

Ulrich Klee, Halle, und Lutz Hofmann, Storkau

# DGPS-gestütztes Sicherheitssystem für Landmaschinen

*Automatische Lenkeinrichtungen für Landmaschinen und Traktoren sollen den Fahrer physisch und psychisch von monotoner Lenkarbeit befreien und gleichzeitig eine bessere Auslastung der Maschinenleistung sowie eine höhere Arbeitsqualität ermöglichen. Trotzdem sind Störungen oder Ausfälle der Sensorik, Fehlstellen im Leitlinienverlauf, Hindernisse auf dem Feld wie Gräben und Strommasten sowie Konzentrationsschwächen des Fahrers nicht auszuschließen. Durch die Einbindung geeigneter DGPS-Technik kann die Sicherheit von Lenksystemen im Interesse von Mensch und Maschine erhöht werden.*

Dr. rer. nat. Ulrich Klee ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Agrartechnik und Landeskultur (Leiter: Prof. Dr. Peter Pickel) der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Ludwig-Wucherer-Straße 81, 06108 Halle; e-mail: klee@landw.uni-halle.de

Dr.-Ing. Lutz Hofmann ist Inhaber des Ingenieurbüros Dr. Hofmann, Im Winkel 3, 06667 Storkau. Die Autoren danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die finanzielle Unterstützung der Arbeiten.

Referierter Beitrag der LANDTECHNIK, die Langfassung finden Sie unter LANDTECHNIK-NET-com.

## Schlüsselwörter

Automatische Lenkung, DGPS, GIS, Sicherheitssystem

## Keywords

Automatic guidance control, DGPS, GIS, safety system

Literaturhinweise sind unter LT 00410 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/localliteratur.htm> abrufbar.

Mit dem fortschreitenden Ausbau der verschiedenen Korrekturdienstleistungen und den damit verbundenen verbesserten Genauigkeiten von DGPS-Techniken zur Ortung und Navigation von Fahrzeugen lässt sich die Funktionalität der von Forschung und Industrie entwickelten automatischen Lenkungen für Landmaschinen und Traktoren auch in betriebswirtschaftlich vertretbaren Größenordnungen für Hersteller und Anwender um sicherheitsrelevante Aufgabebereiche erweitern.

### Grundmodule des Sicherheitssystems

Mit finanzieller Unterstützung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) wurden in den letzten Jahren am Institut für Agrartechnik und Landeskultur Lösungen für ein Sicherheitssystem am Fallbeispiel eines Traktors entwickelt, das vorrangig den Aufgabenbereich des rechtzeitigen Erkennens von Feldgrenzen und Hindernissen abdecken soll [5]. Es ist modular aufgebaut und besteht neben einer automatischen Lenkeinrichtung mit verschiedenen Sensorsystemen [6] aus einem GPS/DGPS-Empfänger, einem Bordrechner mit Anzeige- und Bedienteil, einem um spezielle Programmteile erweiterten GIS [7], einem Radarsensor zur Wegmessung und einem Gyroskop zur Bestimmung der Winkelgeschwindigkeit des Fahrzeuges.

Die Ermittlung der aktuellen Position des Traktors erfolgt durch Algorithmen, die die Positionsdaten vom GPS/DGPS-Empfänger mit den Werten von Radarsensor und Gyro-

skop verrechnen und mit den vorgegebenen sicherheitsrelevanten Koordinaten im GIS vergleichen [8]. Das Ergebnis ist eine Abstandsberechnung zu Hindernissen oder zu Feldgrenzen. Der Nutzer kann über das Terminal einen Mindestabstand vorwählen, bei dessen Unterschreitung das Sicherheitssystem aktiviert werden soll. Auf die Funktionsweise einzelner Programmteile zur Positions- und Abstandsbestimmung wird im Folgenden näher eingegangen.

### Positionsbestimmung auf dem Feld

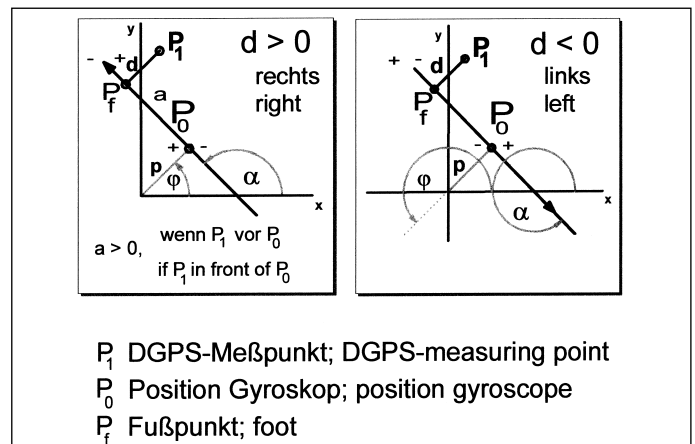
Bei stehendem Fahrzeug erfolgt zunächst die Kalibrierung des Nullpunktes des Gyroskops. Mit Anliegen der ersten mit DGPS gemessenen Position erhält man auch den ersten gemeinsamen Punkt der Ebenen Gyroskop/Radar und DGPS. Er ist der Ausgangspunkt für die zu berechnende Kurslinie der Ebene Gyroskop/Radar. Solange der Traktor steht, werden die folgenden DGPS-Messungen über Mittelwertbildung zur Verbesserung des Ausgangspunktes benutzt.

Mit Beginn der Traktorfahrt ist die Richtungsbestimmung möglich. In Abhängigkeit von der Genauigkeit der DGPS-Positionsdaten erfolgt die Ausrichtung der Koppellebene Gyroskop/Radar nach 5 bis 10 m mit ausreichender Übereinstimmung zu den empfangbaren DGPS-Werten.

Weitere notwendige Algorithmen sind die kontinuierlichen Positions- und Richtungskorrekturen dieser Ebene. Sie sind die Folge der möglichen Drift des Nullpunktes der Kalibrierkurve des Gyroskops, auftretender

Bild 1: Geometrie zur Anpassung der Ebenen Gyroskop/Radar und DGPS

Fig. 1: Geometric pattern for adapting the levels gyroscope/radar and DGPS



$P_1$  DGPS-Meßpunkt; DGPS-measuring point  
 $P_0$  Position Gyroskop; position gyroscope  
 $P_f$  Fußpunkt; foot

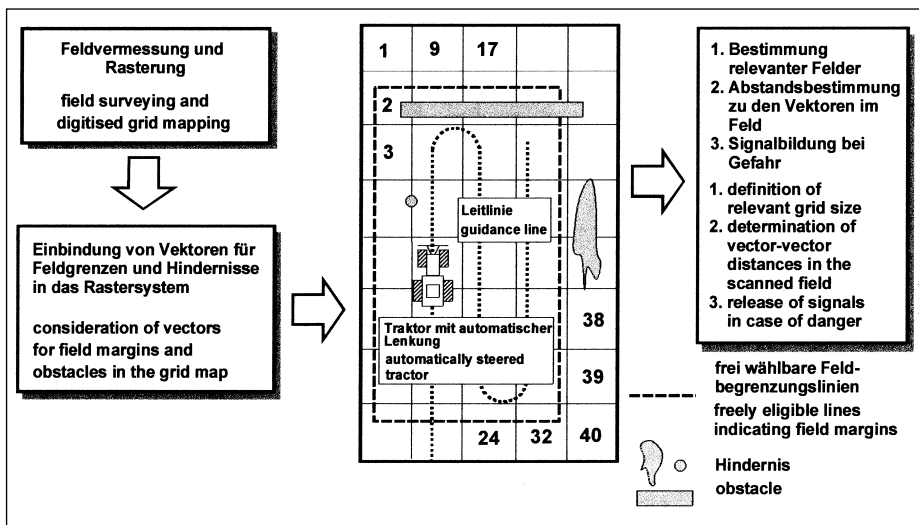


Bild 2: Prinzip der Datenverarbeitung für das Sicherheitssystem automatische Lenkung

Fig. 2: Scheme of the data processing in the safety system Automatic Guidance Control

Kalibrier- und systematischer Fehler des Rada-sensors und Fehler bei der Wegberechnung.

Um die fortlaufende Positions- und Richtungskorrektur der Ebene Gyroskop/Radar zu den DGPS-Messpunkten ausführen zu können, muss der Abstand mehrerer DGPS-Messpunkte von der berechneten Kurslinie analysiert werden. Dies kann mit Hilfe der Hesseschen Normalform erfolgen, da sie eine Richtungsbestimmung im gesamten Winkelbereich von  $0^\circ$  bis  $360^\circ$  und eine Regression ohne Bezug auf eine Achse ermöglicht.

$$x \cdot \cos \varphi + y \cdot \sin \varphi - p = 0 \quad (1)$$

Der Abstand  $d$  und die Lage eines Punktes relativ zur Fahrtrichtung lassen sich damit sehr einfach bestimmen mit

$$d = x_1 \cdot \cos \varphi + y_1 \cdot \sin \varphi - p \quad (2)$$

Dabei wird der Abstand  $d$  des DGPS-Messpunktes  $P_f$  senkrecht zur berechneten Kurslinie der Position Gyroskop  $P_0$  in Abhängigkeit von der Fahrtrichtung gerichtet bestimmt: liegt der Punkt  $P_f$  also links von  $P_1$ , ist  $d < 0$ , liegt er rechts, ist  $d > 0$ .

Der Abstand  $a$  ist der Abstand des Fußpunktes ( $P_f$ ) von  $d$  zur Position  $P_0$ . Mit der Hesseschen Normalform kann  $a$  ebenfalls gerichtet bestimmt werden. Der Abstand  $a > 0$  tritt ein, wenn  $P_1$  in Fahrtrichtung vor  $P_0$  liegt und umgekehrt (Bild 1).

### Abstandsrechnungen zu Hindernissen und zum Feldrand

Innerhalb des gemeinsam mit dem sächsischen Softwarehaus und GIS-Anbieters AGROCAD aus Kleinbardau entwickelten Zusatzmoduls zur „Rasterorientierten (Sperr)flächenverwaltung“ sind die folgenden Programmteile in der Reihenfolge abzuarbeiten (Bild 2):

- Bestimmung relevanter Raster mit Hindernis- oder Feldrandvektoren in Fahrtrichtung
- Abstandsbestimmung zu diesen Vektoren
- Signalbildung bei Gefahr, also bei Unterschreitung eines vorgegebenen (vorge-

wählten) Sicherheitsabstandes

Zur Abstandsrechnung werden die - wie in Bild 2 dargestellt - durchnummerierten Felder des Rasters rechts und links neben dem aktuellen Feld und die Felder in Fahrtrichtung vor der Traktorposition und rechts und links davon herangezogen. Für diese Felder wird überprüft, ob sich darin Vektoren für Feldgrenzen oder Hindernisse befinden. In der Vektordatei sind die Vektoren für den Feldrand und die Hindernisse getrennt als Punktdaten im Koordinatensystem eingetragen.

Für jeden Vektor werden die Variablen  $\varphi$  und  $p$  der Hesseschen Normalform sowie der Abstand  $L$  zwischen den Punkten berechnet (Bild 3).

Dabei wird überprüft, ob sich der Fußpunkt  $P_f$  des Lotes für die aktuelle DGPS-Position (im Bild 3 die Punkte  $P_{G-1}$  bis  $P_{G-3}$ ) vor dem Anfangspunkt, zwischen Anfangs- und Endpunkt oder hinter dem Endpunkt des Vektors befindet. Dazu wird der Abstand  $a$  des Fußpunktes  $P_f$  vom Anfangspunkt des Vektors  $P_0$  berechnet.

Ist  $a$  negativ, liegt  $P_f$  vor  $P_0$ , und der Abstand zu  $P_0$  muss als geringste Entfernung zum Vektor berechnet werden.

Ist  $a$  positiv und ist  $a \leq L$ , befindet sich  $P_f$  zwischen Anfangs- und Endpunkt. Es sind keine weiteren Berechnungen zu dem Vektor notwendig,  $d$  ist der Abstand zum Vektor.

Ist  $a > L$ , muss der Abstand zu  $P_1$  als geringste Entfernung zum Vektor berechnet werden.

### Anwendungsbeispiel

Im Bild 4 sind die mit den vorab beschriebenen Programmteilen berechneten Positionen der Ebenen Gyroskop/Radar und DGPS im Vergleich zur realen Fahrspur während der Feldüberfahrt eines automatisch gelenkten Traktors aufgezeichnet. Die maximalen Abweichungen von der tatsächlichen Position liegen im Bereich kleiner 5 m und genügen so den sicherheitsrelevanten Anforderungen.

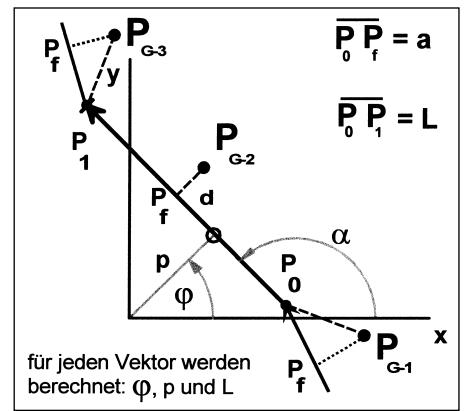


Bild 3: Geometrie zur Abstandsrechnung zu Hindernissen und zum Feldrand

Fig. 3: Geometric pattern for determining the distance to obstacles and field boundaries

Bei Annäherung des Traktors auf unter 10 m zum einem im vorliegendem Fall rein virtuellen Hindernis (schwarze Flächen) soll das Sicherheitssystem reagieren. Bei kontinuierlichem Leitlinienverlauf erfolgt die Lenkung durch die Sensorik der eingesetzten automatischen Lenkung. Die Positionsbestimmung durch GPS/DGPS-Empfänger und Gyroskop/Radar ermittelt parallel dazu relevante Sicherheitsfelder und deren Abstand zur aktuellen Traktorposition. Liegt dieser unter dem vorgewählten Sicherheitsabstand, ertönt ein Warnton.

### Fazit

Entsprechend den vorangestellten Zielvorgaben für ein Sicherheitssystem zur Warnung vor einer Unterschreitung selbstgewählter Sicherheitsabstände zu Hindernissen und Feldgrenzen lassen sich auch mit Sensoren und GPS-Techniken im unteren Kostenbereich Ergebnisse erzielen, die den praktischen Anforderungen im Feldeinsatz genügen.

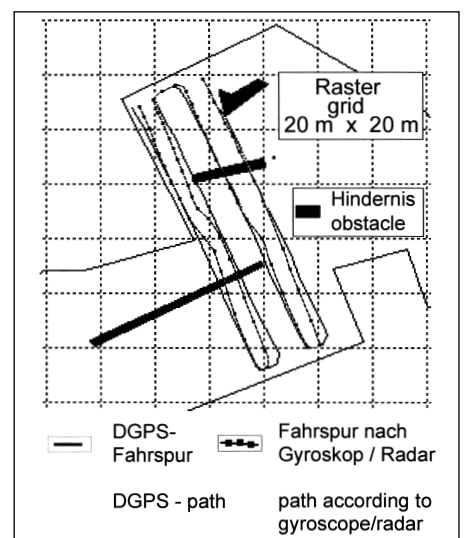


Bild 4: Feldversuch mit den Koppelstufen DGPS- und Gyroskop/Radar

Fig. 4: Field experiment with levels for coupling DGPS and gyroscope/radar