



(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

(19) DD (11) 251 320 A1

4(51) B 60 L 15/10

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) WP B 60 L / 292 889 0

(22) 25.07.86

(44) 11.11.87

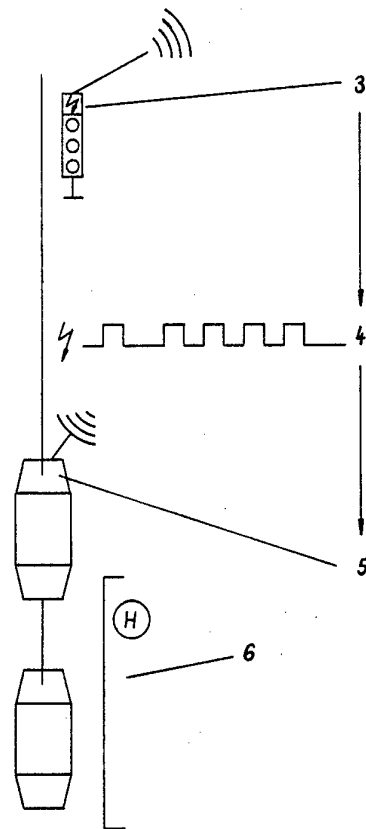
(71) Zentrales Forschungsinstitut des Verkehrswesens, Markgrafendamm 24, Berlin, 1017, DD

(72) Stawitzki, Michael, Dipl.-Ing.; Winter, Thomas, DD

(54) Verfahren zur energiesparenden Steuerung von Straßenbahnfahrzeugen

(57) Das Verfahren zur energiesparenden Steuerung von Straßenbahnfahrzeugen beinhaltet eine Lösung zur Einsparung von Traktionsenergie bei Straßenbahnen unter Berücksichtigung von nicht vorzugsweise für diese Fahrzeuge geschalteten Lichtsignalanlagen. Ziel ist es, durch Nutzung der Information von Lage und Länge der Grünphasenzeit einer Lichtsignalanlage ein ungestörtes, das heißt eine zweite Anfahrt ausschließende Strategie und damit energiesparendes Passieren derselben zu erreichen. Grundlage bildet erfindungsgemäß die gerätetechnische Anordnung einer Funk-Sende/Empfangsanlage an den Lichtsignalanlagen, sowie ein auf Mikrorechner aufbauendes Fahrzeugrechnersystem. Die im Fahrzeugrechner abgespeicherten optimale Fahrstrategien zum Befahren eines Abschnittes werden neben der zu berücksichtigenden Istzeitlage in einem weiteren zeitlichen Zusammenhang, der nämlich die Grünphasenlänge und -lage, eines mit Lichtsignalanlagen versehenen Abschnittes berücksichtigt, gestellt. Als Anwendungsgebiet ist der gesamte Straßenbahnverkehr zu sehen. Die prinzipielle Anordnung, die das Wesen bestimmenden Hauptkomponenten, ist Fig. 2 zu entnehmen. Fig. 2

Fig. 2



**Erfindungsanspruch:**

Verfahren zur energiesparenden Steuerung von Straßenbahnfahrzeugen unter Berücksichtigung stationärer mikrorechnergestützter Straßenverkehrslichtsignalanlagen außerhalb des Haltestellenbereiches bestehend aus Anfahrt, Beharrungsfahrt, Auslauf und Bremsen, **dadurch gekennzeichnet**, daß einer Lichtsignalanlage für einen sich ständig wiederholenden Signalbildzyklus der Form „rot-rot/gelb-grün-grün/gelb-gelb und wieder rot“ ein Nullpunkt (1) definiert ist, der mit dem Grünphasenanfangspunkt (1) identisch ist und mit Hilfe eines Zählers eine aktuelle Zeitinformation bezogen auf den zurückliegenden festgelegten Nullpunkt (1) in digitaler Form gebildet und daraus eine Zeitdifferenz (2) zum nächstfolgenden Nullpunkt (1) ermittelt und gemeinsam mit einem im Speicher der Lichtsignalanlage vorhandenen Zeitfestwert, der aus einer Lichtsignalannäherungszeit — als optimale Fahrzeit zwischen einer Haltestellenanlage und Lichtsignalanlage aus dem Stützstellenspektrum (zeitabhängige Aneinanderreihung von Umschaltpunkten) ermittelt — abzüglich einer Vorhaltezeit, die ein auf den Fahrer bezogener subjektiver Wert zum optischen Erkennen des Grünphaseneintritts (1) darstellt, besteht, als digitales Datentelegramm (4) gesendet wird, das außerdem eine Kennung der Lichtsignalanlage, — Kennungsbits —, ein Start- (7), Stop- (12), Prüf- (11) und Reservebits (10) und von einer Empfangseinrichtung (5) auf dem Straßenbahnfahrzeug aufgenommen und nach einem Vergleich mit den gespeicherten Kennungsbits (8) für die Lichtsignalanlage verglichen und danach zur weiteren Verarbeitung im Rechner freigegeben, wobei der Zeitfestwert zuzüglich der Grünphasenzeit mit der Zeitdifferenz verglichen und die Schalthandlung Anfahren vorgenommen wird wenn die Zeitdifferenz (2) innerhalb des Intervalls Zeitfestwert und Zeitfestwert plus Grünphasenlänge liegt, wobei Abschaltgeschwindigkeit und Schaltpunkte für Beharrungsfahrt, Auslauf und Bremsung wie im Stützstellenspektrum vorgegeben genutzt werden und für den Grünphasenfall ist demzufolge auf nur ein den Gesamtabschnitt berücksichtigendes Stützstellenspektrum zurückzugreifen und bei zu erwartenden Rotlage — was aus dem negativen Vergleich der Zeitdifferenz und/oder bedingter Haltestellenräumung abzuleiten ist — wird der Gesamtabschnitt in zwei, die örtliche Lage der Lichtsignalanlage berücksichtigende Teilabschnitte mit eigenständigen Stützstellenspektren geteilt und es erfolgt ein Anfahren bis zur Abschaltgeschwindigkeit, die durch das Auslaufverhalten bis zur Lichtsignalanlage bestimmt wird, wobei eine entsprechende Markierung im Datentelegramm (4) den Zustand — grün ja/nein — bei der Auswahl der zutreffenden Abschnittsdaten berücksichtigt und den streckengemäßen Zugriff zu den anschließenden Folgedaten sichert und die Berücksichtigung, der einer Linie zuzuordnenden Reihenfolge von Lichtsignalanlagen erfolgt derart, daß ein spezieller Lichtsignalanlagen-Richtungs-Datenblock die Aufeinanderfolge in Abhängigkeit vom Linienverlauf organisiert, wobei die adreßseitige Ansteuerung dieses Datenblocks innerhalb der energieoptimalen Steuerung erfolgt und bei Lichtsignalanlagen mit mehreren Freigaberichtungen wird das Datentelegramm (4) neben der Umlaufzeit auch eine Freigaberichtungsnummer übertragen und im anderen Fall ein Anfahren bis zur Abschaltgeschwindigkeit, die durch das Auslaufverhalten bis zur Lichtsignalanlage bestimmt ist, vorgenommen wird.

Hierzu 2 Seiten Zeichnungen

**Anwendungsgebiete**

Verfahren zur energiesparenden Steuerung von Straßenbahnfahrzeugen unter Berücksichtigung stationärer Mikrorechner gestützter Straßenverkehrslichtsignalanlagen, im weiteren Lichtsignalanlagen genannt, außerhalb des Haltestellenbereichs.

**Charakteristik der bekannten technischen Lösung**

Bekannt ist ein Verfahren (DD B 60 L 15/20, Nr. 208324), bei dem die funktionalen Beziehungen für die Schaltpunkte  $v_{AB}$ ,  $s_{AB}$  sowie  $s_B$  und der Fahrzeit  $t_F$  auf der Basis diskreter Fahrzeiten und damit für diskrete Fahrstrategien durch eine digitale Simulation von Zugfahrten entsprechend den realen Streckenverhältnissen wie Haltepunktstand, Weg-Neigungs- und Weg-Geschwindigkeitsprofil und den realen Zug- bzw. Fahrzeugverhältnissen wie Fahrwiderstand, Geschwindigkeits-Zugkraftcharakteristik, Zugmasse und Bremsverzögerung auf einer stationären EDV im voraus ermittelt werden. Diese funktionalen Beziehungen  $v_{AB} = f(t_F)$ ,  $s_{AB} = f(t_F)$  und  $s_B = f(t_F)$  können somit zunächst durch diskrete Stützstellen beschrieben werden.

Für vereinfachte Bedingungen ist es damit unter Umständen zweckmäßig, die Funktionen  $v_{AB} = f(t_F)$ ,  $s_{AB} = f(t_F)$ ,  $s_B = f(t_F)$  durch eine stückweise Linearisierung darzustellen und die für beliebige Fahrzeitvorgaben gesuchten Werte  $v_{AB}(t_F)$ ,  $s_{AB}(t_F)$  oder  $s_B(t_F)$  durch Geradengleichungen, lineare Interpolationsbeziehungen o. ä. zu ermitteln. Durch eine geeignete Anzahl von Stützstellen können die durch die Linearisierung verursachten Fehler in vertretbaren Grenzen gehalten werden. Die auf dem Fahrzeug zu installierende Borelektronik hat damit vor allem die Aufgaben der Speicherung der Stützstellen  $v_{AB}$ ,  $s_{AB}$ , sowie  $s_B$  und  $t_F$  und der Abarbeitung der erforderlichen

Rechengesetze. Die jeweilige Speicherplatzadresse für die zu dem aktuellen Streckenabschnitt zugehörigen Stützstellen erfolgt durch Summieren der zurückgelegten Streckenabschnitte in einem Abschnittszähler und gleichfalls abgespeicherter Rechenvorschriften unter Nutzung des aktuellen Zählerstandes im Abschnittszähler. Die Abspeicherung der Werte  $v_{AB}$ ,  $s_{AB}$  und  $s_B$  wird durch je ein oder mehrere aus 3 Bit bestehende Speicherworte realisiert. Die in Abhängigkeit von der aktuellen Fahrzeitvorgabe ermittelten optimalen Umschaltunkte  $v_{AB}$ ,  $s_{AB}$  und  $s_B$  können sowohl über eine digitale Anzeigevorrichtung an den Triebfahrzeugführer ausgegeben werden und dieser realisiert die eigentliche Zugsteuerung (open-loop-Steuerung) als auch unmittelbar an eine selbsttätige Steuereinrichtung übergeben werden (closed-loop-Steuerung), so daß der Triebfahrzeugführer mit Hilfe der Anzeigevorrichtung im wesentlichen nur eine Kontrollfunktion ausübt. Die bemerkenswerte Charakteristik des Verfahrens auf der Grundlage der Verarbeitung von diskreten Stützstellen besteht darin, daß sowohl Abschaltgeschwindigkeiten als auch Abschaltwege durch eine mathematische Vorschrift und mittels eines Stützstellensatzes pro Streckenabschnitt berechnet werden können. Die Ergebnisinterpretation und damit die Art und Weise der Fahrregimeempfehlung resultiert dabei unmittelbar aus dem Monotonieverhalten der für jeden Streckenabschnitt abgespeicherten Folge von Stützstellen. Ergeben die  $n$  Funktionswerte der Stützstellen mit dem Zählindex von  $j = 1$  bis  $j = n$  eine monoton fallende Folge im strengen Sinne, so ist jede der Stützstellen und damit das Berechnungsergebnis als eine Abschaltgeschwindigkeit zu interpretieren. Weicht der Funktionswert der Stützstelle  $j = n$  von dieser Monotie ab, wird durch diesen eine Abschaltgeschwindigkeit repräsentiert; alle übrigen  $n - 1$  Funktionswerte werden als Abschaltwege identifiziert. Liegt die verfügbare Fahrzeit im Bereich der Stützstellen  $j = n - 1$  und  $j = n$ , erfolgt ein Austausch der  $j = (n - 1)$ -ten (Weg) — Stützstelle mit der zulässigen strecken- oder fahrzeugabhängigen Höchstgeschwindigkeit, die aus dem Wert der  $j = n$ -ten Stützstelle über vereinbarte mathematische Beziehungen oder einfache Festlegungen ermittelt werden kann. Der Funktionswert der  $j = n$ -ten Stützstelle muß dabei stets einen größeren Betrag als der der  $j = (n - 1)$ -ten Stützstelle aufweisen, um als Geschwindigkeit erkannt zu werden. Diese Voraussetzung ist bei geeigneter Zahlendarstellung mit den praktischen Gegebenheiten vereinbar. Der Fall  $v_{AB}(j = n) \leq s_{AB}(j = n - 1)$  ist für die Praxis gegenstandslos. Die dargestellte technische Lösung zur energieoptimalen Fahrweise hat den Nachteil, daß das für die Straßenbahn zufällige Wirken von Lichtsignalen dazu führt, das angestrebte energieoptimale Prinzip stark einzuschränken und unter bestimmten Bedingungen unbrauchbar zu machen. Damit ist ein Energiemehrverbrauch verbunden.

### Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist die Senkung des Verbrauchs von Traktionsenergie.

### Darlegung des Wesens der Erfindung

Die Ursachen der Mängel sind hinsichtlich eines fahrplanmäßigen und energieoptimalen Fahrens im rein zufälligen Auftreten von Störungen in Form von Schaltphasen der Lichtsignalanlage zu sehen. Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, die streng determinierte energieoptimale Fahrweise unter den Bedingungen der zufälligen Behinderung durch Lichtsignalanlagen durchzusetzen. Wobei zu berücksichtigen ist, daß Straßenbahnfahrzeuge und übrige Verkehrsteilnehmer gleichberechtigt sind.

Erfindungsgemäß wird bei Straßenbahnfahrzeugen das Verfahren bestehend aus Anfahrt, Beharrungsfahrt, Auslauf, Bremsen bei dem sich ständig wiederholenden Signalbildzyklus der Form „rot-rot/gelb-grün-grün/gelb-gelb und wieder rot“ einer Straßenverkehrslichtsignalanlage ein Nullpunkt definiert, der mit dem Grünphasenanfangspunkt identisch ist.

Mit Hilfe eines Zählers wird eine aktuelle Zeitinformation in digitaler Form, bezogen auf den zurückliegenden festgelegten Nullpunkt gebildet. Anschließend wird die Zeitdifferenz zwischen dieser aktuellen Zeitdifferenz und dem nächstfolgenden Nulldurchgang ermittelt.

Ferner ist im Speicher der Lichtsignalanlage ein Zeitfestwert eingespeichert, der aus einer Lichtsignalannäherungszeit — optimale Fahrzeit zwischen Haltestelle und Lichtsignalanlage — ermittelt aus dem Stützstellenspektrum (zeitabhängige Aneinanderreihung von Umschaltunkten) — abzüglich einer Vorhaltezeit, besteht. Darüber hinaus ist eine individuelle 8–10 Bit breite Ampelcodierung in diesem Speicher abgelegt.

Die sich ständig verändernde Zeitdifferenz und der Zeitfestwert, sowie die Kennung der Lichtsignalanlage — Kennungsbits — sind Inhalt eines digitalen Datentelegramms, das fortlaufend ausgesendet wird. Das Datentelegramm enthält außerdem Start-, Stopp- und Prüf- als auch Reservebits. Ob der Inhalt eines Datentelegramms für die Verarbeitung auf dem Fahrzeugrechner freigegeben wird, ist davon abhängig, ob beim Vergleich zwischen den Liniendaten des Fahrzeugrechners, die die Ampelkennung enthalten und dem empfangenen Datentelegramm Übereinstimmung festgestellt wird.

Nunmehr wird der Zeitfestwert zuzüglich der Grünphasenzeit mit der Zeitdifferenz verglichen. Die Schalthandlung Anfahren wird vorgenommen, wenn die Zeitdifferenz innerhalb des Intervalls Zeitfestwert und Zeitfestwert plus Grünphasenlänge liegt und eine Räumung bedingt durch Nachfolgefahrzeuge nicht erforderlich ist. Abschaltgeschwindigkeit und Schaltpunkte für Beharrungsfahrt, Auslauf und Bremsen sind wie im Stützstellenspektrum vorgegeben zu nutzen.

Für den Grünphasenfall ist demzufolge auf nur ein, den Gesamtabschnitt berücksichtigendes Stützstellenspektrum zurückzugreifen. Bei zu erwartender Rotlage — was zu  $T_{Diff}$  und bedingter Haltestellenräumung abzuleiten ist — wird der Gesamtabschnitt in 2, die örtliche Lage der Lichtsignalanlage berücksichtigende Teilabschnitte mit eigenständigen Stützstellenspektren geteilt. Es erfolgt eine Anfahren bis zur Abschaltgeschwindigkeit, die durch das Auslaufverhalten bis zur Lichtsignalanlage bestimmt wird. Eine entsprechende Markierung im Datentelegramm berücksichtigt den Zustand — grün ja/nein — bei der Auswahl der zutreffenden Abschnittsdaten und sichert den streckengemäßen Zugriff zu den anschließenden Folgedaten.

Die Berücksichtigung der einer Linie zuzuordnenden Reihenfolge von Lichtsignalanlagen erfolgt derart, daß ein spezieller Lichtsignalanlagen-Datenblock die Aufeinanderfolge in Abhängigkeit vom Linienvverlauf organisiert. Die adreßseitige Ansteuerung dieses Datenblockes erfolgt innerhalb des Algorithmus zur energieoptimalen Steuerung.

Bei Lichtsignalanlagen mit mehreren Freigaberichtungen wird innerhalb des Datentelegramms neben der Umlaufzeit auch eine Freigaberichtungsnummer übertragen, die einen eindeutigen Richtungsverlauf beschreibt.

Dem Fahrer wird im ersten Falle neben der Zeitinformation auch das zu erwartende Signalbild mittels einer grünen Lampe, in den übrigen Fällen mittels einer roten Lampe angezeigt. Auch der technologisch häufig vorkommende Fall der Abfertigung von 2 Straßenbahnfahrzeugen in einem Haltestellenbereich mit nachfolgender Lichtsignalanlage kann damit energiesparend gestaltet werden.

### Ausführungsbeispiel

Die Erfindung soll an nachstehendem Ausführungsbeispiel erläutert werden. Die zugehörigen Zeichnungen zeigen:

Fig. 1: Veranschaulichung eines Signalzyklusses in einem Kreisdiagramm mit definiertem Nullpunkt.

Fig. 2: Technisch notwendige Einrichtungen für die Übertragung eines Datentelegramms von einer Lichtsignalanlage zu einem Fahrzeugrechner.

Fig. 3: Aufbau eines Datentelegramms.

Entsprechend der Darstellung nach Fig. 1 wird innerhalb einer wahlfrei zu gestaltenden Zykluslänge und -folge in den Beginn der Grünphase ein hier so benannter Nullpunkt, definiert. Ein in diesem Punkt gestarteter Zähler ermittelt fortlaufend die verbleibende Restzeit, im folgenden Zeitdifferenz  $t_{Diff}$ , genannt, zum nächsten Grünphasenbeginn. Diese Zeitdifferenz  $t_{Diff}$  wird in digitaler Form von 8-Bit Breite zur Verfügung gestellt. Fig. 2 zeigt die Übertragung der mittels geeigneter Meßeinrichtung ermittelten Zeitdifferenz  $t_{Diff}$  und des Zeitfestwertes  $t_{Fest}$  als Bestandteil eines Datentelegramms (4) siehe auch Fig. 4 von einer Sendeeinrichtung (3) der Lichtsignalanlage zu einer Funkempfangseinrichtung (5) auf dem Straßenbahnfahrzeug. Die im Speicher der Lichtsignalanlage abgelegte Festzeit  $t_{Fest}$  setzt sich wie folgt zusammen:

$$t_{Fest} = t_{LSAan} + t_{Phgn} - t_{vorhalt}$$

$$t_{Diff} > = < t_{Fest}?$$

In der weiteren Verarbeitung erfolgt ein Vergleich der Zeitdifferenz  $t_{Diff}$  mit einem im Speicher des Fahrzeugrechners ermittelten echtzeitbezogenen Wertepaar von Abschaltgeschwindigkeit und zugehöriger Fahrzeit. Der Vergleich wird jedoch nur zugelassen, wenn der Inhalt des Datentelegramms (4) mit den Kennungsbits (8) der Lichtsignalanlage und gegebenenfalls der Freigaberichtungsnummer, mit dem streckenmäßig gleichermaßen gekennzeichneten Wegpunkt des Speichers auf dem Fahrzeug übereinstimmt. Wird die Forderung erfüllt und ergibt der Vergleich eine Relation

$$t_{Diff} > = t_{Fest}$$

wird die Ausgabe einer energieoptimalen Abschalttempfehlung bewirkt, kehrt sich dieses Vergleichsergebnis um, also

$$t_{Diff} < t_{Fest}$$

kann ein Ampelzyklus, vorausgesetzt es besteht keine Notwendigkeit zur Räumung der Haltestelle, bis zum nächsten optimalen Abfahrzeitpunkt gewartet werden, oder für den Fall der Räumung eine optimale Empfehlung zum Erreichen der Lichtsignalanlage ausgegeben werden.

Parallel zur Anzeige der Zeitdifferenz  $t_{Diff}$  im Fahrzeug wird eine grüne bzw. rote Lampe angesteuert, die bezogen auf den Abfahrzeitpunkt, also im Ergebnis des oben genannten Vergleiches eine optische Aussage zum zu erwartenden Signalbild der Lichtsignalanlage gemacht.

Mit Auswertung bestimmter Zeitinformationen von Lichtsignalanlagen erfolgt somit auf solchen Abschnitten eine Einsparung von Traktionsenergie.

Fig. 2

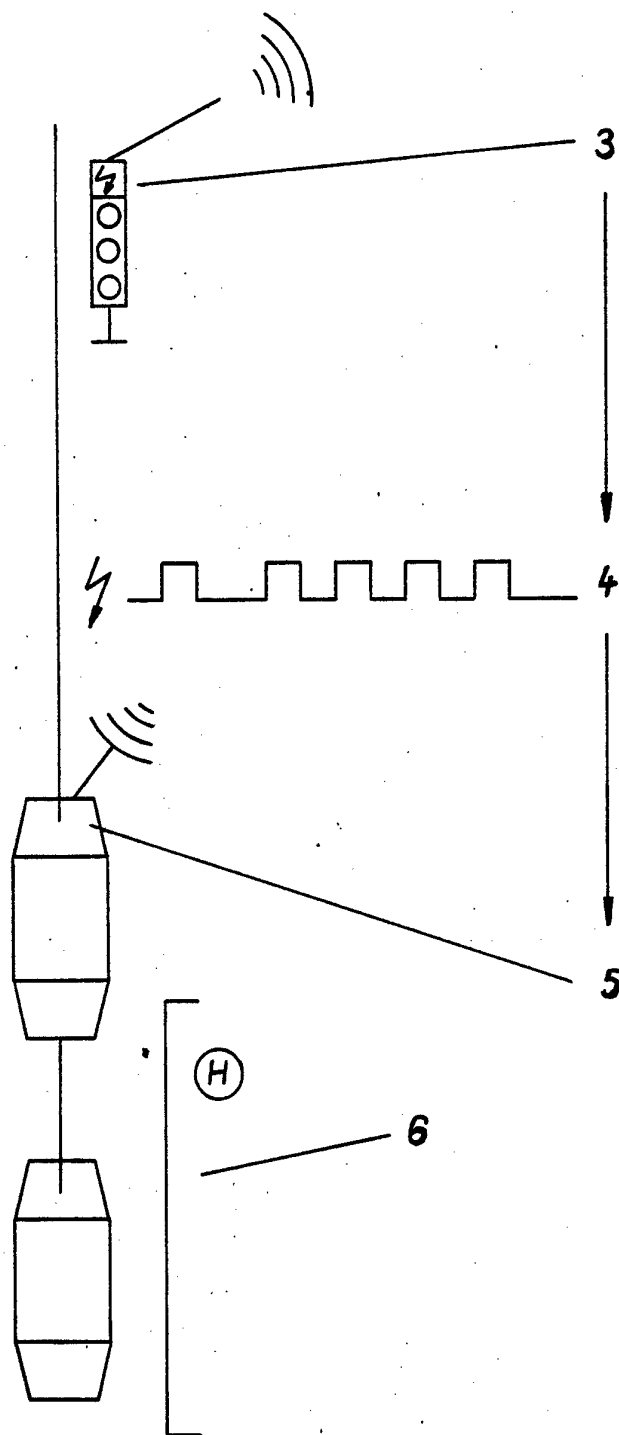


Fig. 1

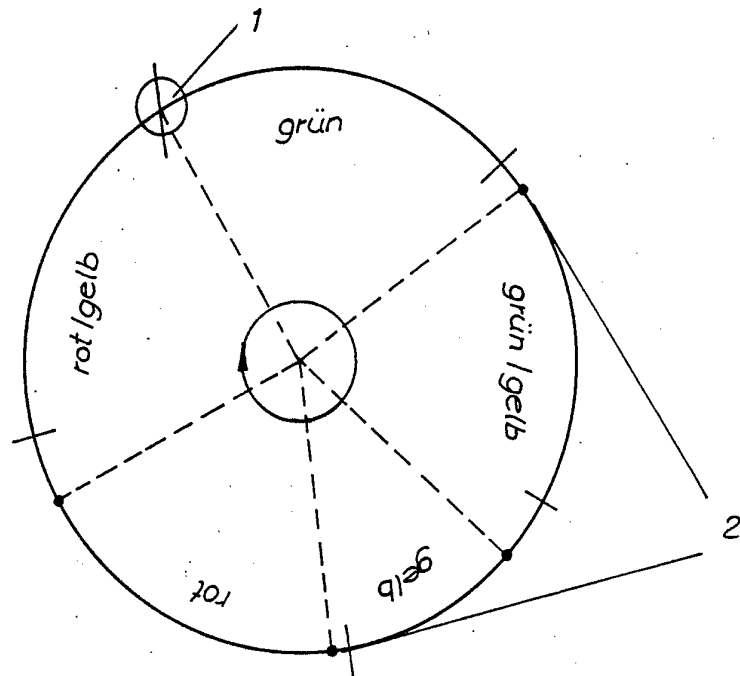


Fig. 3

