DEUTSCHE DEMOKRATISCHE REPUBLIK

PATENTSCHRIFT

(12) **Wirtschaftspatent**

(19) **DD** (11) **239 369 A1**

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

4(51) **B 23 Q 17/09**

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21)	WP B 23 Q / 278 627 3	(22)	16.07.85	(44)	24.09.86

(71) Akademie der Wissenschaften der DDR, 1086 Berlin, Otto-Nuschke-Straße 22/23, DD
(72) Schwarze, Günter, Dr.-Ing.; Rösler, Ulrich, Dr., DD

(54) Anordnung zur automatischen Überwachung von ein- und mehrschneidigen Werkzeugen an Bearbeitungsmaschinen

(57) Die Erfindung betrifft die Werkzeugüberwachung an automatischen Bearbeitungsmaschinen. Die Aufgabe besteht darin, eine Anordnung zu schaffen, mit der eine Überwachung von Werkzeugen auf Schneidkantenbruch und -verformung und eine Bewertung dieser Schneidkantenveränderungen möglich ist. Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß eine festmontierte Video-Festkörperzeilenkamera dem gleichmäßig bewegten Werkzeug gegenübersteht, die ein Zoom-Objektiv mit motorisch verstellbarer Brennweite besitzt, die mit einem Analog-Digital-Wandler sowie mit einem Bildverarbeitungsprozessor, mit einem Mikrorechner und einer Ausgabe- bzw. Steuereinheit verbunden ist. Das kontinuierlich bewegte Werkzeug wird von einer Beleuchtungseinrichtung so beleuchtet, daß jede Schneidkante als optische Kante hervorgehoben und von der Kamera als Grauwertbild abgetastet wird. Das Grauwertbild läßt sich dann von dem Prozessor zeilenweise zu einem Kantenbild verarbeiten, das nach einer Codierung durch Freeman-Ketten beschrieben wird. Diese Ketten werden anschließend vermittels der Programme des Mikrorechners mit den Ketten von gleichen, unbeschädigten Werkzeugen verglichen, ihre Unterschiede durch die Werte von ausgewählten Merkmalen beschrieben und diese Werte einem Klassifikator zugeführt, der über die Qualität des Werkzeuges durch Klassenzuordnung entscheidet.

ISSN 0433-6461

16 Seiten

Erfindungsanspruch:

1. Anordnung zur automatischen Überwachung von ein- und mehrschneidigen Werkzeugen an Bearbeitungsmaschinen, **dadurch gekennzeichnet,** daß eine Festkörper-Zeilenkamera (20) mit motorisch brennweiten-verstellbaren Objektiv zur Erzeugung einer zweidimensionalen Abbildung des Werkzeuges dem Werkzeugrevolver bzw. der Werkzeugspindel starr montiert gegenübersteht, daß eine Beleuchtungsvorrichtung vorhanden ist, die das sich bewegende Werkzeug so gerichtet beleuchtet, daß jede Schneidkante als optische Kante hervorgehoben und von der Kamera als Grauwertbild abgetastet wird, daß das Werkzeug (10) bei der zeilenweisen optischen Abtastung gleichmäßig bewegt wird, wobei die Geschwindigkeit so groß ist, daß mit allen abgetasteten Zeilen mindestens eine vollständige Abwicklung des Werkzeuges (10) bzw. seine Gesamtlänge erfaßt wird und daß die Kamera (20) mit einer digitalen Bildauswertungseinheit verbunden ist, die mindestens aus einem A/D-Wandler (30) und einer Recheneinheit (50; 60) mit Speicher (40) besteht, mittels derer aus dem grauwertig digitalisierten Rasterbild die Schneiden repräsentierenden optischen Kanten detektiert, in Richtungs- und Knotensymbole codiert, zu Ketten -Freeman-Ketten zusammengefügt und abgespeichert werden, eine Bestimmung der Werzeugposition erfolgt, indem die Anfangspunkte bzw. -gebiete der die Schneiden repräsentierenden optischen Kanten durch Auswahl der Gebiete, die während des Bearbeitungsvorganges nicht beschädigt werden und die gleichzeitig in der Kettendarstellung eine typische Folge von Kettenelementen oder typischen Kombinationen von Kettenstücken ergeben, bestimmt werden, die Signale der Kettenelemente der Freeman-Ketten der Schneidkanten des zu untersuchenden Werkzeugs (10) mit den Signalen der Kettenelemente der Freeman-Ketten — Modellketten — der Schneidkanten von unbeschädigten Referenzwerkzeugen, die vorher ermittelt und gespeichert werden, verglichen werden, wobei das Ergebnis der Vergleiche Differenz-Freeman-Ketten sind, die die Unterschiede der verglichenen Ketten beim Vergleich als Merkmalswerte beinhalten und die Differenzketten zur Entscheidung des Werkzeugzustandes klassifiziert werden, wobei die Klassifizierungsschwellen in einer vorangegangenen Lernphase ermittelt werden.
2. Anordnung nach Punkt 1, **dadurch gekennzeichnet,** daß die Bildverarbeitung vollständig durch einen Prozessor realisiert wird, der durch einen Mikrorechner für die aufeinanderfolgenden Verarbeitungsstufen paßweise oder gemäß einer Pipelineanordnung parallel programmiert wird und wobei der Mikrorechner den Datenfluß steuert.
3. Anordnung nach Punkt 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet,** daß durch die Abspeicherung verschiedener Kantenbeschreibungen als Referenzen (Modelle) unterschiedliche Schneidwerkzeuge überwachbar sind.
4. Anordnung nach Punkt 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet,** daß die Erzeugung der Freeman- und Knotencodierung für die Freeman-Ketten-Darstellung und die Erzeugung der Segmente für die Differenzkette durch Tabellenabfrage realisiert werden, womit eine schnelle Abarbeitung gesichert ist.
5. Anordnung nach Punkt 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet,** daß nach Erkennung einer Schneidkantenverformung bzw. eines Ausbruchs frühzeitig ein automatischer Werkzeugwechsel veranlaßt werden kann, womit Ausschuß reduziert oder vermieden und Maschinenschaden vorgebeugt werden kann.

Hierzu 10 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur automatischen Kontrolle von Schneidwerkzeugen an numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen. Solche Anordnungen werden vorzugsweise an numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen, wie Dreh- und Fräsmaschinen, aber auch an allen anderen Verarbeitungsmaschinen benötigt, bei denen ein Schneid- oder Abschälvorgang die Verarbeitung charakterisiert und dessen Werzeuge durch Schneiden gekennzeichnet sind. Erforderlich sind solche Anordnungen, um den Verarbeitungsvorgang unter ständiger Kontrolle des Werkzeugzustandes automatisch ablaufen zu lassen, womit bei hoher Maschinenauslastung Ausschuß und Maschinenschaden vermieden wird.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Bekannt ist eine Anordnung nach DD-WP 119731, die über ein optisches Signalgebersystem für eine punktweise Abtastung einer Werkzeuglängsachse eingesetzt werden kann. Dazu wird mittels der Maschinenachsen die Werkzeugspitze in eine Position gebracht, in der sie einen Lichtstrahl des optischen Signalgebersystems unterbricht und der so gebildete Impuls als Nullposition für das Werkzeug gilt. Als Meßsystem gilt ein Schrittmotor, der die für verschiedene Wegstrecken notwendigen Impulse über einen Zähler erhält und in Verbindung mit einer Steuereinheit die Positionierung des Werkzeuges vornimmt. Wird ein gebrochenes oder verschlissenes Werkzeug in die gleiche Längsposition gebracht, so wird infolge der fehlenden Werkzeugspitze der Lichtstrahl nicht unterbrochen und daher der weitere Bearbeitungsablauf unterbrochen.
Bekannt ist weiterhin eine Anordnung nach DD-WP 0153746, die zur flächenmäßigen Kontrolle eines Werkzeuges auf Bruch und Verschleiß sowie zur Überwachung des Bearbeitungsraumes eingesetzt werden kann. In dieser Einrichtung wird mit einer schwenkbar angeordneten Videokamera in einer Position das in der Hauptspindel befindliche Werkzeug und in der anderen Position der Bearbeitungsraum erfaßt. Die Kamera ist einerseits mit einem Monitor und andererseits mit einem A/D-Wandler verbunden und besitzt ein Objektiv mit motorisch einstellbarer Brennweite. Dieser A/D-Wandler besitzt eine Recheneinheit, der ein Digitalspeicher zugeordnet ist, so daß in einer Koinzidenzschaltung das Bit-Muster des Videobildes der Kamera und das des

Digitalspeichers als Referenzbild vergleichbar ist.
Bekannt ist weiterhin eine Anordnung nach DD-WP 207574, die zur Identifikation des Werkzeugbruchs während des Spanens mit geometrisch bestimmten Schneiden die gemessene Leisung des Hauptantriebes und des Vorschubantriebs bzw. die betreffenden Motorströme der Werkzeugmaschine und die daraus folgenden Quotienten als Größen des Verschleißes und den ständigen Vergleich dieser Quotienten mit zwei einstellbaren Grenzwerten verwenden. Anstelle der Antriebsleistungen oder Motorströme sind auch Zerspankraftkomponenten bzw. wahlweise Leistungs- und Kraftgrößen zur Quotientenberechnung einsetzbar.
Bekannt ist schließlich eine Anordnung WP-AZ G01N/2486648, mit optoelektronischen Sensor zur automatischen berührungslosen Bestimmung der Verschleißmarkenbreite an spanenden Werkzeugen. Hierbei wird das von der spiegelnden Verschleißfläche des Werkzeuges reflektierte Licht einer fokussierenden Lichtquelle auf einen optischen Sensor mit einer Sensorzeile abgebildet und in elektronischen Baugruppen in ein digitales Flächenmaß transformiert, das als Maß für die Verschleißmarke und damit für den Verschleiß des Werkzeuges dient.
Nachteilig bei den genannten Anordnungen ist, daß die ausgebrochene Schneide nicht erkannt wird, wenn die Werkzeugspitze stehen geblieben ist oder wenn durch die beliebige Drehwinkelstellung des ruhenden Werkzeuges Ausbrüche optisch verdeckt und damit grundsätzlich nicht erkennbar sind.
Weiterhin ist in diesen Anordnungen nachteilig, daß nur die Silhouette des ruhenden Werkzeuges ausgewertet wird und damit Details, die nur im Grautonbild enthalten sind, nicht bewertet werden können. Weiterhin ist nachteilig, daß die gesamte Bildinformation der Videokamera ohne Datenreduktion mit einem entsprechenden Referenzbild bildpunktweise verglichen wird und damit unvertretbar lange Bildverarbeitungszeiten und zu große Speicherkapazitäten in Kauf genommen werden müssen. Weiterhin ist eine Klassifikation von Merkmalsunterschieden in Fehlerklassen nicht vorgesehen.
Nachteilig für Bruch- und Verschleißmessungen durch Motor-Leistungs- und Kraftmessungen sind die notwendigen Vergleichmaße, die von der Werkzeugmaschine, ihrem Zustand (z. B. Alter), der Kombination Werkzeug-Werkstück und den Verarbeitungsparametern (Vorschub, Schnittgeschwindigkeit und -tiefe) abhängen; ebenso nachteilig ist es, daß die genannten Messungen nur dann verwertbare Aussagen über den Werkzeugzustand liefern, wenn es sich um große Ausbrüche und große Werkzeuge handelt.
Schließlich ist bei dem genannten optoelektronischen Verschleißsensor nachteilig, daß die reflektierende Verschleißmarke nur als binäre Abbildung, nicht aber im grauwertigen Detail, bewertet wird, daß die Lichtreflektion von der Sauberkeit der Verschleißmarke (z. B. öl- und schmutzfrei), vom Material des Werkzeuges und des Werkstücks, vom Beginn der Messung und ihrer Dauer abhängt, und daß Ausbrüche nur unter zu Hilfenahme einer zweiten Intensitätsschwelle erfaßbar sind.

Ziel der Erfindung

Als Ziel der Erfindung soll unter Beseitigung der genannten Nachteile erreicht werden, daß ein- und mehrschneidige Werkzeuge automatisch durch eine Postprozeßmessung, die auf der Anwendung von Verfahren der optischen Bildaufnahme sowie der Bildverarbeitung und -erkennung beruht, überwacht werden können und durch die bei Ausbruch oder anderen Schneidkantenverformungen frühzeitig ein Werkzeugwechsel veranlaßt wird, womit bei voller Maschinenauslastung ohne Unterbrechung des Arbeitsprozesses Ausschuß bzw. Maschinenschaden vermeidbar ist.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Überwachung von ein- und mehrschneidigen Werkzeugen mittels einer Grauwertbildaufnahme, -verarbeitung und -erkennung bei gleichmäßiger Bewegung (Translation oder Rotation) des Werkzeuges vorzunehmen. Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch die im kennzeichnenden Teil des Anspruchs angegebenen Merkmale gelöst.
Die digitale Bildverarbeitung und -erkennung, im folgenden als Bildauswertung bezeichnet, besteht darin, daß zunächst im grauwertig digitalisierten Rasterbild die optischen Kanten mittels bekannter Verfahren detektiert, anschließend diese Kanten durch Richtungs- und Knotensymbole codiert und diese Symbole zunächst zu Teilketten, die jeweils Abschnitte zwischen Kettenverzweigungen repräsentieren, zusammengefügt werden. Aus der Liste aller Teilketten lassen sich mittels einfacher werkzeugspezifischer Moedellvorstellungen Ketten (Freeman-Ketten) extrahieren, die die signifikanten optischen Kanten beschreiben. Unter signifikanten optischen Kanten sind hier die Schneidkanten des Werkzeugs zu verstehen. Die so gewonnene Kettendarstellung der signifikanten Kanten wird zu einem direkten Vergleich mit in einer Lernphase gewonnenen Referenzkettendarstellung benutzt. Anschließend wird eine Klassifikation der Kettenunterschiede als Abweichungen zwischen beiden Darstellungen (der aktuellen und Referenzkettendarstellung) in Qualitätsstufen der Schnittkanten und damit der überwachten Werkzeuge durchgeführt. Dieses Klassifikationsergebnis wird an die Werkzeugmaschinensteuerung übergeben, die entsprechend diesem Ergebnis ein Signal zum Stop der Werkzeugmaschine, zum Werkzeugwechsel oder zur Weiterarbeit ausgibt. Vor der Arbeitsphase der Anordnung läuft interaktiv eine Lernphase ab, durch die der vom Werkzeugtyp, seiner Größe und freien Länge abhängige Bildausschnitt festlegbar ist und durch die Schwellen des Klassifikators dem technologischen Befund angepaßt sind.
Im folgenden seien die Stufen der Bildauswertung, die sich an die Detektion optischer Kanten anschließen, näher erläutert:

1. Kettendarstellung signifikanter Kanten
   Für die Kettendarstellung von Kantenbildern existieren mehrere Vorschläge in der Literatur. Wesentlich für das vorliegende Problem ist jedoch die zusätzliche Aufgabe, die Werkzeugposition, die nicht mit dem Zeitpunkt des Beginns der zeilenweisen Abtastung und damit nicht mit dem Beginn der Erzeugung der zweidimensionalen Rasterbilder synchronisiert ist, zu bestimmen. Das bedeutet, daß im abgetasteten Bild signifikante Punkte oder Gebiete gesucht werden müssen und von denen ausgehend, die Anfangspunkte der signifikanten optischen Kanten, die die Werkzeugschneiden repräsentieren, gefunden werden müssen. Derartige signifikante Punkte oder Gebiete sind solche, die

— mit hoher Wahrscheinlichkeit während des Bearbeitungsvorganges nicht beschädigt werden und
— sich gleichzeitig in der Kettendarstellung durch eine typische Folge von Kettenelementen oder eine typische Kombination von Kettenstücken beschreiben lassen.

Die erste Bedingung ist ausschließlich technologisch begründbar, während sich die zweite Bedingung sowohl auf die Werkzeugeometrie als auch auf die Bedingungen der Bildauswertung bezieht.

Zur Werkzeuggeometrie gehören hier sowohl die geometrischen Abmessungen der Werkzeuge als auch Messungen darüber, ob es sich um ein — oder mehrschneidige Werkzeuge, d. h. ob es sich um gerade oder gekrümmte Schneidkanten handelt.

Die aus der Bildauswertung ableitbaren Bedingungen führen zu Tests, ob eine Kombination von Teilketten, die sich insgesamt in einer Liste von Teilketten befinden, wobei jede Teilkette eine vorgegebene Mindestanzahl von Kettenelementen aufweisen muß, einen Vereinigungs- oder Verzweigungspunkt innerhalb eines vorgegebenen x-Koordinaten-Intervalles besitzt.

Ausgehend von einem auf diese Weise gefundenen Szenenanfang werden im nächsten Schritt auf der Basis von Modellvorstellungen über das betreffende Werkzeug aus der Liste der vorliegenden Kettenstücke die Stücke extrahiert, die die signifikante optische Kante, die hier mit der Werkzeugschneide identisch ist, beschreiben.

Die Modellvorstellungen sind werkzeugspezifisch und enthalten Bedingungen, wie z. B. der maximale Ausbruch gefunden werden kann.

2. Kettenvergleich

Die erzeugten Freeman-Ketten charakterisieren den Schneidenzustand und werden mit ebenso erzeugten Ketten von korrespondierenden Schneidkanten eines Modellwerkes gleichen Typs und gleicher Größe verglichen. Als solche Referenzwerkzeuge können gelten: Ein unbeschädigtes Werkzeug der gleichen Charge, das Werkzeug im arbeitsscharfen Anfangszustand oder das brauchbare Werkzeug aus der vorangegangenen Arbeitsphase. Die von diesem gewonnenen Freeman-Ketten werden Modellketten MOKET genannt.

Auf der Beschreibungsebene durch Freeman-Ketten heißt Vergleichen, den direkten Vergleich der Modellketten MOKET der Referenzwerkzeuge mit den Eingangsketten INKET der zu prüfenden Werzeuge durchzuführen. Dieser wird zwischen den Kettenelementen von MOKET und INK von INKET der gegebenen Ketten nach einer Tabelle lokal und paarweise realisiert. Das Vergleichsergebnis wird in einer Differenzkette DIFKET abgelegt, die ebenfalls eine Freeman-Kette ist und aus Segmenten DIF mit keinem oder ein bis drei Kettenelementen (Freeman-Zahlen) gemäß der Tabelle aufgebaut ist.

Da die Anfänge der beiden Ketten durch den Anfangstest im Bildraster um wenige Rasterpunktabstände ungenau sind, muß dem Vergleich eine gegenseitige Verschiebung der Ketten um eine begrenzte Anzahl von Kettenelementen vorausgehen.

Dabei liegt z. B. eine optimale Kettenpassung vor, wenn die Summe der absoluten Flächen der Ausbbuchtung in der Differenzkette minimal ist.

3. Klassifikation

Die Differenzkette beschreibt durch ihre Ausbuchtungen alle Kettenunterschiede, die durch Merkmale meßtechnisch erfaßbar sind. Hierzu werden globale (die ganze Kette betreffende) und lokale (die den einzelnen Ausbuchtungen zugeordneten) Merkmale gewählt, die auf Erfahrungen bei Werkzeugverschleiß und -bruch beruhen.

Die Werkzeugqualität läßt sich nach der größten Ausbuchtung in der Differenzkette entscheiden. Dazu dient z. B. ein binärer Baumklassifikator, bei dem ein Parameter die Qualitätsaussage verschlüsselt und der daher maximiert wird. Die Klassifikatorschwellen lassen sich in einer Lernphase so einstellen, daß die Qualitätsaussage den technologischen Erfahrungen über die Merkmalswerte angepaßt werden kann.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung soll nachstehend an einem Ausführungsbeispiel (Überwachung der Funktionstüchtigkeit eines Wendelbohrers, also eines zweischneidigen Werkzeuges) erläutert werden. Die zugehörigen Zeichnungen zeigen in

Fig. 1: den prinzipiellen Aufbau der Anordnung
Fig. 2: die schematische Abwicklung der Mantelfläche eines Wendelbohrers mit den technologischen Bezeichnungen
Fig. 3: ein von der Kamera abgetastetes Grauwertbild der Abwicklung (180°-Ausschnitt)
Fig. 4: die beispielhaften Kantenbilder der Abwicklung eines unbeschädigten (a) und eines beschädigten Wendelbohrers mit der Schneidkantendarstellung durch Freemanketten, die durch Medianglättung, Kantendetektion und Skelettierung aus Grauwertbildern gemäß Fig. 3 gewonnen wurden,
Fig. 5: Beispiele für die Tabelle 2^8-Möglichkeiten der Freeman- und Knotencodierungen zur Erzeugung der Freemanketten
Fig. 6: den Anfangstest für die Auswahl der relevanten, die Schneidkanten-beschreibenden-Freemanketten,
Fig. 7: die prinzipielle Vorgehensweise beim Freemankettenvergleich (links oben und unten) und die Merkmalswerte (rechts oben) der Differenzkette,
Fig. 8: die Tabelle für den schrittweisen Vergleich der einlaufenden Kettenelemente MOK und INK zur Erzeugung der resultierenden Kettensegmente DIF und (rechts) die Wiederholungsbedingungen (WDG) für Kettenelemente,
Fig. 9: den Entscheidungsbaumklassifikator (oben) und seine durch M gegebenen, möglichen Entscheidungen (unten) und schließlich
Fig. 10: den realen Vergleich der beiden aus Fig. 4 entnommenen Freemanketten, die Merkmalswerte ihrer Differenzkette und das Klassifikationsergebnis (Mitte).

Die erfindungsgemäße Anordnung ist durch einen mehrstufigen Ablauf gekennzeichnet.

1. Zunächst erfolgt durch die Zeilenkamera mit Beleuchtungseinrichtung 20 die zeilenweise Abtastung des rotierenden Werkzeuges 10, womit seine vollständige Runduminspektion gesichert ist. In einer der eigentlichen Arbeitsphase vorangehenden Einstellphase wird die Drehgeschwindigkeit des Werkzeuges so festgelegt, daß mit allen abgetasteten Zeilen mindestens eine vollständige Abwicklung des Werkzeuges erfaßt wird. Wesentlich größer sollte die Drehgeschwindigkeit jedoch nicht sein, da die Erfassung von mehr als einer Abwicklung die Auflösung [illegible]

verringert.

2. Die von der Kamera 20 gelieferten Analogdaten werden zunächst im Analog-Digital-Umsetzer 30 digitalisiert und danach im Bildspeicher 40 abgelegt. Der Bildspeicher 40 kann dabei ein separater Bildspeichermodul sein oder einen Teil des Adreßraumes des Universalrechners 50 darstellen.
3. Die weitere Verarbeitung des im Speicher 40 abgelegten Bildes erfolgt entweder ausschließlich mit dem Universalrechner 50 oder, um kürzere Verarbeitungszeiten zu erzielen, zunächst mit einem Spezialprozessor 60 (z. B. nach WP G06K/2655890) und anschließend mit dem Universalrechner 50. Der Spezialprozessor 60 übernimmt dabei alle zeitintensiven Verarbeitungsschritte auf der Bildpunktebene. Dazu gehören: Median-Filterung (G. Heygster: Rangordnungsoperatoren in der digitalen Bildverarbeitung, Dissertation der Georg-August-Universität Göttingen 1979)
   Gradienten-Bildung
   Direktionale Median-Filterung (Ting, D. Prasada: Digital Processing Techniques für Encoding of Graphies. Proc. IEEE 68 (1980) 7, 757-769)
   Skelettierung durch fortgesetzte Verdünnung (Goetcherian, V.: From Binary Gray Tone Image Processing Using Fuzzy Logic Conzepts. Pattern Recognition 12 (1980) 1, 1–15. Rösler, U.: Schwarze, G. und T. L. Chung: Lokale Bildoperatoren zur Manipulation von Grauwertobjekten und ihre Implementierung durch den Prozessor GIPP. EIK 21 (1985) 7/8, 343-354).
   Erzeugung von Freeman- und Knotencodierungen (Schwarze, O.: Erzeugung von Freeman-Ketten zur Szenenbeschreibung in Grauwertbildern. Problemseminar Methoden und Algorithmen der digitalen Bildverarbeitung. Weißig 1984.
   Chung, T. L.: Entwicklung von Spezialprozessoren für die digitale Bildverarbeitung. Dissertation der AdW der DDR, Berlin, 1984).
   Nach diesen Verarbeitungsschritten liegt eine erste Bildbeschreibung in Form von Ketten- und Knotensymbolen nach Fig. 5 vor. Diese sind den jeweiligen Kantenelementen zugeordnet und symbolysieren ein Fortsetzungselement (Freeman-Zahl 1, 2, ... oder 8), ein Kettenbeginn (B oder D), eine Kettenverzweigung (F), eine Kettenvereinigung (C) oder ein Kettenende (A oder E).
4. Aus den Codesymbolen (Zahl, Buchstabe) sind Teilketten erzeugbar, die die Verbindungsstücke zwischen je zwei Knoten (Buchstabe) bilden. Hierzu werden Teilketten mit B oder D eröffnet, mit einer Zahl (1, 2, ... oder 8) fortgesetzt und mit A, B, ... oder F abgeschlossen. Fortsetzungselemente können nur an offene, ohne Endsymbol versehene Teilketten, angeheftet werden. Anschließend lassen sich kurze, abgeschlossene Teilketten zwecks Säuberung der Beschreibung eliminieren.
5. Da die Abtastung bei unbekannter Winkelstellung des Werkzeuges startet, muß mit einem Test nach Fig. 6 der Anfang der relevanten Kette aus dem Bildinhalt bestimmt werden. Aus technologischen Überlegungen folgt z. B. bei Wendelbohrern, daß ein Kriterium die Vereinigung zweier Teilketten (Punkt $P(i)_{xy}$ in Fig. 6 als Ort des Zusammentreffens von Rückenkante, Haupt- und Nebenfläche) ist. Die relevante Kette beschreibt dann Hauptschneide, Schneidenecke und Nebenschneide zusammenhängend.
   Die genaue Vorschrift zum Auffinden des Punktes $P(i)_{xy}$ lautet beispielsweise bei einer zeilenweisen Erzeugung der Teilketten: Suche zwei Teilketten c_n und c_m, die eine Mindestanzahl von Kettenelementen enthalten und sich im Punkt $P(i)_{xy}$ vereinigen, dessen x-Koordinate im Bereich $x_i \Delta x_i$ liegt und dessen y-Koordinate beliebig ist. Durch diesen Punkt $P(i)_{xy}$ ist der Anfangspunkt $P(j)_{xy}$ der relevanten Szene (Beginn der Hauptschneide) determiniert. Abhängig von der speziellen Werkzeuggeometrie charakterisiert durch $\delta x = x_{P(i)} - x_{P(j)}$, $\delta y = y_{P(j)} - y_{P(i)}$) liegt $P(j)_{xy}$ in einem Gebiet $\{ (x_i \pm \Delta x_i) - \delta x, y_i + \delta y\}$.
   Um den Berechnungsgang zu vereinfachen, kann $\delta y = 0$ gesetzt werden. In diesem Fall wird ein Teil der Querschneide mit erfaßt. Die Bilder 4a und 4b zeigen dafür Beispiele.
   Sind die Punkte $P(i)_{xy}$ und/oder $P(j)_{xy)}$ nicht auffindbar, so liegt ein Totalbruch der Werkzeugspitze vor und die weitere Bildauswertung erübrigt sich.
   Mit dem beschriebenen Szenenanfangstest sowie den in der Einstellphase eingegebenen geomatrischen Daten des Werkstücks ($x_i \pm \Delta x_i$, δx, δy) erhält man die in Fig. 4 gezeigte Bildbeschreibung der für die Aufgaben wesentlichen Schneidkanten durch Ketten von Freeman-Zahlen. Diese Ketten sind hier zur Veranschaulichung im Rasterbild (s. Fig. 4) eingetragen. Im Speicher des Rechners stehen jedoch nur die Folgen von Freeman-Zahlen.
   Bei Bohrern müssen zwei Schneiden untersucht werden. Da beide einen durch den Bohrerdurchmesser bestimmten Abstand voneinander haben, ist nach dem erläuterten Anfangstest mit dem Anfang der einen Schneide auch der der anderen festgelegt. Die beiden zugehörigen Freeman-Ketten werden mit Eingangs-Ketten INKET bezeichnet.
6. Die erzeugten Freeman-Ketten werden mit den Ketten der Schneidkanten eines Modellbohrers gleichen Typs und gleicher Größe verglichen. Als solches Referenzwerkzeug dient ein unbeschädigter Bohrer der gleichen Charge im arbeitsscharfen Anfangszustand. Die von diesen gewonnenen zwei Freeman-Ketten werden Modell-Ketten MOKET genannt.
   Der direkte Vergleich der Modellketten MOKET des Referenzwerkzeuges mit den Eingangsketten INKET des zu prüfenden Bohrers wird zwischen den Kettenelementen MOK und INK der gegebenen Ketten nach der Tabelle in Fig. 8 lokal und paarweise durchgefiltert. Hierbei sind unter bestimmten Bedingungen die Wiederholung (WDG) des einen Elementes der Modellkette oder des anderen der Eingangskette zu berücksichtigen. Das Vergleichsergebnis wird in einer Differenzkette DIFKET abgelegt, die aus Segmenten DIF mit keinem oder ein bis drei Kettenelementen (Freeman-Zahlen) gemäß Tabelle aufgebaut ist. Fig. 7 erläutert im einzelnen den Vergleichsvorgang, zeigt das Vergleichsresultat (rechts) und die Sequenz des Vorganges (unten), wobei die Wiederholungen durch in Klammer gesetzte Freeman-Zahlen ausgedrückt und mit Δ AB und Δ FL die horizontalen Abstands- und Flächeninkremente dort angeschrieben sind, wo sie stehen. Da die Freeman-Ketten eine stark komprimierte Bildbeschreibung repräsentieren, ist für deren Abspeicherung nur ein kleiner Platzbedarf notwendig. Damit lassen sich Modellketten einer großen Anzahl von Werkzeugen im Rechner abspeichern, womit eine Vielzahl von Werkzeugen überprüfbar ist.

7. Die Differenzkette beschreibt durch ihre Ausbuchtungen alle Kettenunterschiede, die durch Merkmale meßtechnisch erfaßbar sind. Hierzu werden (s. Fig. 7, rechts):
   Globale Merkmale: Kettenlänge CEL, Sehnenlänge SEL, Wölbung COV = CEL – SEL und Anzahl NR der Ausbuchtungen und lokale Merkmale: Sehnenlänge SL, Kettenlänge CL, Umfang UM = SL + CL, Tiefe TF und Fläche FL einer jeden Ausbuchtung gewählt.
   Diese Merkmale lassen sich einfach durch Aufsummieren von Inkrementen berechnen.
   Die Werkzeugqualität wird nach der größten Ausbuchtung in der Differenzkette entschieden. Dazu dient ein binärer Baumklassifikator (Fig. 9), dessen Parameter M die Qualitätsausgabe verschlüsselt und daher maximiert wird.
8. Mit Fig. 10 wird der Vergleich zweier realer, durch Freemanketten beschrieben Schneidkanten aus Fig. 4, Merkmalswerte aus ihrer Differenzkette und das Klassifikationsergebnis gezeigt.
9. Das Klassifikationsergebnis wird an die Werkzeugmaschinensteuerung 70 übergeben, die entsprechend diesem Ergebnis ein Signal zum Stop der Werkzeugmaschine 80, zum Werkzeugwechsel oder zur Weiterarbeit auslöst.

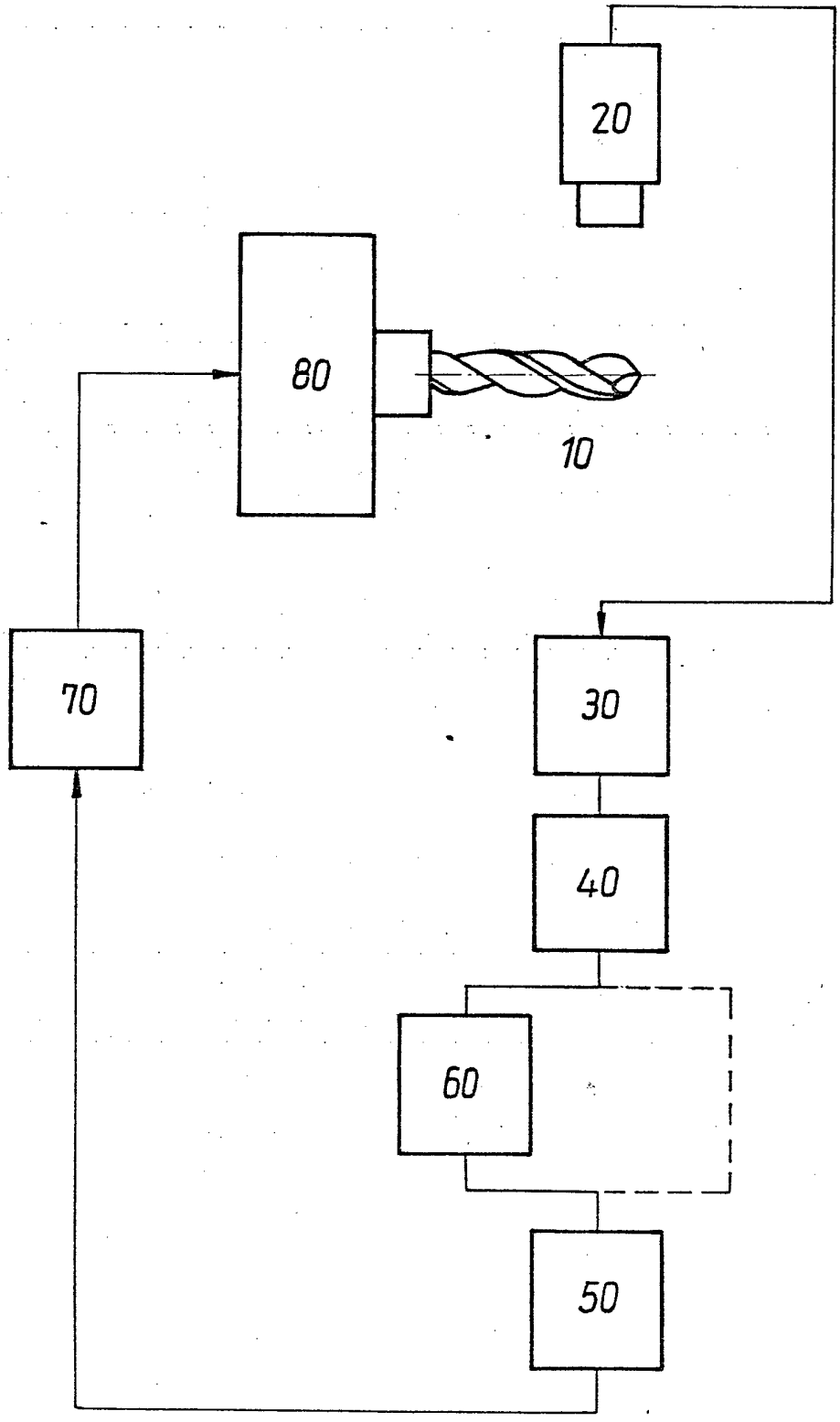


Fig. 1

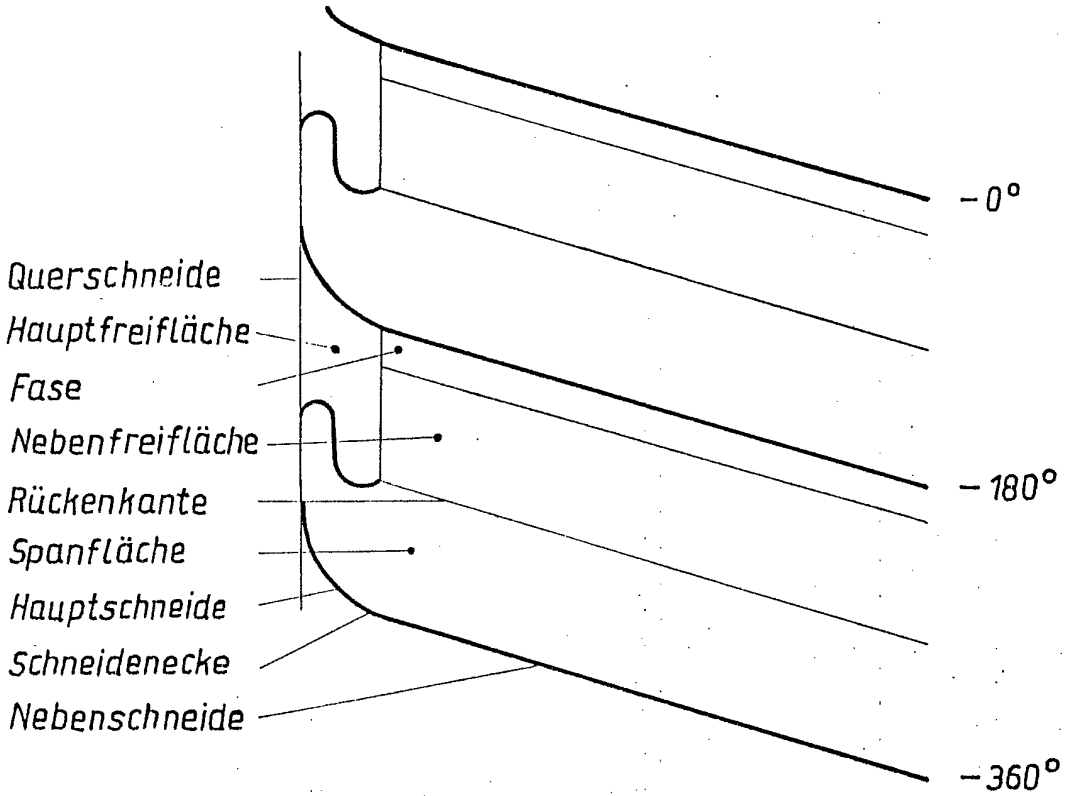


Fig. 2

2 239 369

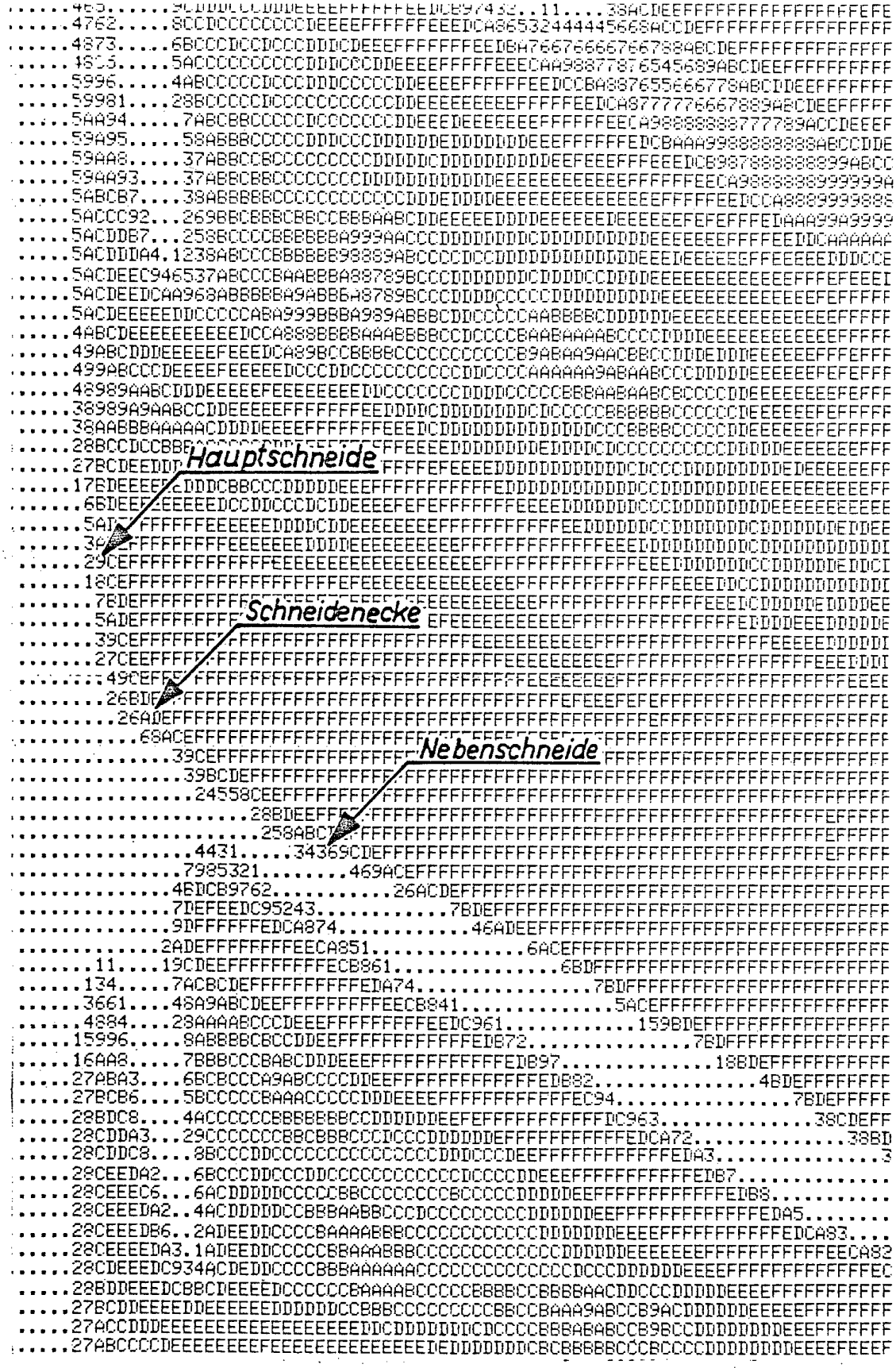


Fig. 3

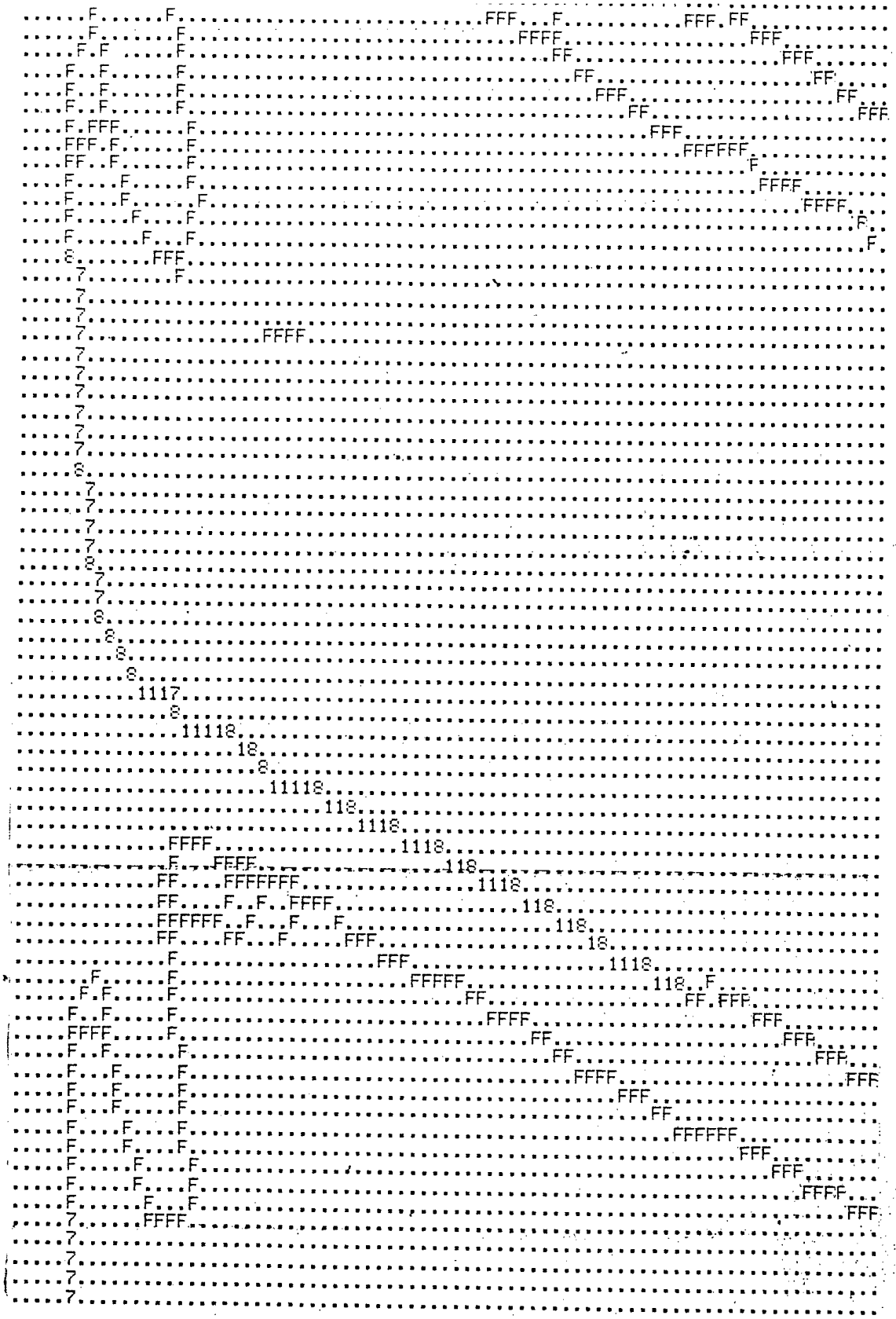


Fig. 4a

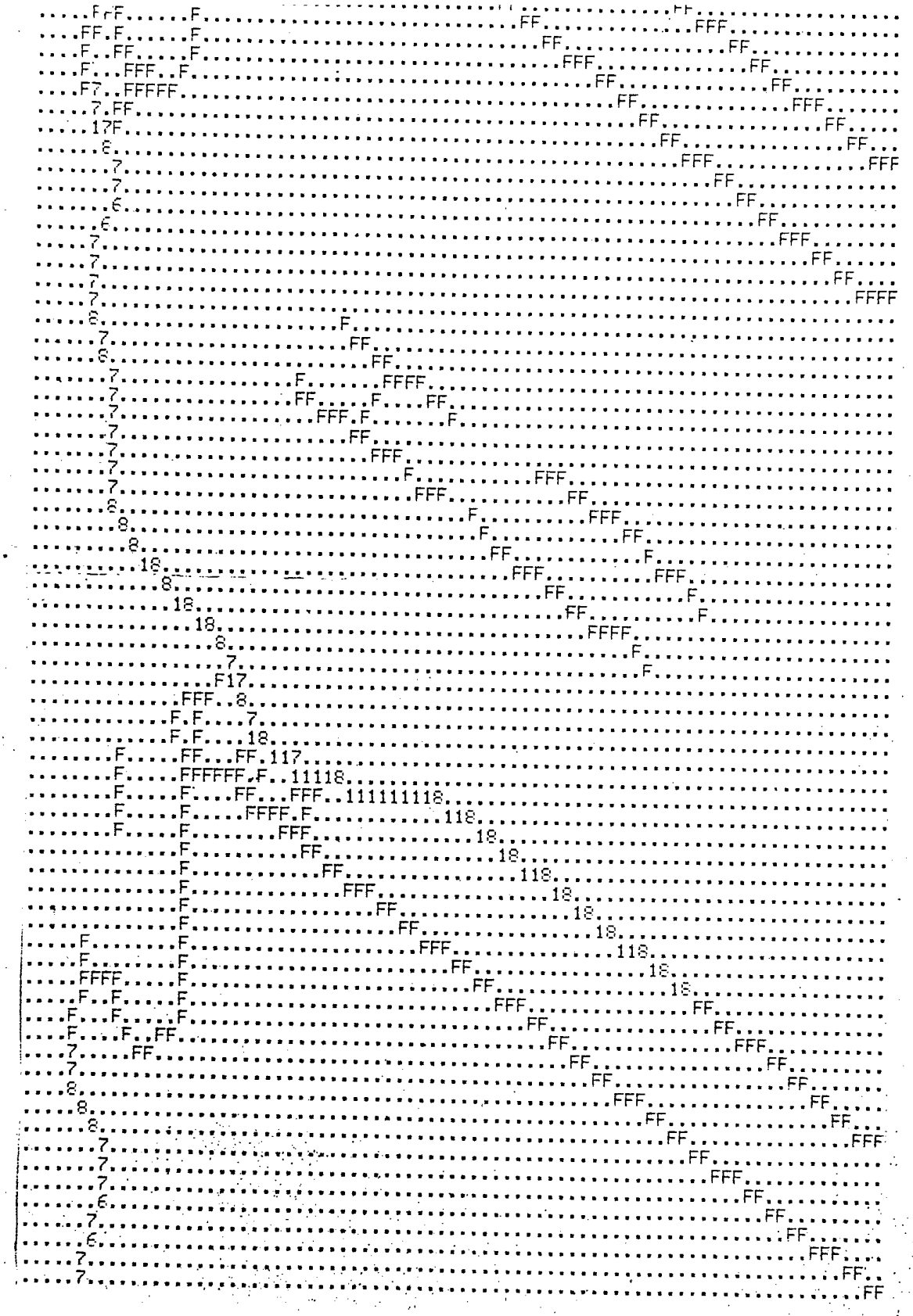


Fig 4b

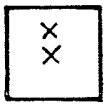
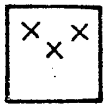
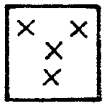
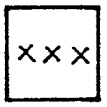
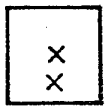
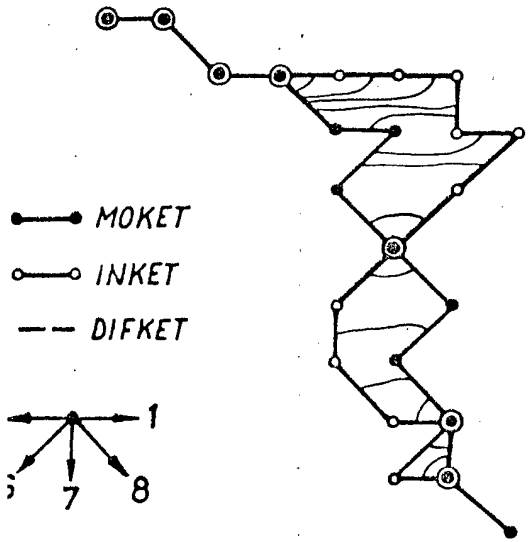
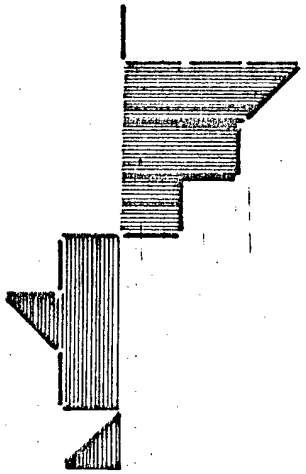
Codierung	Verbale Beschreibung	Fenster-Belegung
E <X>	Ende einer Kette	
A <X>	Vereinigung ohne Fortsetzung	
C <Richtung> <X>	Vereinigung mit Fortsetzung	
F<Richtung><Richtung><X>	Verzweigung	
<Richtung>	Fortsetzungselement	
D<Richtung><Richtung><X>	Beginn von 2 Ketten	
B<Richtung> <Koordinate>	Beginn einer Kette	

Fig. 5





Globale Merkmale :

SEL= 8,0 CEL=20,2 COV = 12,2

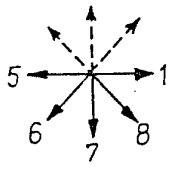
Lokale Merkmale :

Nr :	SL :	CL :	UM:	TF:	FL:	BEM
1	3,0	10,4	13,4	3,0	5,5	AUSB
2	3,0	6,4	9,4	-2,0	-3,5	AUFT
3	1,0	2,4	3,4	-1,0	-0,5	KEIN

MOK	1 8 1	8(8 8 8) 1 6(6) 8	8 6 8 (8)	7 (7) 8 0
INK	1 8 1	1 1 1 7 (7) 1 6 6	6 7 8 1	6 1 0
DIF	/ 7 /	1 1 1 6 5 1 7 5 7 5	5 7 5 8 7 1	6 1 0
ΔAB		1 1 1 -1 -1 1 -1 -1	-1 -1 1 1	-1 1
ΔFL		2,5 2,0 1,0	-1,0 -1,5 -1,0	-0,5

2377967

MOK	INK	DIF	Bedingungen für Wiederholung (WDG) von Kettenelementen
1	1	-	
5	5	-	
1	5	5,5	keine
5	1	1,1	keine
MOK,EQ,INK		7	A,B
5	6,7,8	1	A,IF(AB.LT.Ø) B ELSE WDG von INK
6,7,8	5	5	A,IF(AB.GT.Ø) B ELSE WDG von MOK
6	7	8	A,B
6	8	1,7,1	A,B
7	6	6	A,B
7	8	8	A,B
8	6	5,7,5	A,B
8	7	6	A,B
1	6,7,8	5	A,IF(AB.GT.Ø) B ELSE WDG von INK
6,7,8	1	1	A,IF(AB.LT.Ø) B ELSE WDG von MOK

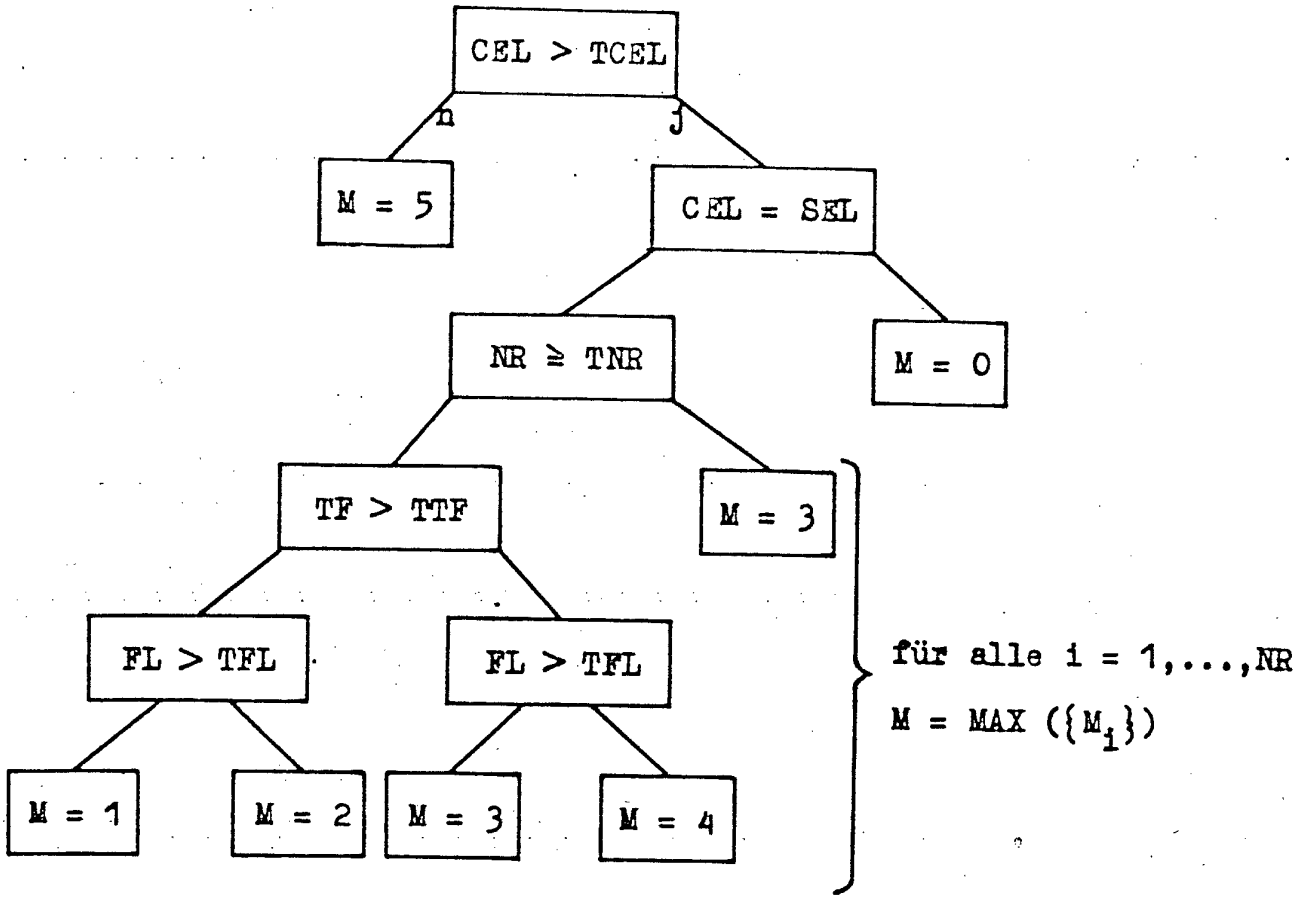


A: IF(AB.EQ.Ø) keine WDG
IF(MKN.EQ.5.AND.IKN.EQ.1) keine WDG
IF(MKN.EQ.1.AND.IKN.EQ.5) keine WDG

B: IF(AB.GT.Ø.AND.MKN.EQ.1) WDG von INK
IF(AB.GT.Ø.AND.IKN.EQ.5) WDG von MOK
IF(AB.LT.Ø.AND.MKN.EQ.5) WDG von INK
IF(AB.LT.Ø.AND.IKN.EQ.1) WDG von MOK

MKN = Nachfolger von MOK
IKN = Nachfolger von INK

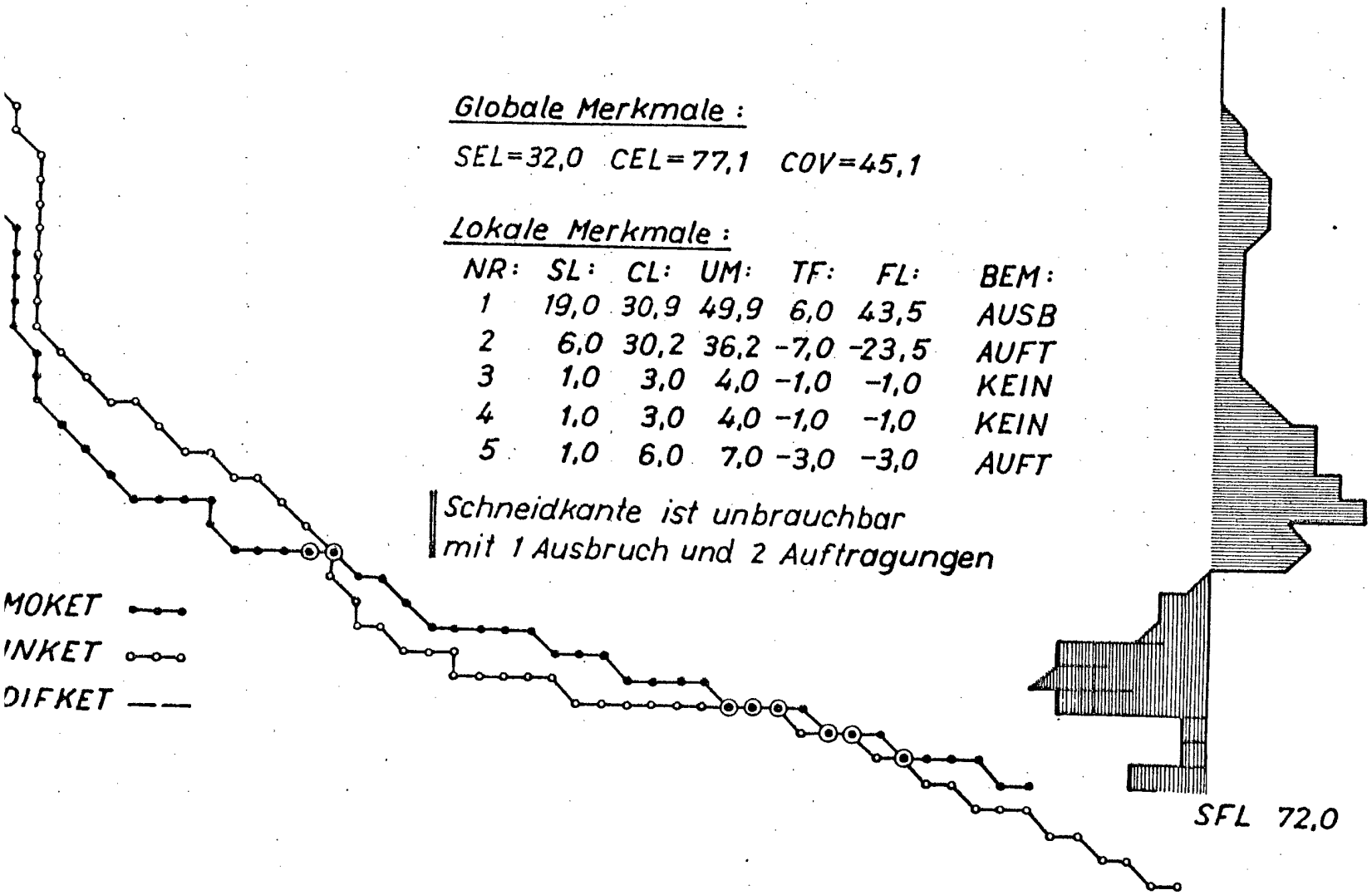
Fig. 8



M = 0 : völlig fehlerfrei
M = 1 : fehlerfrei
M = 2 : noch brauchbar
M = 3 : bedingt brauchbar
M = 4 : unbrauchbar
M = 5 : nicht vorhanden

} für alle i maximiert

Fig. 9



Globale Merkmale :

SEL=32,0 CEL=77,1 COV=45,1

Lokale Merkmale :

NR:	SL:	CL:	UM:	TF:	FL:	BEM:
1	19,0	30,9	49,9	6,0	43,5	AUSB
2	6,0	30,2	36,2	-7,0	-23,5	AUFT
3	1,0	3,0	4,0	-1,0	-1,0	KEIN
4	1,0	3,0	4,0	-1,0	-1,0	KEIN
5	1,0	6,0	7,0	-3,0	-3,0	AUFT

Schneidkante ist unbrauchbar
mit 1 Ausbruch und 2 Auftragungen

SFL 72,0

15

2393699