



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑪ CH 668 655 A5

⑤① Int. Cl.⁴: G 05 D 1/03

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ PATENTSCHRIFT A5

②① Gesuchsnummer: 1173/85

②② Anmeldungsdatum: 15.03.1985

②④ Patent erteilt: 13.01.1989

④⑤ Patentschrift
veröffentlicht: 13.01.1989

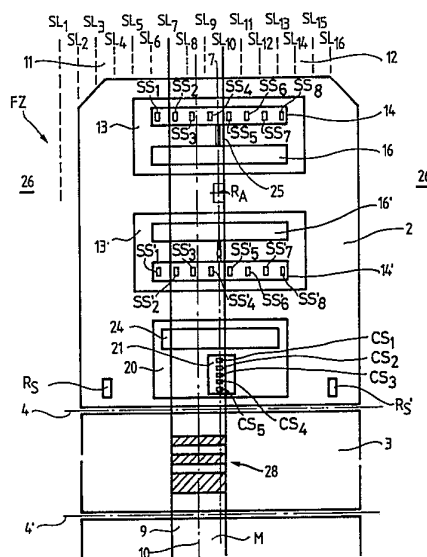
⑦③ Inhaber:
JD-Technologie AG c/o Gestinor Services AG,
Zug

⑦② Erfinder:
Bögli, Peter, Studen b. Brugg

⑦④ Vertreter:
E. Blum & Co., Zürich

⑤④ Passivspur-Einrichtung zur Führung und Steuerung von fahrerlosen Transport- und Montageeinheiten.

⑤⑦ Die Passivspur-Einrichtung enthält eine stark reflektierende, auf dem Boden angebrachte Passivspur (9) mit Strichcode (28), fahrzeuggestützte Passivspurleseeinrichtungen (13) sowie eine Strichcodeleseeinrichtung (20) und kann als Passivspur-Führsystem und/oder als Passivspur-Steuersystem betrieben werden. Das Fahrzeug (FZ) folgt der Passivspur (9) indem es mit Spursensoren (SS₁, SS₂...SS₈) und (SS'₁, SS'₂...SS'₈) die Fahrbahn (26) beidseits seiner Längsmittelachse (7) "beobachtet" und die so gemessenen IST-Wertesets (f₁, f₂...f₈) mit einem in der Auswerte-Elektronik (16) gespeicherten, den Spurlagen (SL₁, SL₂...SL₁₆) zugeordneten SOLL-Werteset (s₁, s₂...s₁₆) kreuzkorreliert. Für jede "Beobachtung" wird die entsprechende Kreuzkorrelationsfunktion ($\varnothing_{fs}(\tau)$) berechnet und daraus die Spurlage des Fahrzeuges (FZ) sowie ein Qualitätsfaktor für das Passivspur-System ermittelt. Die Funktionssteuerung erfolgt ebenfalls über die Passivspur (9), indem das Fahrzeug (FZ) mit Codesensoren (CS₁, CS₂...CS₅) den Strichcode (28) decodiert und als Steuersignal verarbeitet. Da die Passivspur (9) leicht und rasch auf dem Boden angebracht und auch wieder entfernt werden kann, ermöglicht sie eine freizügige Disposition des Streckennetzes und damit eine optimale Nutzung der Flexibilität gleisloser Fahrzeuge (FZ).



PATENTANSPRÜCHE

1. Passivspur-Einrichtung zur Führung und Steuerung von fahrerlosen Transport- und Montageeinheiten, enthaltend eine als Leitlinie am Boden angebrachte Passivspur (9) mit mindestens einem von der übrigen Fahrbahn (26) unterschiedlichen Merkmal (M) sowie eine fahrzeuggestützte Abtastvorrichtung zur Verfolgung der Passivspur (9), dadurch gekennzeichnet,
 - dass zur kontinuierlichen Spurführung des Fahrzeuges (FZ) an der Fahrzeugunterseite quer und symmetrisch zur Fahrzeuglängsmittelachse (7) in gegenseitigem Abstand (d) Spursensoren (SS₁, SS₂ ... SS_n) angeordnet sind zur Detektion eines n-Werte aufweisenden Ist-Wertesets (f₁, f₂ ... f_n) sowie ein Speicher vorgesehen ist für ein Soll-Werteset (S₁, S₂ ... S_{2n}) für im gleichen gegenseitigen Abstand (d) wie die Spursensoren quer und symmetrisch zur Passivspur-Mittellinie (10) verlaufende, 2n Spurlagen (SL₁, SL₂ ... SL_{2n}), welche beide die Passivspur (9) sowie die beidseits anschliessenden Bodenbereiche (11, 12) bezüglich des Merkmales (M) charakterisieren, dass ferner ein fahrzeuggestützter Rechner (17) vorgesehen ist zur statistischen Verknüpfung der beiden Wertesets, wobei daraus ein Qualitätsfaktor für die Passivspur abgeleitet ist, und
 - dass die Passivspur mit Unterbrüchen (27) einen Strichcode (28) aufweist, der zugleich als Information zur Fahrzeugsteuerung wie als Leitlinie zur Fahrzeugführung dient.
2. Passivspur-Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Rechner (17) für die statistische Verknüpfung zwischen dem Ist-Werteset (f₁, f₂ ... f_n) und dem Soll-Werteset (S₁, S₂ ... S_{2n}) mittels Kreuzkorrelation ausgebildet ist.
3. Passivspur-Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das den Spurlagen (SL₁, SL₂ ... SL_{2n}) zugeordnete, gespeicherte Soll-Werteset (S₁, S₂ ... S_{2n}) auf die Nenndaten der Einrichtung abgestimmt ist und den Mittelwert 0 aufweist.
4. Passivspur-Einrichtung nach Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Rechner (17) zur Ausführung eines Spurführungsalgorithmus vorgesehen ist, der die diskrete Kreuzkorrelationsfunktion $\Phi_{ff}(\tau)$ im Bereiche ihres Maximums zu einer kontinuierlichen Funktion ergänzt und hiezu die fehlenden Funktionswerte zwischen den Stützpunkten durch ein Interpolationsverfahren ermittelt.
5. Passivspur-Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine Vorrichtung für die Ermittlung eines Qualitätsfaktors für jede Zuordnung von Fahrzeug (FZ) und Fahrstreckenabschnitt (36) der Passivspur vorgesehen ist, der durch Majoritätsentscheid einzelnen Fahrzeugen (FZ) oder einzelnen Fahrstreckenabschnitten (36) zugeordnet ist.
6. Passivspur-Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass es sich beim unterschiedlichen Merkmal (M) um den optischen Reflexionskoeffizienten von Passivspur (9) und beidseits anschliessenden Bodenbereichen (11, 12) handelt.
7. Passivspur-Einrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Passivspur (9) durch Streichen oder Spritzen auf dem Boden angebracht ist oder aus einem aufgeklebten reflektierenden Metall- oder Kunststoffband besteht und gegenüber den beidseits anschliessenden Bodenbereichen (11, 12) einen erhöhten Reflexionskoeffizienten aufweist.
8. Passivspur-Einrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Passivspur (9) eine Breite aufweist, die dreimal dem Abstand (d) zwischen den Spursensoren (SS₁ ... SS_n) bzw. den Spurlagen (SL₁, SL₂ ... SL₁₆) entspricht.
9. Passivspur-Einrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Passivspur (9) nicht durchgehend,

sondern nur stückweise am Boden angebracht ist und in den Unterbrüchen vom Fahrzeug extrapoliert wird.

10. Passivspur-Einrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Strichcode (28) entsprechend der maximal zu erwartenden Spurabweichung breiter als die Passivspur (9) ausgebildet ist und/oder mit kontrastverstärkendem, reflexionsarmem Hintergrund unterlegt ist.

11. Passivspur-Einrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Strichcode (28) in Unterbrüchen der Passivspur (9) oder in den beidseits anschliessenden Bodenbereichen (11, 12) angeordnet ist.

12. Passivspur-Einrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass für den Strichcode (28) ein selbstkorrigierender Code verwendet wird und Pendelungen bis 5 mm während des Lesevorganges toleriert sind.

13. Passivspur-Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Leseköpfe (14, 14', 21) für die Passivspur (9) bzw. den Strichcode (28) als Teile einer integralen optischen Einheit ausgebildet sind.

BESCHREIBUNG

- 25 Die vorliegende Erfindung betrifft ein Passivspur-System zur Führung und Steuerung von fahrerlosen Transport- und Montageeinheiten, enthaltend eine als Leitlinie am Boden angebrachte Passivspur mit mindestens einem von der übrigen Fahrbahn unterschiedlichen Merkmal sowie eine fahrzeuggestützte Abtastvorrichtung zur Verfolgung der Passivspur. Solche Passivspur-Einrichtungen sind allgemein anwendbar, wenn es darum geht, fahrbare Objekte entlang einer Leitlinie zu führen und die Flexibilität gleisloser Förderanlagen optimal zu nutzen, wie z.B. beim Aufbau und Betrieb flexibler Fertigungssysteme.

Der bisherige Stand der Technik bei der Führung von fahrerlosen Transporteinheiten ist gekennzeichnet durch die weitverbreitete Verwendung von induktiven Schleifen, die im Boden elektrisch isoliert verlegt sind und von einem niederfrequenten Wechselstrom durchflossen werden. Die Verlegung solcher Schleifen im Boden ist aufwendig und die Flexibilität, die gleislosen Fahrzeugen eigen ist, wird damit auch schlecht ausgenutzt, da eine derart im Boden eingebaute Führungslinie nicht kurzfristig und auch nicht ohne Störung der Umgebung in ihrem Verlaufe geändert werden kann. Es sind deshalb schon seit längerer Zeit Führungssysteme bekannt, die passive, also nicht stromdurchflossene Leitlinien benützen. Solche passive Leitlinien sind ohne elektrische Isolation direkt an der Bodenoberfläche angebracht, so dass sie jederzeit auch wieder leicht und rasch entfernt werden können.

Die vorliegende Erfindung ist auf ein Fahrzeugführsystem mit passiver Leitlinie gerichtet, wie es in der DE-OS Nr. 2 949 204 beschrieben ist. Dieses Passivspur-Führsystem arbeitet nach dem Prinzip des Helligkeitsgleichgewichtes und verwendet als Leitlinie ein helles Band, das beidseits von zwei kontrasterhöhenden dunklen Bändern begrenzt ist. Vom Fahrzeug ausgesendetes Licht wird an den drei Bändern reflektiert und von zwei fahrzeuggestützten Lichtsensoren empfangen, die je ein Signal erzeugen, das proportional zur mittleren Helligkeit innerhalb gleichgrosser zugehöriger Messfenster ist. Liefert nun der erste Lichtsensor über dem zugehörigen Messfenster ein grösseres Signal als der zweite Lichtsensor über seinem Messfenster, wird die seitliche Spurlage des Fahrzeuges bezüglich des hellen und der beiden dunklen Bänder so korrigiert, dass beide Messfenster die gleiche mittlere Helligkeit aufweisen und das Helligkeitsgleichgewicht somit wieder hergestellt ist. So einfach dieses Spurführ-

system ist, so haften ihm doch eine Reihe von Nachteilen an: Vorerst ist die Empfindlichkeit des Systems eine Funktion des Kontrastes, also im allgemeinen proportional zu $(R_1 - R_2)/(R_1 + R_2)$ mit R_1, R_2 gleich den Reflexionskoeffizienten des hellen Bandes bzw. der beiden dunklen Bänder. Aus diesem Grunde muss ein möglichst hoher und vor allem konstanter Kontrast an den Spurkanen gesichert sein, sollen Stabilitätsprobleme im Lenk-Regelkreis vermieden werden. Auf die beidseits des hellen Bandes vorgesehenen dunklen Seitenbänder kann deshalb nicht verzichtet werden, was eine derart gestaltete Passivspur verteuert und deren Auslegung zu einem Wegnetz erschwert. Weitere Nachteile ergeben sich aus dem Umstande, dass dieses Spurführsystem ausserordentlich stark auf Verschmutzung reagiert, dies zum einen wegen der damit verbundenen Kontrastreduktion, zum anderen aber wegen der integralen Erfassung eines Helligkeitsmittelwertes im Gegensatz zu einem Kantentracking. Insbesondere führen die im allgemeinen zu erwartenden unsymmetrischen Verschmutzungswerte unmittelbar zu einem unkontrollierbaren Offset. Auch wird als nachteilig empfunden, dass sich das Spurführsystem gemäss DE-OS Nr. 2 949 204 nur so lange monoton verhält, als bei beiden Messfenstern die Aussenkanten innerhalb der dunklen Bänder und die Innenkanten innerhalb des hellen Bandes liegen. Ausserhalb dieses Bereiches ist ein indifferentes Verhalten oder sogar ein Verhalten mit inversen Vorzeichen zu beobachten. Es ergibt sich daraus ein reduzierter Fangbereich bei der Spurführung, was deren Zuverlässigkeit beeinträchtigen kann. Hier will die Erfindung Abhilfe schaffen.

Die Erfindung, wie sie in den Ansprüchen gekennzeichnet ist, löst die Aufgabe, bei einer Passivspur-Einrichtung für spurgeführte Transport- und Montageeinheiten die Flexibilität zu erhöhen sowie Aufbau und Funktion zu vereinfachen. Hiezu bezweckt die Neuerung, eine Leitlinie so zu gestalten, dass sie leicht und rasch am Boden angebracht und auch wieder entfernt werden kann und zugleich zur Spurführung wie zur Funktionssteuerung der Fahrzeuge dient. Auch soll das neue Betriebssystem weitgehend tolerant sein gegen Verschmutzungen von Leitlinie und Fahrbahn sowie eine erhöhte Störsicherheit und Funktionszuverlässigkeit aufweisen. Diese Aufgabe wird erfindungsgemäss mit den Mitteln gelöst, wie sie in der Fassung des unabhängigen Anspruches gekennzeichnet sind. Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben. Darüber hinaus weist eine mit diesen Mitteln gestaltete Passivspur-Einrichtung für spurgeführte Fahrzeuge noch zusätzliche Vorteile auf:

Erste Vorteile ergeben sich aus der Verwendung eines optischen Systems, dessen handelsübliche Sensoren bei den vorliegenden Mindestabständen eine höhere Auflösung besitzen als andere, z.B. induktive Sensoren. Dies ermöglicht dem Fahrzeug, seine momentane Position über der Fahrbahn sehr präzise festzustellen und dadurch die Passivspur mit grosser Genauigkeit zu verfolgen. Für den Strichcode bedeutet die höhere Auflösung der Leseeinrichtung eine grössere Informationsdichte; und dies ohne Verlust an Lesbarkeit. Offensichtlich lässt sich damit auf einem kurzen Streckenabschnitt eine grosse Anzahl der meist ortsgebundenen Steuerfunktionen abspeichern, was die Disposition der an Kreuzungen und Übergabestellen vom Fahrzeug auszuführenden Funktionen wesentlich erleichtert. Weiter hat sich als vorteilhaft erwiesen, dass die erfindungsgemässe Passivspur-Einrichtung Selbstüberwachung aufweist und dass aufgrund eines Qualitätsfaktors, der laufend berechnet wird, vorsorgliche Wartung möglich ist. Dadurch können Spurführeinrichtungen, die an sich gegen Verschmutzung empfindlich sind, auch im Freien oder unter generell erschwerten Bedingungen betrieben werden. Allfällige Störungen von Fahrbahn oder

Abtasteinrichtung werden nämlich durch den Qualitätsfaktor rechtzeitig angezeigt, so dass sie behoben werden können, bevor es zu einem Betriebsunterbruch kommt.

Wesentliche Vorteile ergeben sich auch aus dem Umstand, dass die Anlageteile für Spurführung und Funktionssteuerung beide opto-elektronisch, also in einheitlicher Technik, ausgeführt sind. So ist es möglich, die Leseköpfe für Passivspur und Strichcode in einem integrierten Optikblock zusammenzufassen. Zudem können verschiedene Elemente wie Elektronik-Prints, Gehäuse, Verbindungskabel usw. für beide unterschiedlichen Funktionen, nämlich sowohl für die Spurführung wie für die Codelesung, eingesetzt werden. Dadurch werden Zusammenbau, Montage und Justierung des Passivspur-Systems erleichtert und dessen Unterhalt inklusive Disposition von Ersatzteilen vereinfacht, was generell zu einer kostengünstigen Lösung führt.

Im weiteren ist die Neuerung voll kompatibel mit herkömmlichen induktiven Spurführeinrichtungen. So entspricht ihre Leseeinrichtung, bestehend aus Lesekopf und Auswerte-Elektronik, funktionell und in der Schnittstelle zur Fahrzeugsteuerung weitgehend der bekannten Ferritantenne mit nachfolgender Signalaufbereitung bei Induktionsschleifen. Die neue Passivspur-Einrichtung eignet sich deshalb vorzüglich zur Um- und Nachrüstung von bestehenden induktiven Spurführsystemen. Da überdies seine wesentlichen Merkmale, nämlich die Ausgestaltung der Passivspur, die spezielle optische Leseeinrichtung sowie die neuartige Auswertung der empfangenen Signale auf der Grundlage statistischer Mittelwertbildung auf den Betrieb gleisloser Fahrzeuge ausgerichtet sind, ist sein Einsatz, insbesondere bei flexiblen Fertigungssystemen, wirtschaftlich und effizient.

Die Erfindung ist im folgenden anhand der Beschreibung sowie der Zeichnung in ihrer Anwendung bei der Führung und Steuerung fahrerloser Transporteinheiten näher erläutert. In der lediglich dieses Anwendungsbeispiel der Erfindung darstellenden Zeichnung zeigen:

Fig. 1 schematisch eine Disposition der Passivspur-Einrichtung mit den Anlageteilen zur Führung und Steuerung eines Fahrzeuges.

Fig. 2a eine schematische Darstellung der grundsätzlichen Ausführung der Erfindung als Passivspur-Führeinrichtung bei zentrierter und dezentrierter Spurlage des Fahrzeuges.

Fig. 2b eine mögliche Ausbildung des Lesekopfes zur Verfolgung der Passivspur gemäss Fig. 2a.

Fig. 3a eine graphische Darstellung der Kreuzkorrelationsfunktionen bei zentrierter und dezentrierter Spurlage des Fahrzeuges gemäss Fig. 2a.

Fig. 3b eine graphische Darstellung zur Interpolation der Kreuzkorrelationsfunktion im Bereiche ihres Maximums.

Fig. 4 eine tabellarische Darstellung zur Auflistung und Auswertung gemessener Qualitätsfaktoren.

Fig. 5 eine schematische Darstellung der Erfindung als Passivspur-Steuereinrichtung mit Ausbildung des Strichcodes als Teil der Passivspur.

Fig. 6 im Grundriss und im Aufriss den integrierten Lesekopf zum Verfolgen der Passivspur sowie zum Lesen des Strichcodes.

Fig. 1 zeigt eine mögliche Ausbildung des Passivspur-Systems, wie es zur Führung und Steuerung eines Fahrzeuges FZ vorgesehen ist. Das Fahrzeug FZ besteht aus zwei mit einem lastaufnehmenden Stützkörper 3 und je einem Gelenk 4, 4' spiegelsymmetrisch verbundenen separaten Fahrzellen, die identisch aufgebaut sind und von denen im vorliegenden Beispiel bloss eine dargestellt und mit 2 bezeichnet ist. Jede Fahrzelle 2 enthält im wesentlichen ein nicht weiter dargestelltes lenkbares Antriebsrad R_A mit Fahr- und Lenkservo,

zwei nachlaufende Stützräder R_s , R_s' sowie die notwendigen Leseeinrichtungen 13, 20 zur Abtastung der Passivspur 9 bzw. des Strichcodes 28. Das derart ausgebildete Fahrzeug FZ ist hinsichtlich Vorwärts-/Rückwärtsfahrt vollkommen symmetrisch. Die Passivspur 9, die mit einfachen Verfahren wie Streichen, Spritzen oder Kleben dauerhaft auf dem Boden angebracht und zur Reparatur oder Änderung auch wieder leicht entfernt werden kann, besteht im Normalfall aus einem am Boden aufgeklebten, stark reflektierenden Kunststoffband. Der gewählte Kunststoff hat genügend hohen Kontrast zu einer Vielzahl von Böden unterschiedlichster Qualitäten, weist eine hohe Verschleissfestigkeit auf und ist resistent gegen übliche in der Industrie verwendete Stoffe. Auch kann eine derart ausgebildete Passivspur 9 mit Reinigungsmaschinen gesäubert werden. Das Passivspur-Führsystem besteht aus der am Boden angebrachten Passivspur 9 sowie aus den fahrzeuggestützten Passivspur-Leseeinrichtungen 13, 13' für Vorwärts- bzw. Rückwärtsfahrt mit ihren Leseköpfen 14, 14' und Auswerte-Elektroniken 16, 16'. Als aktive optische Elemente enthalten die Leseköpfe 14, 14' je 8 Spursensoren $SS_1, SS_2 \dots SS_8$ bzw. $SS_1', SS_2' \dots SS_8'$, die an der Fahrzeugunterseite angebracht sind. Mit $SL_1, SL_2 \dots SL_{16}$ sind 16 Spurlagen bezeichnet, in deren Bereichen die Fahrbahn je einen Helligkeitswert aufweist, der davon abhängt, ob das zugehörige Helligkeitsmessfenster ganz in der Passivspur 9 ($SL_8; SL_9$) oder ganz in den beidseits anschliessenden Bodenbereichen 11, 12 (SL_1 bis $SL_6; SL_{11}$ bis SL_{16}) oder je zur Hälfte in der Passivspur 9 und in den beidseits anschliessenden Bodenbereichen 11, 12 ($SL_7; SL_{10}$) liegt. Diese Helligkeitswerte stellen ein in Querrichtung verlaufendes diskretes Helligkeitsprofil der Fahrbahn dar, das als «Muster» dient. Eine allfällige Spurbewegung wird vom Fahrzeug dadurch ermittelt, dass es seine momentane Spurlage, die durch von den Spursensoren $SS_1, SS_2 \dots SS_8$ bzw. $SS_1', SS_2' \dots SS_8'$ gemessenen Lichtwerte definiert ist, mit dem «Muster» vergleicht. Zum Passivspur-Steuersystem gehören weiter der als Teil der Passivspur 9 ausgebildete Strichcode 28 sowie die fahrzeuggestützte Strichcode-Leseeinrichtung 20, enthaltend Lesekopf 21 mit Codesensoren $CS_1, CS_2 \dots CS_5$ und Auswerte-Elektronik 24.

In der Fig. 2a ist das Passivspur-Führsystem in Verbindung mit zwei Fahrzeugen FZ und FZ' dargestellt, welche bezüglich der Passivspur 9 zentriert bzw. um 1,25 Spurlagen nach rechts verschoben auf der Fahrbahn angeordnet sind. Dabei ist der Einfachheit halber nur das Führsystem für die Vorwärtsfahrtrichtung dargestellt. Die aus Lesekopf 14 und Auswerte-Elektronik 16 zusammengesetzte Passivspur-Leseeinrichtung 13 entspricht funktionell und in der Schnittstelle zur Fahrzeugsteuerung weitgehend der bekannten Ferritantenne für Induktivschleifen mit nachfolgender Signalaufbereitung, so dass optionell das eine oder das andere Spurführsystem verwendet werden kann. Zur Sicherstellung der Kompatibilität weist die an den Rechner der Fahrzeugsteuerung via Parallelausgang 30 übergebene Positionsinformation für beide Systeme die Form eines digitalen Wertes im Wertebereich -127 bis +128 auf. Die Leseeinrichtung ist weitgehend unempfindlich gegenüber Fremdlicht wie Arbeitsplatzbeleuchtung mittels Glüh- oder Gasentladungslampen, Sonnenlicht sowie IR-Einstrahlung von div. Lichtschranken usw., was auch durch eine gewisse Abschirmwirkung des Fahrzeugkörpers, vor allem gegen oben, erreicht wird. Aus Gründen der Rechengeschwindigkeit, der Auflösung und des Platzbedarfes wurde die Zahl der Spursensoren auf $n = 8$ festgelegt. Zur Sicherstellung des Fangbereiches sind die einzelnen Sensoren im Abstand von 12,5 mm linear quer zur Fahrtrichtung montiert. Die aktive Sensorfläche beträgt $3,2 \times 1,55$ mm. Bis zwei Leseköpfe können über das Kabel 25 an der Auswerte-Elektronik 16 angeschlossen werden. Diese

enthält einen Rechner- und einen Interface-Print 17 bzw. 18 und ist für die Wahrnehmung aller notwendigen Funktionen ausgerüstet. Die Software des Rechner-Prints enthält alle nötigen Programme für die Berechnung der Spurbelage mittels des später noch eingehend zu erläuternden Verfahrens für die Steuerung von Prüfungen wie z.B. Spurbeginn, Spurende sowie für die Datenübertragung zum Fahrzeugrechner.

Gemäss Fig. 2b kann der Lesekopf 14 mit einer 90-Grad-Strahlumlenkung versehen sein. LED's oder IR-Emitter 45 beleuchten den im Bereiche des Lesekopfes 14 liegenden Fahrbahnbereich, wobei das innerhalb der Spur-Helligkeitsmessfenster $SF_1, SF_2 \dots SF_8$ reflektierte Licht nach Umlenkung in einem mit einer 8fach-Sammellinie 37 integrierten Prisma 38 auf die aktive Fläche der Spursensoren $SS_1, SS_2 \dots SS_8$ geführt ist. Zur Maximierung der Lichtausbeute ist eine einfache Optik mit einem Abbildungsmassstab 4:1 eingebaut. Es wird damit ein aktives Spur-Helligkeitsmessfenster $SF_1, SF_2 \dots SF_8$ von $12,8 \times 6,20$ mm pro Spursensor erreicht. In Fig. 3a sind die Kreuzkorrelations-Funktionskurven 39, 40 dargestellt, wie sie der zentrierten bzw. dezentrierten Spurlage der beiden Fahrzeuge FZ bzw. FZ' in Fig. 2a entsprechen. Aufgrund des verwendeten Rastermasses d ergeben sich diskrete Funktionen, bestehend aus den Stützwerten 41, die den Stützstellen 1 bis 9 zugeordnet sind. Von Bedeutung sind die Maxima 42 und 43, da ihre zugeordneten Stützstellen, unabhängig von der Helligkeit der Passivspur 9 oder des Hintergrundes, mit den Spurlagen der Fahrzeuge FZ bzw. FZ' zusammenfallen und so deren Spurbewegung anzeigen. Die Funktionsmaxima 42, 43 können auf einen Stützwert fallen oder – was weit häufiger eintreffen dürfte – eine Lage zwischen den Stützwerten einnehmen. Im letzteren Falle kommt das in Fig. 3b dargestellte Verfahren zur Anwendung. Im Bereiche des Maximalwertes 47 der 9 Stützwerte ist die diskrete Kreuzkorrelationsfunktion durch eine kontinuierlich verlaufende Kurve 48 ersetzt, die sich durch quadratische Interpolation aus den Stützwerten 49, 50 und 51 in den Stützstellen M-1, M und M+1 ergibt. Der absolute Maximalwert ist dann mit 52 bezeichnet und nimmt die Lage M_{max} ein.

Die Fig. 4 betrifft den Qualitätsfaktor. In einer Tabelle ist für jede mögliche Zuordnung zwischen 8 Fahrstreckenabschnitten und 5 Fahrzeugen der zugehörige Qualitätsfaktor des Passivspur-Systems eingetragen, «1» für unbrauchbar, «255» für Idealzustand. Diese Qualitätsfaktoren werden von den Fahrzeugen berechnet, umfassen aber immer die Gesamtqualität des auf einem Fahrzeug FZ gestützten Teiles des Passivspur-Systemes und der Passivspur 9 im zugeordneten Fahrstreckenabschnitt 36. Beim Einsatz mehrerer Fahrzeuge auf dem selben Layout werden die Qualitätsfaktoren der Streckenabschnitte durch jedes einzelne Fahrzeug an die übergeordnete ortsfeste Steuervorrichtung übermittelt. Der ortsfeste Rechner, der auch beim Einsatz von prozessorgesteuerten Fahrzeugen zur Disposition usw. erforderlich ist, unterhält die Tabelle gemäss Fig. 4. Daraus ist ersichtlich, dass kein totaler Defekt vorliegt. Hingegen ergibt sich aus einer Majoritätsbetrachtung, dass die Passivspur 9 im Fahrstreckenabschnitt Nr. 2 an einer oder mehreren Stellen verschmutzt oder abgenutzt ist und dass das Fahrzeug Nr. 4 und eventuell auch das Fahrzeug Nr. 5 kontrolliert werden sollte.

In Fig. 5 ist das Passivspur-System als Passivspur-Steuersystem dargestellt, bestehend aus dem auf dem Boden angebrachten Strichcode 28 und der im Fahrzeug FZ eingebauten Strichcode-Leseeinrichtung 20. Der Strichcode 28 besteht grundsätzlich aus querverlaufenden Unterbrüchen 27 in der Leitlinie und ist somit integrierender Bestandteil der Passivspur 9. Wie sie kann auch der Strichcode 28 durch Verfahren

wie Streichen, Spritzen oder Kleben dauerhaft auf dem Boden angebracht und zur Reparatur oder Änderung auch wieder entfernt werden. Bei dem in Fig. 5 dargestellten Ausführungsbeispiel der Erfindung besteht der Strichcode 28 aus einem aufgeklebten reflexionsarmen Kunststoffband 29, das als kontrastverstärkender Hintergrund dient und auf dem die stark reflektierenden Codestreifen 31 aufgebracht sind. Diese bestehen aus dem selben Material wie die Passivspur 9, übertreffen dieselbe aber in der Breite, um auch bei grösseren Spurabweichungen eine zuverlässige Codelesung zu ermöglichen. Im weitem unterscheiden sich die Codestreifen 31 durch zwei unterschiedliche Längen als logisch «0» und logisch «1», so dass sie im vorliegenden Ausführungsbeispiel folgende Abmessungen aufweisen: 53×5 mm für logisch «0», $53 \times 11,5$ mm für logisch «1». Der Abstand zwischen den einzelnen Codestreifen 31 beträgt einheitlich 8 mm. Zum Initialisieren bzw. Beenden der Codelesung sind markante Unterbrüche 44, 44', beide $\geq 43,5$ mm, am Anfang und am Ende der Codesequenz vorgesehen. Eine weitere Ausführungsvariante für den Strichcode 28 besteht darin, ein dünnes Aluminiumblech auf dem Boden anzubringen, das im Muster des Codes schwarz/weiss eloxiert ist. Die im Fahrzeug FZ eingebaute Strichcode-Leseeinrichtung 20 für das Lesen des Strichcodes 28 besteht aus Lesekopf 21 und Auswerte-Elektronik 24 und ist in der Passivspur-Leseinrichtung 13, 13' integriert oder separat aufgebaut, wenn das Passivspur-Steuersystem alleine benutzt wird. Die Codesensoren CS₁, CS₂ ... CS₅ mit einer aktiven Sensorfläche von 1×1 mm sind in Fahrtrichtung hintereinander im Abstand von 1,5 mm angeordnet. Durch eine Optik mit einem Abbildungsmaßstab 2:1 wird eine aktive Codefläche von 2×2 mm erreicht. Zur Beleuchtung des Strichcodes 28 ist beidseits der Codesensoren CS₁, CS₂ ... CS₅ je eine Halbleiterlichtquelle 15, 15' eingebaut. Maximal zwei Leseköpfe 21 können über je ein Verbindungskabel 54 an die Auswerteelektronik 24 angeschlossen werden. Diese enthält einen Rechnerprint 55 und einen Interfaceprint 56 und ist für die Wahrnehmung aller zum normalen Betriebsablauf gehörenden Funktionen ausgerüstet.

Die durch Verwendung einer einheitlichen Technik ermöglichte Integration der Leseköpfe 14 und 21 für die Passivspur 9 bzw. den Strichcode 28 ist in Fig. 6 dargestellt. Auf einem Print 61 im Gehäuse 62 sind die Spursensoren SS₁ ... SS₈ sowie die Codesensoren CS₁ ... CS₅ mit ihren Abbildungsoptiken 63 bzw. 64 und Beleuchtungsdioden 45 bzw. 15 zu einem Optikkblock 65 zusammengefasst, der über eine Elektronik 66 und den Stecker 67 mit dem Fahrzeugrechner 17 verbunden ist. Diese Ausführungsvariante der Erfindung verzichtet auf die rechtwinklige Strahlumlenkung bei den Spursensoren SS₁ ... SS₈ und verwendet auch bloss eine Lichtquelle zur Beleuchtung der zugehörigen Spur-Helligkeitsmessfenster SF₁ ... SF₈.

Die Funktionsweise des erfindungsgemässen Passivspur-Systems sei im folgenden anhand seiner beiden wesentlichen Funktionen, nämlich Spurführung und Funktionssteuerung, erläutert.

Für die Funktion als Passivspur-Führsystem gemäss den Fig. 2a und 2b kommt den 8 Spursensoren SS₁, SS₂ ... SS₈ grundlegende Bedeutung zu. Sie «beobachten» die Fahrbahn und geben dem Fahrzeug FZ den Fahrbahnabschnitt bekannt, über dem es sich gerade befindet, indem sie elektrische Signale $f_1, f_2 \dots f_8$ liefern, die proportional zur mittleren Helligkeit innerhalb der Spur-Helligkeitsmessfenster SF₁ ... SF₈ im betreffenden Fahrbahnabschnitt sind und als Ist-Werte bezeichnet werden. Da die Spurlagen SL₁, SL₂ ... SL₁₆ auf der Fahrbahn 26 sowie die Spursensoren SS₁, SS₂ ... SS₈ an der Fahrzeugunterseite die gleiche Anordnung und den gleichen gegenseitigen Abstand d aufweisen und zusätzlich

die Breite der Passivspur 9 im vorliegenden Ausführungsbeispiel der Erfindung dreimal dem Spurlagenabstand d entspricht, ergeben sich – nach Signalaufbereitung – für die Lagen der beiden Fahrzeuge FZ, FZ' z.B. folgende Ist-Werte:

für Fahrzeug FZ: (zentrierte Spurlage)

$$n = \begin{array}{cccccccc} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \\ f(n) = & 0,1 & 0,1 & 0,5 & 0,9 & 0,9 & 0,5 & 0,1 & 0,1 \end{array}$$

für Fahrzeug FZ': (dezentrierte Spurlage)

$$n = \begin{array}{cccccccc} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \\ f(n) = & 0,1 & 0,9 & 0,9 & 0,9 & 0,1 & 0,1 & 0,1 & 0,1 \end{array}$$

Diese beiden Ist-Wertesets stellen zwei sich beidseits der Fahrzeuglängsmittelachse 7 über je 4 Spurlagenabstände erstreckende Helligkeitsprofile der Fahrbahnabschnitte dar, über denen sich die Fahrzeuge FZ, FZ' gerade befinden. Andererseits ergeben die den 16 Spurlagen SL₁ ... SL₁₆ entsprechenden Helligkeitswerte – nach zweckmässiger Umformung sowie Normierung gemäss nachfolgender Formel 3 – folgendes Soll-Werteset:

$$n = \begin{array}{cccccccc} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \\ s(n) = & -3/16 & -3/16 & -3/16 & -3/16 & -3/16 & -3/16 & +5/16 & +3/16 \end{array}$$

$$n = \begin{array}{cccccccc} 9 & 10 & 11 & 12 & 13 & 14 & 15 & 16 \\ s(n) = & +13/16 & +5/16 & -3/16 & -3/16 & -3/16 & -3/16 & -3/16 & -3/16 \end{array}$$

Dieses Soll-Werteset ist im Rechner 17 gespeichert und stellt ein normiertes Helligkeitsprofil der Fahrbahn dar, das sich beidseits der Passivspur-Mittellinie 10 in Querrichtung über je 8 Spurlagenabstände erstreckt.

Zur Bestimmung der Spurlage stellt das Fahrzeug FZ fest, welcher Bereich des Soll-Helligkeitsprofils am besten mit dem gemessenen Ist-Helligkeitsprofil übereinstimmt. Die Mittellage dieses Bereiches entspricht dann der Spurlage des Fahrzeuges FZ.

Rechnerisch wird die beste Übereinstimmung der beiden Helligkeitsprofile durch Kreuzkorrelation des Ist-Wertesets mit dem Soll-Werteset ermittelt. In unserem Fall sei die Kreuzkorrelation wie folgt definiert:

$$\Phi_{fs}(\tau) = \sum_{i=1}^n (f_i - \bar{f}) \cdot s_{i+\tau} \quad 0 \leq \tau \leq n \quad (1)$$

mit dem Mittelwert der n Ist-Messwerte f_i

$$\bar{f} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_i \quad (2)$$

und unter der Voraussetzung, dass der Mittelwert der 2n Soll-Werte s_i gleich Null ist

$$\sum_{i=1}^{2n} s_i = 0 \quad (3)$$

Nach Durchführung einer Berechnung nach Formel 1 liegt die Kreuzkorrelationsfunktion $\Phi_{fs}(\tau)$ zwischen n Sensor-

werten und $2n$ Spurlagenwerten in der Form von $n+1$ Stützpunkten vor.

Für die Spurlagen der beiden Fahrzeuge FZ, FZ' in Fig. 2a ergeben sich aufgrund der vorgenannten Wertesets für f_n , $f_{n'}$ und s_n die in Fig. 3a dargestellten Kreuzkorrelationsfunktionen $\Phi_{fs}(\tau)$ und $\Phi'_{fs}(\tau)$. Vorerst ist festzuhalten, dass es sich dabei, je nach der Grösse des Abstandes d , um diskrete bzw. pseudo-kontinuierliche Funktionen handelt. Im weiteren ist ersichtlich, dass die Spurlagen der Fahrzeuge FZ, FZ' durch die Maxima der zugehörigen Kreuzkorrelationsfunktionen $\Phi_{fs}(\tau)$ und $\Phi'_{fs}(\tau)$ gegeben sind. Es gilt demnach, als nächstes ein einfaches rechnerisches Verfahren zur Bestimmung des Maximums der Kreuzkorrelationsfunktion $\Phi_{fs}(\tau)$ anzugeben.

Die im vorliegenden Ausführungsbeispiel der Erfindung vorgesehene Verwendung von 8 Spursensoren mit gegenseitigem Abstand d stellt einen Kompromiss dar, um insbesondere den messtechnischen Aufwand klein zu halten. Dies bedingt eine diskrete Kreuzkorrelationsfunktion $\Phi_{fs}(\tau)$, welche die Spurlage eines Fahrzeuges nur im Rahmen des durch den Abstand d gegebenen Rasters erfassen kann, d.h., nur wenn die Fahrzeuglage mit einer Spurlage zusammenfällt. Andererseits wird das Fahrzeug aber mit weit grösserer Wahrscheinlichkeit ausserhalb des Rasters fallende Spurlage einnehmen, welche für die Bedürfnisse der Spurführung aus regelungstechnischen Gründen mit hoher Auflösung erfasst werden müssen. Die diskrete, 9 Stützwerte aufweisende Kreuzkorrelationsfunktion wird deshalb durch Interpolation der fehlenden Funktionswerte in eine kontinuierliche Funktion umgewandelt, wie man sie mit unendlich vielen Spursensoren auch erhalten würde. Die vollständige Lösung dieser Aufgabe, nämlich

- Aufstellen eines Polynoms n -ter Ordnung durch die $n+1$ Stützwerte
- Ableiten dieses Polynoms
- Berechnung der $n-1$ Wurzeln des Ableitungspolynoms
- Suche der mit dem absoluten Maximum im Definitionsbereich übereinstimmenden Wurzel

ist für den vorgesehenen Einsatzzweck zu rechenintensiv, da bei schneller Fahrt (bis 1,5 m/s) pro Rechenzyklus nur wenige Millisekunden zur Verfügung stehen.

Es wird deshalb ein anderes Verfahren verwendet, welches, bei vertretbarem Aufwand, sehr gute Ergebnisse liefert. Dabei geht man von der Erkenntnis aus, dass die Kreuzkorrelationsfunktion nur im Bereiche ihres Maximums einen kontinuierlichen Verlauf aufweisen muss, da nur dieser Bereich zur Ermittlung der Spurlage des Fahrzeuges von Bedeutung ist. Dieses neue Verfahren enthält die folgenden drei Schritte:

- 1) Von den $n+1$ Stützwerten wird das Maximum gesucht ($=M$).
- 2) Ein Polynom 2. Grades wird durch diesen Punkt und seine beiden Nachbarn links und rechts gelegt.
- 3) Die Ableitung dieses Polynoms ist eine Funktion 1. Grades (Gerade), deren Nulldurchgang einfach bestimmbar ist. Da die drei bestimmenden Stützwerte ein Maximum enthalten, muss der Nulldurchgang der Ableitung auch einem Funktionsmaximum entsprechen.

Diese Verfahrens-Schritte werden nachfolgend im Detail erklärt:

1. Schritt

Ist die Stützstelle M mit dem maximalen Funktionswert gefunden, muss sichergestellt werden, dass links ein Wert $M-1$, rechts ein Wert $M+1$ vorhanden ist. Liegt aber M auf 1 oder $n+1$, so wird das Maximum als gefunden betrachtet (1 bzw. $n+1$). Falls die drei Funktionswerte auf einer Geraden liegen, wird anstelle von Schritt 2 und 3 eine spezielle Behandlung durchgeführt.

6

2. Schritt

Es wird das folgende Polynom aufgestellt:

$$\Phi(m) = a_2 m^2 + a_1 m + a_0 \quad (4)$$

und die gefundene Stützstelle M (mit dem Maximalwert $\Phi(M)$) wird als Polynom-X-Wert $= 0$ gesetzt. Weiter wird angenommen:

$$(M+1) - M = ms = 1 \text{ und } (M-1) - M - ms = -1$$

Damit wird

$$a_0 = \Phi(M) \quad (5)$$

Mit den Beziehungen:

$$\Phi(M-1) = a_2 \cdot ms^2 - a_1 \cdot ms + \Phi(M) \quad (6)$$

$$\Phi(M+1) = a_2 \cdot ms^2 + a_1 \cdot ms + \Phi(M) \quad (7)$$

sind die beiden Polynom-Koeffizienten a_1 und a_2 zu bestimmen:

$$a_1 = \frac{\Phi(M+1) - \Phi(M-1)}{2ms} \quad (8)$$

$$a_2 = \frac{\Phi(M+1) + \Phi(M-1) - 2\Phi(M)}{2ms^2} \quad (9)$$

womit der 2. Schritt abgeschlossen ist.

3. Schritt

Es wird die Ableitung des Polynoms gebildet:

$$\frac{d\Phi}{dm} = 2a_2 ms + a_1 \quad (10)$$

Mit Null-Setzen und nach m Auflösen erhält man

$$m = -\frac{a_1}{2a_2} \quad (11)$$

In (11) für a_1 und a_2 Formel (8) und (9) eingesetzt:

$$m = \frac{\Phi(M-1) - \Phi(M+1)}{\Phi(M+1) + \Phi(M-1) - 2\Phi(M)} \cdot \frac{ms}{2} \quad (12)$$

mit m im Bereich: $-1 \leq m \leq 1$.

Das Ergebnis m ist der interpolierte Ort des Maximums der Kreuzkorrelationsfunktion bezogen auf den Ort M des Maximalstützwertes, womit der 3. Schritt abgeschlossen ist.

Die gesuchte Abweichung As der Spursensoren $SS_1 \dots SS_8$ gegenüber der Spurmitte kann nun wie folgt ermittelt werden:

$$As = \left(\frac{n}{2} + 1\right) - M - m \quad (13)$$

Falls die drei Funktionswerte $\Phi(M-1)$, $\Phi(M)$ und $\Phi(M+1)$ auf einer Geraden liegen, wird der Nenner in (12) zu Null. Dieser spezielle Fall ist je nach Steigung der Geraden gesondert zu behandeln:

- 1) Alle 3 Punkte weisen denselben Funktionswert auf, die Steigung der Geraden ist Null:

Das Maximum liegt bei M und somit $m = 0$

2) Die 3 Punkte weisen unterschiedliche Funktionswerte auf, das Maximum liegt beim höchsten der beiden äusseren Werte, ist die Steigung

positiv, liegt das Maximum bei $M+1$ und somit $m = 1$
negativ, liegt das Maximum bei $M-1$ und somit $m = -1$

Für die Funktion als Passivspur-Steuersystem gemäss Fig. 5 werden an bestimmten Stellen des Streckennetzes Informationen benötigt, damit das Fahrzeug (FZ) an der rechten Stelle eine bestimmte Funktion ausführt, wie z.B. Anhalten, Verzweigen, Lastübergabe, Geschwindigkeit reduzieren usw. Bei mit Prozessoren ausgerüsteten Fahrzeugen sind zusätzlich Informationen erforderlich, wie z.B. Orts- oder Streckenbezeichnungen, Übergabepplatz-Nummern usw., um einen möglichst autonomen, von ortsfesten Einrichtungen unabhängigen Betrieb zu gewährleisten. Diese Informationen, die meist aus mehreren Bits – einem Datenwort – bestehen und für die eine möglichst grosse Ortsgenauigkeit verlangt ist, sind im Strichcode (28) encodiert. Dieser wird von den Codesensoren $CS_1 \dots CS_5$ während der Fahrt oder im Stillstand gelesen und die so gewonnene Information der Fahrzeugsteuerung zugeleitet. Aus Gründen des praktischen Einsatzes ist die Anzahl der im Strichcode 28 enthaltenen dünnen (logisch «0») und dicken (logisch «1») Codestreifen 31 begrenzt. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel der Erfindung werden pro Datenwort 1 bis 16 Nutzbit und bis zu 5 zusätzliche Korrektur- bzw. Redundanzbit verwendet. Die Anzahl der Nutzbit wird je nach Anwendung festgelegt und bleibt innerhalb einer Anlage konstant.

Strichcodelesen erfolgt durch die 3 hintereinander angeordneten Codesensoren CS_1 , CS_2 und CS_4 und ist auch bei Fahrzeugstillstand oder Pendelbewegungen über dem Code möglich. Durch die Verwendung von 3 Codelesesensoren wird ein Pendeln auf den Codestreifen 31 mit Amplituden bis 5 mm erkannt und eine Mehrfachauswertung des

gleichen Codestreifens 31 ausgeschlossen. Mit den Codesensoren CS_3 und CS_5 wird das Codelesen initialisiert. Weil kein Strobosignal benötigt wird, kann der Lesekopf 21 mit den Codesensoren $CS_1 \dots CS_5$ bis $\pm 30^\circ$ schräg über den Strichcode 28 geführt werden.

Ein Codestreifen 31 für logisch «0» wird dadurch erkannt, dass die Codesensoren CS_1 , CS_2 und CS_4 abhängig vom vorherigen Zustand in einer von der Leserichtung abhängigen Kombination auf «Sensor-Eins»-Zustand übergehen. Ein Codestreifen 31 für logisch «1» wird dadurch erkannt, dass die Codesensoren CS_1 , CS_2 und CS_4 unabhängig vom vorherigen Zustand auf «Sensor-Eins»-Zustand übergehen. Beginn oder Ende des Codes wird durch einen markanten Unterbruch 44, 44' des reflektierenden Materials erzeugt, wodurch während einer längeren Periode sämtliche Sensoren, also Codelese- und Initialisierungs-Sensoren, in den «Sensor-Null»-Zustand übergehen. Der Abstand zwischen den Codestreifen 31 ist so gewählt, dass keiner der obigen Zustände für logisch «0», logisch «1» sowie Beginn oder Ende des Codes eintreten kann. Es ist immer mindestens einer der 3 Codelesesensoren CS_1 , CS_2 , CS_4 auf «Sensor-Eins»-Zustand.

Der wirtschaftliche Einsatz des erfindungsgemässen Passivspur-Systemes wird aber eindeutig bei seiner gleichzeitigen Verwendung zur Spurführung und Funktionssteuerung erzielt. Dabei ist die Passivspur 9 zweifach genutzt, nämlich von den Spursensoren $SS_1 \dots SS_8$ als Leitlinie und von den Codesensoren $CS_1 \dots CS_5$ als Informationsquelle. Auch wird der Strichcode 28, zusammen mit seiner eigentlichen Funktion für die Funktionssteuerung, gleichzeitig zur Spurführung eingesetzt. Obwohl die reflektierenden Codestreifen 31 einen geringeren Helligkeitsmittelwert aufweisen als die reguläre Passivspur 9, ist ihr Kontrast für die Spurführung ausreichend.

Fig.1

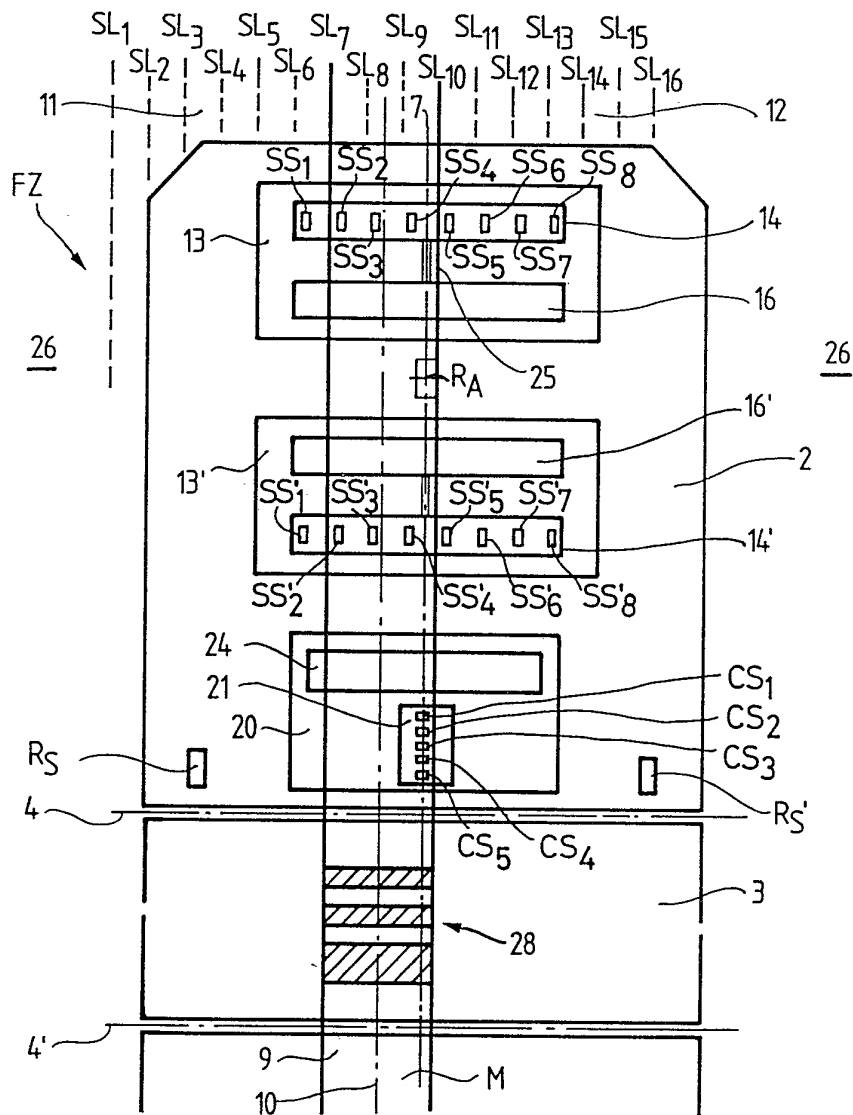


Fig.4

Fahrstrecken- Abs. Nr.	Qualitätsfaktoren, gemessen von den Fahrzeugen				
	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4	Nr. 5
1	155	120	193	45	107
2	55	67	83	33	71
3	125	102	160	54	95
4	187	151	210	63	120
5	201	168	224	82	131
6	190	152	211	74	125
7	161	129	199	41	115
8	134	110	161	59	99

Fig. 2a

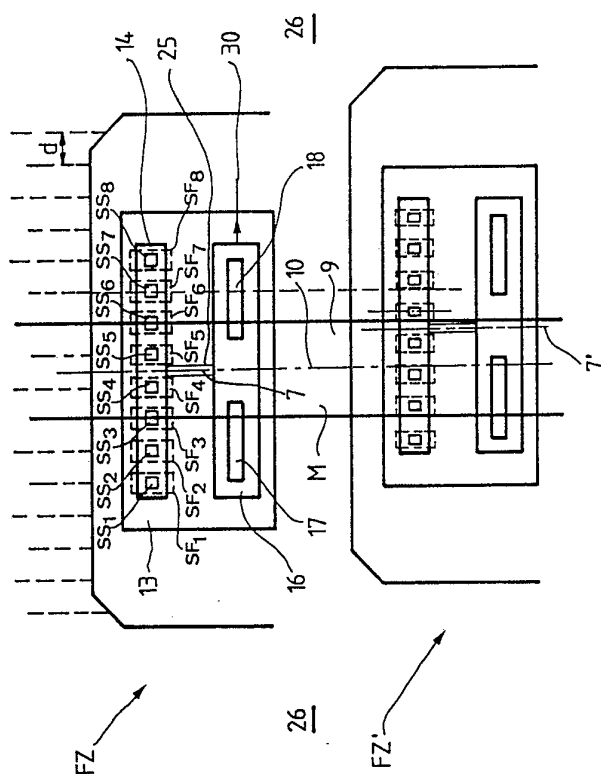


Fig. 2b

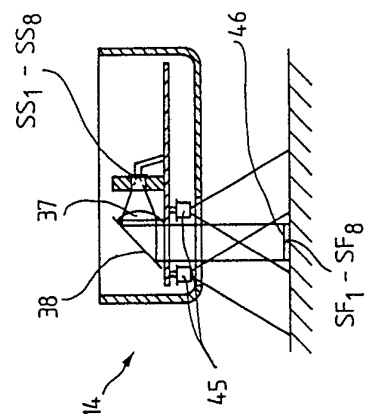


Fig. 3a

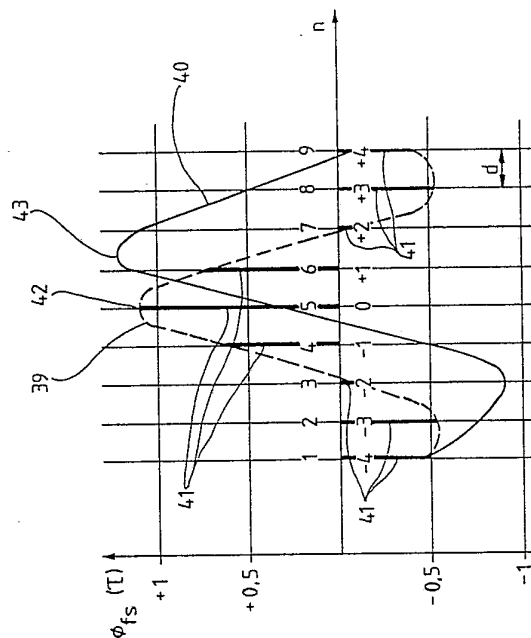


Fig. 3b

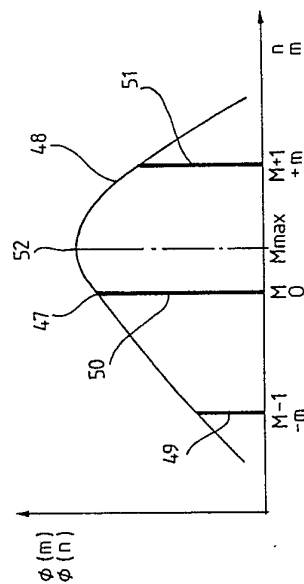


Fig. 6

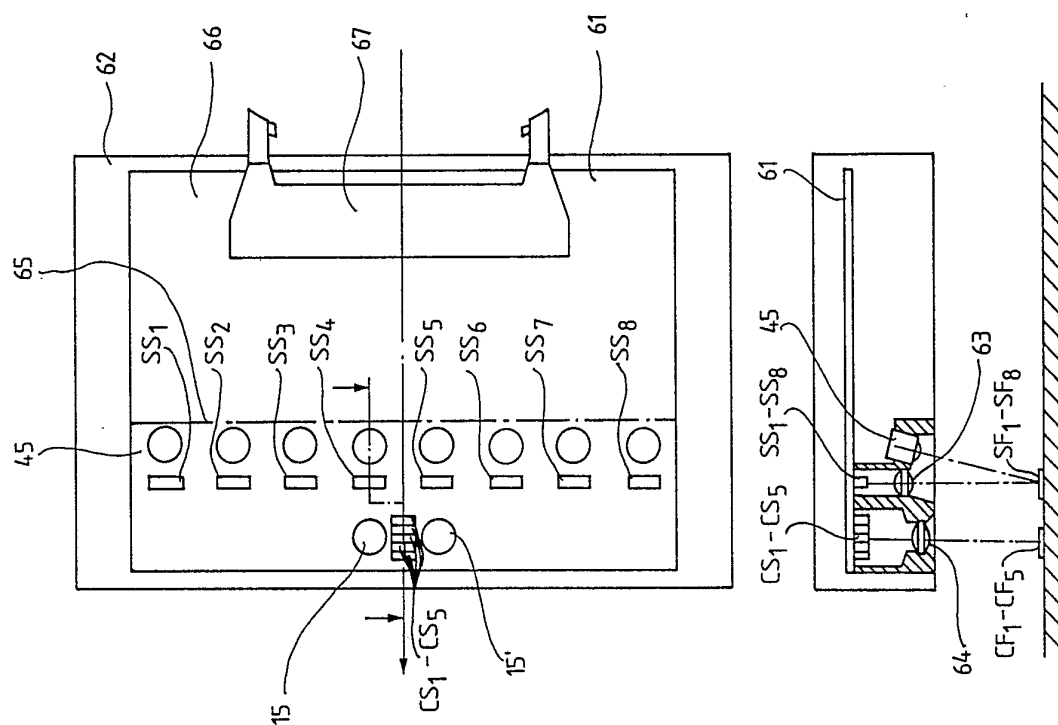


Fig. 5

