

Patentansprüche:

1. Verfahren zur zeitaufgelösten Interferometrie unter Verwendung einer Referenz- und Objektwelle, zwischen deren Normalen ein Winkel besteht, der größer ist, als der durch eine Objektstruktur erzeugte Gradient der deformierten Objektwelle, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Winkel zwischen Referenz- und Objektwelle in der Ebene eines gerasterten Bildempfängers so eingestellt wird, daß zwischen zwei benachbarten Bildelementen in Zeilen- oder Spaltenrichtung des Empfängers eine Phasendifferenz zwischen 45 und 135 Grad im Interferenzsignal, vorzugsweise 90 Grad, besteht, daß aus mehreren nebeneinanderliegenden Bildelementen des Empfängers Gruppen von Bildelementen in linienförmiger Anordnung in Zeilen- oder Spaltenrichtung gebildet werden, die Phasenzellen darstellen, wobei die Phasenzellen im Abstand von einem oder mehreren Bildelementen aus mehreren Bildelementen gebildet werden, wobei Bildelemente gleichzeitig zwei Phasenzellen zugehörig sein können.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Phasenzellen im Abstand von vier Bildelementen gebildet werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine Phasenzelle aus sechs Bildelementen besteht.
4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 und 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die sechs gemessenen Intensitäten einer Phasenzelle in einer Zeile oder Spalte paarweise additiv zusammengefaßt werden.
5. Verfahren nach Anspruch 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Intensitäten von je sechs Bildelementen nebeneinanderliegender Zeilen oder Spalten bildelementeweise addiert werden und die sechs Summanden die sechs Elemente einer Phasenzelle darstellen.
6. Anordnung zur zeitaufgelösten Interferometrie unter Verwendung eines Lasers mit steuerbarem Strahlunterbrecher oder eines gepulsten Lasers, der mittels eines Rechners mit der Bewegung eines im technologischen Bearbeitungsvorgang befindlichen Werkstückes synchronisiert ist, wobei dem Werkstück ein Drehwinkelgeber zugeordnet ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine optische Anordnung (1-5) zur Ausleuchtung der Werkstückoberfläche vorgesehen ist, daß dem Werkstück (8) eine optische Referenzfläche (5) zugeordnet ist, die zur Werkstückoberfläche selbst oder deren Bild eine Neigung zueinander aufweist, und daß dieser Anordnung ein Bildempfänger nachgeordnet ist, wobei die Neigung zwischen Werkstückoberfläche und Referenzfläche (5) so eingestellt ist, daß auf dem Empfänger eine Interferenzstreifenstruktur entsteht, deren Streifenabstand dem drei- bis sechsfachen Bildelementabstand entspricht.
7. Anordnung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Werkstückoberfläche ein Meßprisma (3) mit einer gegenüber dieser geneigten Referenzfläche (5) angeordnet ist, wobei die Eingangsfläche (4) des Meßprismas (3) so geneigt ist, daß in der Ebene der Referenzfläche eine ellipsenförmige Verzerrung eines Eingangsbündels mit kreisförmigem Querschnitt besteht, und daß das Meßprisma (3) zwei sich gegenüberliegende und zueinander geneigte Reflektionsflächen (6, 7) aufweist.
8. Anordnung nach Anspruch 6 und 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß der gerasterte Bildempfänger ein CCD-Bildempfänger (12) ist.

Hierzu 2 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung bezieht sich auf die zeitaufgelöste geometrische Meßtechnik.

Charakteristik des bekannten Standes der Technik

Die Phase-Sampling-Interferometrie (PSI) ist eine universelle Methode zur optischen Vermessung von Oberflächenformen. Je nach Interferometerkonfiguration können Abweichungen von der Geradheit, Ebene, Sphärizität und definierter Asphärizität (z. B. Konizität) sowie die Rauigkeit gemessen werden. Dazu ist es gemäß dem PSI-Verfahren notwendig, für die auszuwertende Interferenzstruktur mindestens 3 Phasenlagen oder mehr zu erhalten. Dies wird üblicherweise durch mechanisches Bewegen von Spiegeln, Prismen oder Gittern erreicht. Bei der zeitaufgelösten Interferometrie ist aus dynamischen Gründen ein mechanisches Bewegen ausgeschlossen. Von Kwon et al., SPIE 802 8/1987, ist ein High-speed, pulsed-laser-Interferometer bekannt, bei dem mindestens in einem Arm des Interferometers ein Gitter angeordnet ist. Dadurch entstehen in den

verschiedenen Beugungsordnungen (-1, 0, 1) Interferenzstrukturen unterschiedlicher Phasenlage, die von je einem CCD-Empfänger (also z. B. drei Empfänger) detektiert werden. Es sind auch Anordnungen bekannt, bei denen durch die laterale Anordnung mehrerer Gitter Interferenzstrukturen unterschiedlicher Phasenlage entstehen.

Für das erstgenannte Verfahren erfordert das bei Interferenzstrukturen mit einer hohen Streifendichte eine genaue Positionierung der CCD-Empfänger im Raum, um Phasenfehler zu vermeiden. Dagegen erfordert das zweitgenannte Verfahren eine sehr hohe Genauigkeit bei der Justierung der Gitter. Bei einem Pointdiffraction-Interferometer in Mach-Zehnder-Anordnung werden drei Objektbündel bereits in einem Interferometerarm separiert und kollimiert. Durch die räumliche Aufspaltung der Bündel in einem Interferometerarm sind Störeinflüsse durch Luftturbulenzen sehr wirksam.

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist ein kostengünstigerer, mechanisch-optischer Meßaufbau und die Verringerung der Störanfälligkeit.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, anstatt mit mehreren CCD-Empfängern nur mit einem gerasterten Bildempfänger zu messen und für die Referenz- und Objektwelle im Interferometer einen gemeinsamen Ausbreitungsraum zu ermöglichen. Erfindungsgemäß wird das bei einem Verfahren unter Verwendung einer Referenz- und Objektwelle, zwischen deren Normalen ein Winkel besteht, der größer ist, als der durch eine Objektstruktur erzeugte Gradient der deformierten Objektwelle, dadurch erreicht, daß der Winkel zwischen Referenz- und Objektwelle so gewählt wird, daß zwischen zwei benachbarten Bildelementen in Zeilen-(x) oder Spaltenrichtung (y) eines gerasterten Bildempfängers eine Phasendifferenz zwischen 45 und 135 Grad, vorzugsweise 90 Grad, besteht. So ergibt sich auf dem gerasterten Bildempfänger die folgende Intensitätsverteilung, wenn die Interferenz-Streifen parallel zu den Spalten des Empfängers liegen.

$$I(x, y) = I_0(x, y) \left[1 + v \cos \left(\Phi(x, y) + c \cdot \frac{\pi \cdot x}{2a} \right) \right] \quad (1)$$

$$\frac{1}{2} \leq c \leq \frac{3}{2}$$

Dabei stellt a den Bildelementabstand dar, I den Gleichanteil, v die Streifensichtbarkeit, $\Phi(x, y)$ den durch die Deformation der Objektwelle bedingten Phasengang und $c \cdot \frac{\pi \cdot x}{2a}$ den durch den Winkel zwischen Referenz- und Objektwelle hervorgerufenen Phasengang.

Gleichzeitig werden aus den Bildelementen des Empfängers Gruppen von Bildelementen in linienförmiger Anordnung in Spalten- oder Zeilenrichtung gebildet, die nachfolgend Phasenzellen genannt werden. Die Phasenzellen werden im Abstand von einem oder mehreren Bildelementen, z. B. im Abstand von vier Bildelementen aus mehreren Bildelementen gebildet. Wenn der Empfänger in horizontaler Richtung (x) m Bildelemente 1 i m und in vertikaler Richtung (y) n Bildelemente 1 j n besitzt, dann ergibt sich auf dem Empfänger für das Bildelement (i, j) die folgende Intensität

$$I(i, j) = I_0(i, j) \cdot \left(1 + v \cdot \cos \left(\Phi(i, j) + i \cdot c \cdot \frac{\pi}{2} \right) \right) \quad (2)$$

Es ist zweckmäßig für die Ermittlung der Phasenverteilung eine Phasenzelle mit 6 Bildelementen zu bilden. Die Phase (i, j) im Schwerpunkt der Phasenzelle ergibt sich dann aus den Intensitäten I der Bildelemente von (i - 3) bis (i + 2) aus nachstehender Beziehung

$$\Phi_2(i, j) = \arctan \left[\frac{2 [(I_{i-2} + I_{i-1}) - (I_i + I_{i+1})]}{2 (I_{i-1} + I_i) - (I_{i-3} + I_{i-2}) - (I_{i+1} + I_{i+2})} \right] \quad (3)$$

Die Intensitäten von je zwei nebeneinander angeordneten Bildelementen einer Phasenzelle sind paarweise additiv zusammengefaßt, wobei die Intensitäten mehrerer nebeneinanderliegender Zeilen oder Spalten bildelementweise additiv zusammengefaßt werden können.

Eine Anordnung zur zeitaufgelösten Interferometrie unter Verwendung eines Lasers mit steuerbarem Strahlunterbrecher oder eines gepulsten Lasers, der mittels eines Rechners mit der Bewegung eines im technologischen Bearbeitungsvorgang befindlichen Werkstückes synchronisiert ist, ist dadurch gekennzeichnet, daß eine optische Anordnung zur Erzeugung einer linienförmigen Ausleuchtung der Werkstückoberfläche vorgesehen ist, daß dem Werkstück eine optische Referenzfläche zugeordnet ist, die zur Werkstückoberfläche selbst oder deren Bild eine Neigung zueinander aufweisen, und daß dieser Anordnung ein gerasteter Bildempfänger nachgeordnet ist, wobei die Neigung zwischen Werkstückoberfläche und Referenzfläche so eingestellt ist, daß auf dem Empfänger eine Interferenzstreifenstruktur entsteht, deren Streifenabstand dem drei bis sechsfachen Bildelementeabstand entspricht.

Es ist zweckmäßig, daß der Werkstückoberfläche ein Meßprisma mit einer gegenüber dieser geneigten Referenzfläche angeordnet ist, wobei die Eingangsfläche des Meßprismas so geneigt ist, daß in der Ebene der Referenzfläche eine linienhafte Verzerrung des Eingangsbündels entsteht, daß das Meßprisma zwei sich gegenüberliegende und zueinander geneigte Reflektionsflächen aufweist.

Die Steuerung des gerasterten Bildempfängers erfolgt durch den genannten Rechner bzw. durch einen dem Empfänger zugeordneten Rechner in Abhängigkeit von der Werkstückbewegung und Lasersteuerung.

Der Vorteil besteht darin, daß man mit einer einzigen Belichtung der sich bewegenden Werkstückoberflächen, wobei der Belichtungszeitpunkt mit der Werkstückbewegung synchronisiert ist, die Oberflächenform des Werkstückes gemessen werden kann. Damit können der Abtrag eines Bearbeitungswerkzeuges oder Schwingungen während der Bearbeitung und die Oberflächenform des Werkstückes gemessen werden.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung soll in einem Ausführungsbeispiel näher erläutert werden.
Es zeigen:

- Fig. 1: eine Meßanordnung zum Messen des Werkstückabtrages beim Präzisionsdrehen
- Fig. 2: den Intensitätsverlauf auf einer Phasenzelle
- Fig. 3: die Strukturierung eines CCD-Empfängers in Phasenzellen und den Intensitätsverlauf auf dem CCD-Empfänger in der Zeile j
- Fig. 4: die Strukturierung eines CCD-Empfängers in Phasenzellen durch additives Zusammenfassen von vier Zeilen

Die Anordnung hat einen gepulsten Laser 1, dem ein optischer Strahlweiter 2 nachgeordnet ist. Diesem folgt im Strahlengang ein Meßprisma 3 mit einer zum Eingangsstrahl geneigten Eingangsfläche 4, einer Referenzfläche 5 und zwei Reflektionsflächen 6 und 7. Die Referenzfläche 5 ist gegenüber einer Werkstückoberfläche 8 geneigt angeordnet, wobei letztere durch ein Werkzeug 9 bearbeitet wird. Dem Meßprisma ist eine optische Abbildungsstufe 10 mit einer Spaltblende 11 nachgeordnet. Die Spaltblende 11 blendet die Mehrfachreflexionen zwischen der Referenz- und der Werkstückoberfläche aus, so daß nur die Wellenfront von der Referenzfläche und die einmal an der Werkstückoberfläche reflektierte Wellenfront den Spalt passieren können. Die Abbildungsstufe 10 bildet das Interferenzbild auf die CCD-Zeile 12 ab, die durch einen Rechner 13 gesteuert wird. Dieser Rechner 13 bzw. ein übergeordneter Rechner koordiniert den zeitlichen Ablauf zwischen der Werkstückdrehung, zwischen dem Belichtungszeitpunkt der Werkstückoberfläche durch den Laser und dem Auslesevorgang der CCD-Zeile mittels eines Drehwinkelgebers 14. Damit ist das wiederholte Messen entlang der Oberfläche eines Werkstückes an beliebig wählbaren Orten möglich.

Die Phasenzelle i der Zeile j in Fig. 2 hat sechs Bildelemente (i - 3) bis (i + 2), deren Intensitäten paarweise zusammengefaßt werden, z. B. die Intensitäten der Bildelemente (i - 2) + (i - 1), i + (i + 1), (i - 1) + i, (i - 3) + (i - 2) und (i + 1) + (i + 2). Mit diesen paarweise zusammengefaßten Intensitäten der Bildelemente kann die Phase $\Phi_z(i, j)$ der Phasenzelle (i, j) aus der Gleichung 3 ermittelt werden.

Die Fig. 3 zeigt einen Ausschnitt der CCD-Zeile j und deren Strukturierung in Phasenzellen. Wie dargestellt bilden sechs Bildelemente eine Phasenzelle, wobei Bildelemente gleichzeitig zwei Phasenzellen zugeordnet sein können. Die Phase $\Phi_z(i, j)$ ergibt sich in der Mitte der Phasenzelle (i, j), wobei die Mitten der Phasenzellen vier Bildelementabstände voneinander entfernt sind. Wie dargestellt, gehören dabei die Bildelemente (i - 3) und (i - 2) sowohl den Phasenzellen (i - 4, j) und (i, j) an. Der dargestellte Intensitätsverlauf zeigt, daß die Phase im Mittel um $\pi/2$ pro Bildelement fortschreitet, so daß sich durch das Ermitteln der Phasen $\Phi(i, j)$ aus den Phasenzellen die Phase $\Phi(x, y)$ in der Gleichung (1) für definierte Werte angeben läßt.

Die Oberflächenform eines Werkstückes, z. B. die Abweichung von der Ebene z(x, y) kann dann durch die nachstehende Gleichung

$$z(x, y) = k \cdot \frac{\Phi_z(x, y)}{2\pi} \cdot \frac{\lambda}{2} \tag{4}$$

ermittelt werden, wobei λ die verwendete Laserwellenlänge und k einen geometrischen Faktor ($k \geq 1$) darstellen.

Die Fig. 4 zeigt einen Ausschnitt eines CCD-Empfängers und dessen Strukturierung in Phasenzellen. Die Intensitäten von je vier Bildelementen einer Spalte, z. B. der Spalte i - 1 werden additiv zusammengefaßt und bilden die Intensität des Elementes (i - 1, j) der Phasenzelle (i, j). Aus den Intensitäten der Elemente (i - 3, j) bis (i + 2, j) der Phasenzelle (i, j) wird die Phase $\Phi_z(i, j)$ nach Gleichung (3) bestimmt.

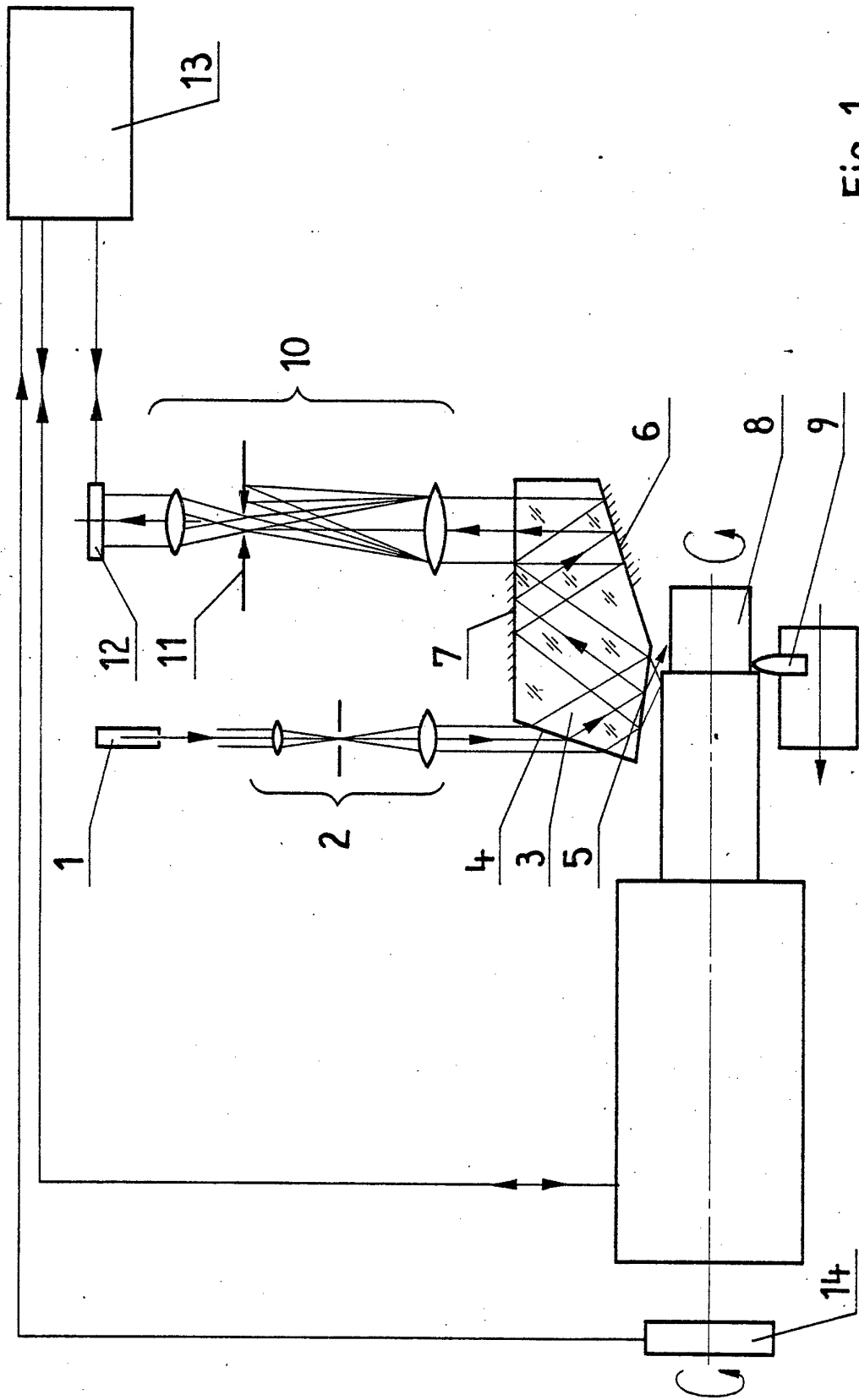


Fig. 1

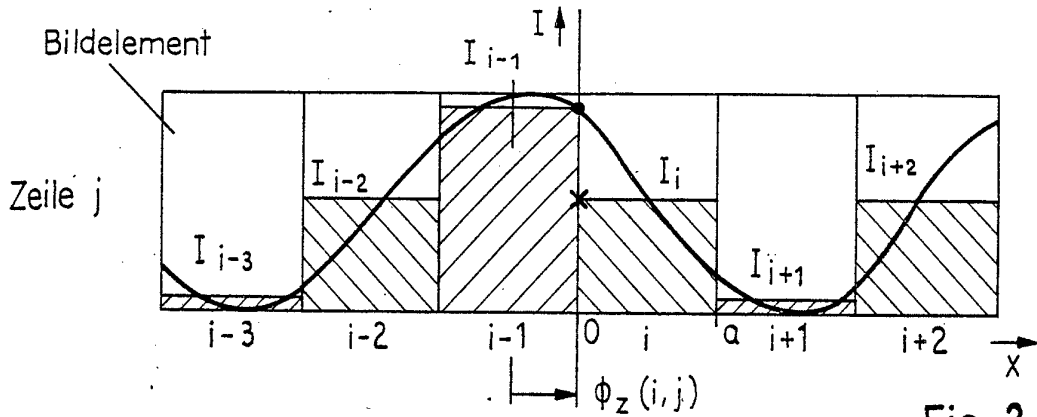


Fig. 2

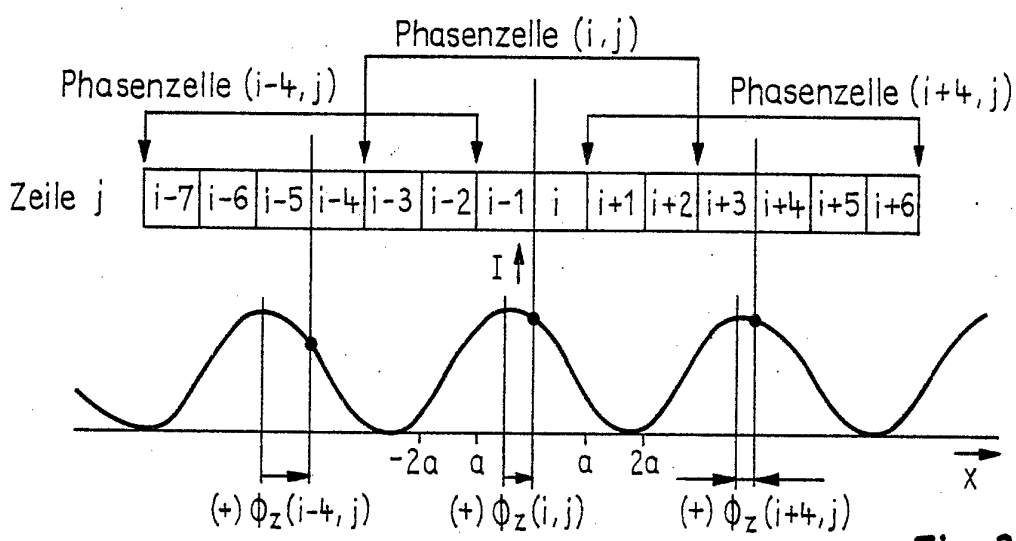


Fig. 3

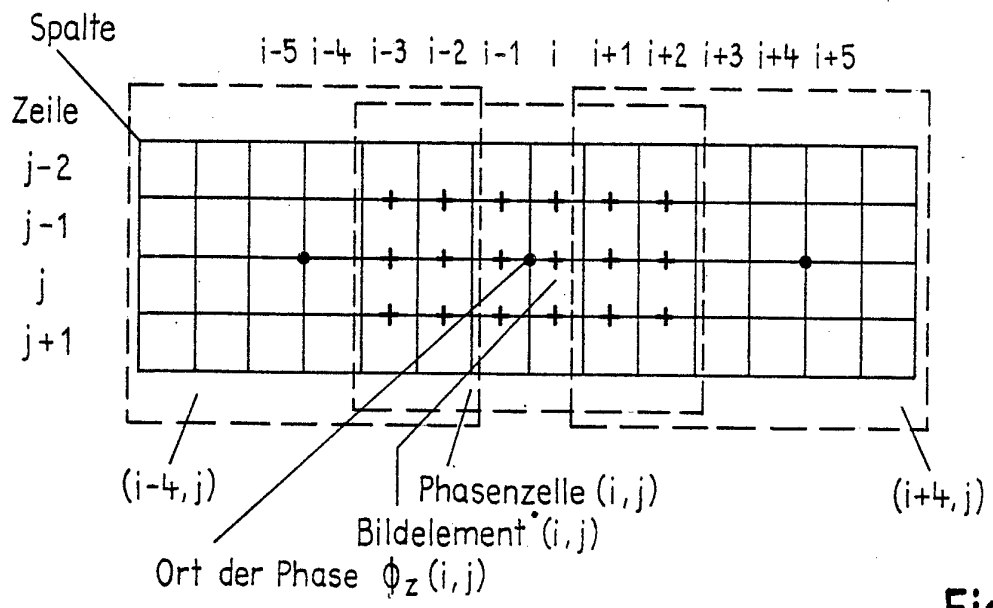


Fig. 4