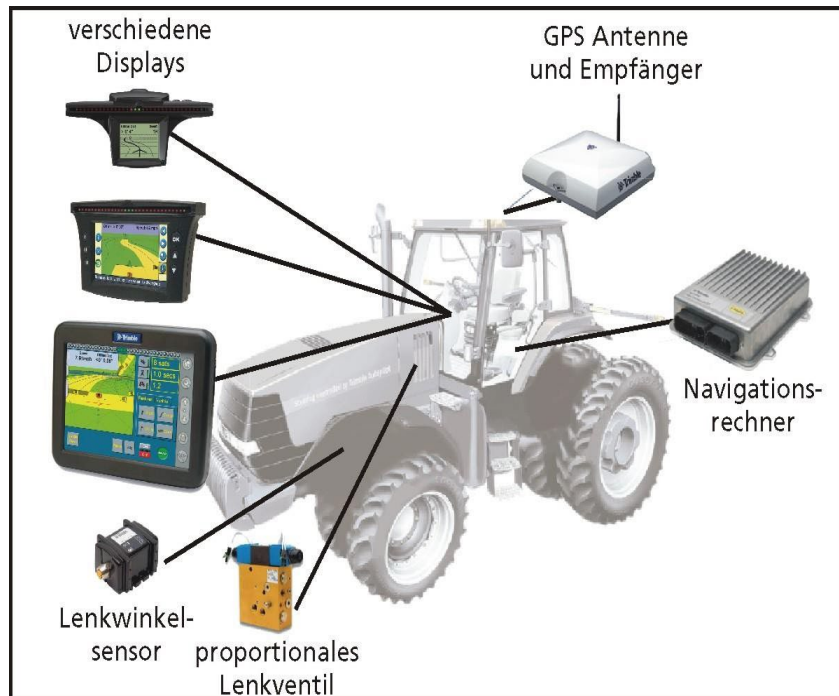
- » Das Original-Lenkrad wird ausgetauscht
- » Antriebseinheit im Lenkrad
- » Alle Genauigkeitslevels möglich
- » TÜV homologiert und genehmigt
- » Lenkassistenzsysteme greifen aktiv in die Lenkung ein
- » Das Fahrzeug wird automatisch entlang paralleler Spuren gelenkt



Quelle: Landwirtschaftskammer Oberösterreich

Automatische Systeme

- » Greifen aktiv in die Lenkhydraulik des Fahrzeugs ein
- » Bieten höchsten Fahrkomfort und Genauigkeit
- » System in Maschine integriert
- » Durchgehend hohe Genauigkeit bei allen Geschwindigkeiten
- » Ideal auch für Sonderkulturbetriebe



Quelle: Trimble

- Hydraulische Steuerung bzw. direkter Anschluss an Schleppervorrichtung
- höchste Genauigkeiten
- beste Lenkperformance
- Navigationsrechner berücksichtigt mit 6-Achsen-Gyroskop die Längs- und Seitenbewegungen

Einteilung der Lenksysteme

	Lenkhilfe	Lenkassistent	Lenkautomat
Beschreibung	Spuranzeige über Lichtbalken Fahrer lenkt selbst	Spurführung über elektrischen Lenkradmotor	In den Traktor integriertes, hydraulisches Lenksystem
Einsatzgebiete (Beispiele)	Grunddüngung Dokumentation Pflanzenschutz	Bodenbearbeitung Halmguternte Düngung	Nahezu alle anfallenden Arbeiten
Vorteile	Kostengünstig Leicht nachrüstbar	Leicht nachrüstbares automatisches Lenksystem	In den Traktor integriert Hohe erzielbare Genauigkeit Reaktionsschnell
Nachteile	Nur geringe Fahrerentlastung	Reaktionsträge Platzbedarf/Optik	hohe Anschaffungskosten

Quelle: Landwirtschaftskammer
Oberösterreich (Eigene Darstellung)