



(10) **DE 101 60 623 B4** 2011.06.09

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **101 60 623.0**
(22) Anmeldetag: **11.12.2001**
(43) Offenlegungstag: **12.06.2003**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **09.06.2011**

(51) Int Cl.: **B23K 26/03 (2006.01)**
G01N 21/63 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Precitec KG, 76571 Gaggenau, DE

(74) Vertreter:
TER MEER STEINMEISTER & Partner GbR
Patentanwälte, 81679 München

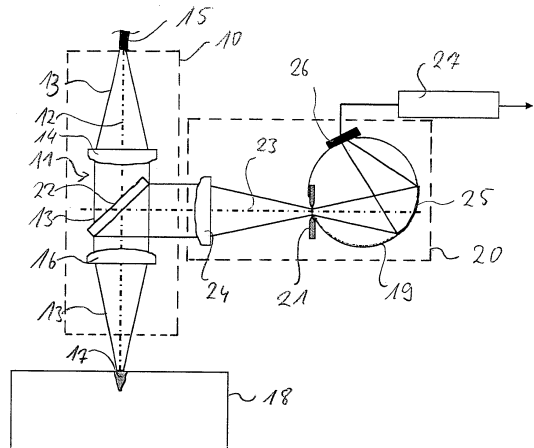
(72) Erfinder:
Kessler, Berthold, 35753 Greifenstein, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE	40 06 622	C2
DE	199 27 803	A1
DE	100 13 892	A1
DE	44 39 714	A1
DE	39 08 187	A1
US	59 69 335	A
JP	90-10 970	AA
JP	82-06 859	AA

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung und Verfahren zum Überwachen eines Laserbearbeitungsvorgangs, insbesondere eines Laserschweißvorgangs**

(57) Hauptanspruch: Vorrichtung zum Überwachen eines Laserbearbeitungsvorgangs, insbesondere eines Laserschweißvorgangs, mit einer optischen Abbildungsanordnung (16, 22, 24; 29, 24), die ein Beobachtungsgebiet im Bereich einer Wechselwirkungszone (17) zwischen Arbeitslaserstrahl (13) und Werkstück (18) auf einen Eintrittsbereich (21) einer Empfängeranordnung (19) abbildet, die ein lichtzerlegendes Element (25) und als Fotoempfängeranordnung einen positionssensitiven Detektor aufweist, dessen Ausgangssignal dem auf Wellenlänge oder Frequenz der optischen Strahlung bezogenen Schwerpunkt der spektralen Verteilung der erfaßten optischen Strahlung entspricht.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Überwachen eines Laserbearbeitungsvorgangs, insbesondere eines Laserschweißvorgangs.

[0002] Um bei der Laserbearbeitung die Qualität des Bearbeitungsvorgangs in Echtzeit erfassen und bewerten zu können, und um gegebenenfalls steuernd oder regelnd in den Bearbeitungsvorgang eingreifen zu können, ist es bereits bekannt, optische Strahlung aus den Bereich einer Wechselwirkungszone zwischen Arbeitslaserstrahl und Werkstück zu beobachten. Insbesondere wird je nach verwendetem Arbeitslaser die optische Strahlung eines Plasmas oder einer Metaldampfwolke erfaßt, um aus der Intensität der Strahlung auf den Zustand des Plasmas bzw. der Metaldampfwolke und damit auf die Qualität der Laserbearbeitung schließen zu können.

[0003] Die Messung der Strahlungsintensität ist jedoch sehr stark von der Justierung der jeweiligen Sensoren abhängig, so daß bei der Anordnung der Sensoren ein erheblicher Justageaufwand erforderlich ist.

[0004] Ferner ist aus der DE 39 08 187 A1 bereits ein Verfahren zur Qualitätssicherung beim Laserstrahlschweißen und -schneiden bekannt, bei dem die Wechselwirkungszone bzw. der so genannte Dampfkanal in der Wechselwirkungszone zwischen Laserstrahl und Werkstück beobachtet wird, um aus der Wechselwirkungszone herausgeschleudertes Material sowie die Plasmawolke über der Wechselwirkungszone zu erfassen. Zur Beobachtung des herausgeschleuderten Materials, wird der Nahinfrarotbereich verwendet, während das Plasma im Nah-UV-Bereich der optischen Strahlung beobachtet wird. In beiden Fällen wird der zu überwachende Bereich mit Hilfe einer Abbildungsoptik auf einen entsprechenden photoempfindlichen Empfänger abgebildet.

[0005] Aus der DE 199 27 803 A1 ist ferner ein Verfahren zur Kontrolle der Fokusslage beim Laserstrahlschweißen bekannt, bei dem die optische Emission der Wechselwirkungszone auf eine positionssensitive Diode abgebildet wird, deren Ausgangssignal den Intensitätsschwerpunkt der von der Wechselwirkungszone ausgehenden Strahlung darstellt. Die geometrische Lage des Intensitätsschwerpunkts steht im Zusammenhang mit der Fokusslage, so daß die Fokusslage entsprechend dem ermittelten Schwerpunkt falls erforderlich geregelt werden kann.

[0006] Aus der DE 100 13 892 A1 ist ferner ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung der Schweißqualität an einer Schweißnaht zwischen Werkstücken bekannt, bei dem eine Emissionsintensität von sichtbarem Licht erfaßt wird, das von einer

Schweißnaht während des Laserschweißens ausgesandt wird. Ferner wird die Intensität von reflektiertem Laserlicht erfaßt. Die Ausgangssignale entsprechender Fotosensoren werden dann einer Meßvorrichtung zugeführt, um aus den jeweiligen Intensitäten der erfaßten Strahlung auf die Qualität der Laserschweißung zu schließen.

[0007] Intensitätsmessungen der Strahlung sind jedoch, wie Eingangs bereits erwähnt, stark Justage abhängig, so daß bereits kleine Fehler in der Justierung der Sensoren eine zuverlässige Qualitätskontrolle und/oder Steuerung des Arbeitsvorgangs zumindest erheblich erschweren.

[0008] Die JP 09-010970 A beschreibt eine Laserschweißanlage, bei der Licht aus dem Schmelzbad von einem Sensor erfaßt und über eine optische Faser einer Spektralanalysevorrichtung zugeführt wird. Die Spektralintensität wird bei einer intrinsischen Wellenlänge des Hauptelements des Schweißmaterials gemessen. Das Meßsignal wird zur Bildung einer spektralen Verteilung einer Auswerteschaltung eingegeben und mit einem Referenzwert verglichen, um festzustellen, ob das zu schweißende Material im geschmolzenen Zustand ist.

[0009] Die JP 08-206859 A beschreibt eine Vorrichtung zur Überwachung eines Laserschweißprozesses, bei dem das aus der Wechselwirkungszone kommende Licht über ein Prisma spektral zerlegt auf ein CCD eingestrahlt wird. Das CCD verwandelt das eingestrahlte Licht in einen Pulszug, der der spektralen Verteilung der empfangenen Strahlung entspricht. Mit Hilfe von zwei ausgesuchten Wellenlängen wird dann die Temperatur des Schmelzbades ermittelt und mit einem Referenzwert verglichen, um ein Ausgangssignal zu liefern, das den Eindringzustand des Laserstrahls beschreibt.

[0010] Die US 5,969,335 A zeigt ein weiteres Verfahren zur Steuerung des Lasers einer Laserbearbeitungsanlage, bei dem Strahlung aus der Plasmawolke über der Wechselwirkungszone erfaßt wird, um dann in Abhängigkeit der erfaßten Strahlung den Laser zu steuern. Hierzu umfaßt ein Fotodetektor ein Beugungsgitter, das zumindest zwei Lichtstrahlen mit unterschiedlichen Wellenlängen zu einem Fotoempfänger durchläßt, der entsprechende elektrische Signale liefert.

[0011] Die DE 44 39 714 A1 beschreibt ein Bearbeitungsverfahren zum Markieren, insbesondere Beschriften von Produkten unter Verwendung von Laserstrahlung, bei dem während eines Teils der Markierung, der nicht materialspezifisch ist, unter Materialverdampfung ein Plasma erzeugt und die vom Plasma emittierte Strahlung spektral erfaßt und analysiert wird, um daraus materialspezifische Parameter des Produktes abzuleiten, mit deren Hilfe das Mar-

kierungsverfahren auf die materialspezifischen Parameter abgestimmt wird.

[0012] Auch die Entgegenhaltung DE 40 06 622 C2 zeigt nur, daß es bekannt ist, aus der Wechselwirkungszone zwischen einem Laserstrahl und einem Werkstück stammende Strahlung spektral zu zerlegen und auf separate Detektoren einer Auswerteeinheit zu lenken, die dann ein Überwachungssignal für die Laserbearbeitung liefert.

[0013] Davon ausgehend liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Überwachen eines Laserbearbeitungsvorgangs bereitzustellen, die ohne großen Justageaufwand zuverlässige Meßsignale für die Qualitätssicherung und/oder die Steuerung des Laserbearbeitungsvorgangs liefern.

[0014] Diese Aufgabe wird durch die Vorrichtungen nach Anspruch 1 und 3 sowie durch die Verfahren nach Anspruch 5 und 6 gelöst.

[0015] Vorrichtungsseitig ist also gemäß dem geltenden Patentanspruch 1 als Fotoempfängeranordnung ein positionssensitiver Detektor, z. B. eine positionssensitive Diode vorgesehen, dessen bzw. deren Ausgangssignal dem auf Wellenlänge oder Frequenz der optischen Strahlung bezogenen Schwerpunkt der spektralen Verteilung der erfaßten optischen Strahlung entspricht. Das Ausgangssignal eines derartigen positionssensitiven Detektors stellt also bereits ein Maß für den spektralen Schwerpunkt dar, so daß ohne großen Rechenaufwand mit hoher Geschwindigkeit ein geeignetes Maß für die spektrale Verteilung der erfaßten Strahlung ermittelt werden kann. Somit ist eine besonders zeitnahe Qualitätsüberwachung und/oder Sicherung zu ermöglichen.

[0016] Um auch bei relativ geringen Lichtintensitäten im sichtbaren Bereich das empfangene Licht möglichst verlustfrei auswerten zu können, ist bei einer zweckmäßigen Ausgestaltung dieser erfindungsgemäßen Vorrichtung vorgesehen, daß als lichtzerlegendes Element ein abbildendes Beugungsgitter vorgesehen ist, das den Eintrittsbereich auf die Fotoempfängeranordnung abbildet.

[0017] Gemäß dem geltenden Patentanspruch 3 wird der spektrale Schwerpunkt als Maß der spektralen Verteilung der erfaßten Strahlung mit Hilfe von zwei Empfängeranordnungen ermittelt, die unterschiedliche spektrale Empfindlichkeitsverläufe aufweisen, so daß aus den beiden Ausgangssignalen der gesuchte Schwerpunkt ermittelt werden kann.

[0018] Hierbei läßt sich der schaltungstechnische Aufwand wesentlich reduzieren, wenn als erste strahlungsempfindliche Empfängeranordnung ein fotoempfindlicher Sensor vorgesehen ist, der ein der

einfallenden Intensität entsprechendes Signal liefert, und wenn als zweite strahlungsempfindliche Empfängeranordnung ein dem ersten Sensor entsprechender zweiter fotoempfindlicher Sensor mit zugeordnetem Farbfilter vorgesehen ist, das eine spektrale Gewichtung der gefilterten Strahlung bewirkt.

[0019] Die Ermittlung eines Maßes für die spektrale Verteilung der optischen Strahlung, die aus dem Bereich der Wechselwirkungszone kommt, gemäß den erfindungsgemäßen Verfahren ermöglicht eine sehr schnelle und zuverlässige Aussage über den Bearbeitungsvorgang, wobei selbst bei großen Intensitätsschwankungen in Folge unterschiedlicher Erfassungsrichtungen für die Strahlung das Maß für die spektrale Verteilung stets dasselbe ist, da die spektrale Verteilung der Strahlung im Gegensatz zur Intensität nicht von der Abstrahlrichtung abhängig ist.

[0020] Die Erfassung des spektralen Schwerpunkts, also des Schwerpunkts der spektralen Verteilung der erfaßten Strahlung hat dabei den Vorteil, daß hierdurch ein Maß für die Temperatur der Strahlungsquelle erhalten wird, das auf einfache und schnelle Weise ermittelt werden kann. Stammt die optische Strahlung von einem Plasma, so wird davon ausgegangen, daß sich beim Laserschweißen mit großer Näherung ein thermisches Plasma über der Wechselwirkungszone ausbildet.

[0021] Der Einsatz von positionsempfindliche Dioden oder Detektoren als positionsempfindliche Empfänger hat den Vorteil, daß ihr Ausgangssignal bereits den spektralen Schwerpunkt darstellt, so daß ohne großen Rechenaufwand mit hoher Geschwindigkeit ein geeignetes Maß für die spektrale Verteilung der erfaßten Strahlung ermittelt werden kann.

[0022] Wird die spektrale Verteilung der von der Plasmawolke bzw. Metaldampfwolke emittierten Strahlung erfaßt, so läßt diese Rückschlüsse auf die Temperatur der Plasmawolke bzw. Metaldampfwolke zu, aus der wiederum auf die Einschweißtiefe des Lasers und gegebenenfalls auch auf die Schweißtemperatur zurückgeschlossen werden kann.

[0023] Die Erfindung wird im folgenden beispielsweise anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

[0024] [Fig. 1](#) eine stark vereinfachte schematische Darstellung eines Laserbearbeitungskopfes mit einer daran angeordneten Vorrichtung zur Überwachung eines Laserbearbeitungsvorgangs,

[0025] [Fig. 2](#) eine stark vereinfachte schematische Darstellung eines Laserbearbeitungskopfes mit Überwachungsvorrichtung, wobei im Laserbearbeitungskopf eine andere Strahlführung vorgesehen ist, als bei der Ausgestaltung von [Fig. 1](#),

[0026] **Fig. 3** eine stark vereinfachte schematische Darstellung eines Laserbearbeitungskopfes und eine Überwachungsvorrichtung, wobei zwischen dem Laserbearbeitungskopf und der Überwachungsvorrichtung ein Lichtleiter vorgesehen ist,

[0027] **Fig. 4** eine stark vereinfachte schematische Darstellung einer weiteren Sensoranordnung zur Ermittlung eines Maßes für die spektrale Verteilung einfallender optischer Strahlung, und

[0028] **Fig. 5** ein Temperatur-Orts-Diagramm zur Veranschaulichung einer gemessenen Temperatur eines Plasmas oberhalb eines Werkstücks, im Bereich der Werkstückoberfläche und in einer Dampfkapillare (oder einem Dampfkanal).

[0029] In den verschiedenen Figuren der Zeichnung sind einander entsprechende Bauteile mit gleichen Bezugszeichen versehen.

[0030] Wie in **Fig. 1** rein schematisch dargestellt ist, ist in einem Laserbearbeitungskopf **10** eine Laseroptik **11** angeordnet, die einen Arbeitsstrahlengang **12** für einen Arbeitslaserstrahl **13** festlegt. Die Laseroptik **11** umfaßt einen Kollimator **14**, der einen über einen Lichtleiter **15** zugeführten divergenten Laserstrahl parallelisiert, und eine Fokussieroptik **16**, die den parallelisierten Arbeitslaserstrahl **13** in eine Wechselwirkungszone **17** fokussiert, in der der Arbeitslaserstrahl **13** mit dem Werkstück **18** wechselwirkt, in dem er das Material des Werkstücks für den jeweiligen Bearbeitungsvorgang aufschmilzt.

[0031] Seitlich am Laserbearbeitungskopf **10** oder in nicht näher dargestellter Weise in diesen integriert ist eine Empfängeranordnung **19** in einem entsprechenden Gehäuse **20** vorgesehen. Um Strahlung, insbesondere optische Strahlung, insbesondere sichtbares Licht und Licht aus dem nahen UV-Bereich auf einen von einer Eintrittsblende **21** gebildeten Eintrittsbereich der Empfängeranordnung **19** abzubilden wird die aus dem Bereich der Wechselwirkungszone **17** kommende Strahlung, die zunächst den Arbeitstrahlengang **12** in entgegengesetzter Richtung wie der Arbeitslaserstrahl **13** durchläuft, mit Hilfe einer Teilerplatte **22** aus dem Arbeitsstrahlengang **13** in einen Beobachtungsstrahlengang ausgekoppelt, der von einer Fokussierlinse **24** und der Eintrittsblende **21** der Empfängeranordnung **19** festgelegt wird. Die Auskopplung der reflektierten Strahlung erfolgt dabei in dem in **Fig. 1** dargestellten Ausführungsbeispiel durch Umlenkung. Es ist jedoch auch möglich, im Falle eines Laserbearbeitungskopfes, in dem der Arbeitsstrahlengang mit Hilfe eines Spiegels um 90° umgelenkt ist, den Spiegel als Strahlteiler auszubilden, so daß die Auskopplung der reflektierten Strahlung gerade, also ohne Umlenkung erfolgt.

[0032] Die Empfängeranordnung **19** umfasst als lichtzerlegendes Element ein Beugungsgitter **25**, das als konkaves Reflektionsgitter ausgebildet ist, um nicht nur ein Spektrum zu erzeugen, sondern auch die vorzugsweise kreisförmige Eintrittsöffnung der Eintrittsblende **21** auf eine Fotoempfängeranordnung **26** abzubilden.

[0033] Um das vom Beugungsgitter **25** erzeugte Spektrum so auswerten zu können, daß ein Maß für die spektrale Verteilung der erfassten optischen Strahlung ermittelt werden kann, ist eine Fotoempfängeranordnung **26** erforderlich, deren Ausgangssignal oder Ausgangssignale mit der spektralen Verteilung im Spektrum korrelieren.

[0034] Beispielsweise kann als Fotoempfängeranordnung **26** ein Fotodiodenarray, insbesondere eine Fotodiodenzeile vorgesehen sein, deren Ausgangssignale jeweils der Intensität des erfassten Lichts in einem bestimmten schmalen Wellenlängenbereich entspricht. Die Ausgangssignale einer Fotodiodenzeile geben somit im wesentlichen die spektrale Verteilung im Spektrum selbst wieder, aus der dann ein geeignetes Maß für die Verteilung berechnet werden kann. Z. B. der spektrale Schwerpunkt des Spektrums oder das Maximum der Verteilung, das – unter der Voraussetzung eines thermischen Spektrums – der Farbtemperatur der Strahlungsquelle, also einer sich über der Wechselwirkungszone **17** bildenden thermischen Plasma- oder Metaldampfwolke entspricht.

[0035] Eine besonders einfache elektronische Auswertung ergibt sich, wenn als Fotoempfängeranordnung **26** ein positionssensitiver Detektor verwendet wird, dessen Ausgangssignal dem Intensitätsschwerpunkt der einfallenden Strahlung, und da im vorliegenden Fall ein Spektrum detektiert wird, dem spektralem Schwerpunkt des Spektrums entspricht. Für die bei der Erfindung vorgesehene Auswertung des Spektrums eignet sich insbesondere ein eindimensionaler positionssensitiver Detektor.

[0036] Das Ausgangssignal der Fotoempfängeranordnung wird an eine Auswerteschaltung **27** angelegt, die das Maß für die spektrale Verteilung, insbesondere den spektralen Schwerpunkt des Spektrums für Qualitätssicherungszwecke und/oder Regelzwecke auswertet.

[0037] Bei der in **Fig. 1** dargestellten Anordnung kann durch eine Verschiebung der Fokussierlinse **24** gegenüber der Eintrittsblende **21** der Beobachtungsbereich im Bereich der Wechselwirkungszone **17** verschoben werden. **Fig. 5** zeigt das Ergebnis einer Messung, bei der die Temperatur eines Plasmas oberhalb des Werkstücks, im Bereich der Werkstückoberfläche und in einer sich bei der Laserbearbeitung in der Wechselwirkungszone **17** ausbildenden Dampfkapillare (oder Dampfkanal) aus der spektra-

len Verteilung der Plasmastrahlung ermittelt wurde. Es ist dabei deutlich zu erkennen, daß oberhalb der Werkstückoberfläche, die in [Fig. 5](#) durch die gestrichelte senkrechte Linie bei 0 mm angedeutet wird, die Temperatur des Plasmas im wesentlichen konstant ist, während sie bei tieferem Eintauchen in die Dampfkapillare stark ansteigt.

[0038] Somit ist es beispielsweise denkbar zur Überwachung eines Laserschweißvorgangs das Plasma bzw. die Metaldampf Wolke in einem Bereich unterhalb der Werkstückoberfläche zu beobachten, um aus der Lage des spektralen Schwerpunkts oder der damit korrelierten Temperatur des Plasmas bzw. der Metaldampf Wolke auf die Fokusslage des Arbeitslasers bzw. die Einschweißtiefe zu schließen. Andererseits scheint es auch möglich, die Plasma- oder Metaldampf Wolke zwischen Laserbearbeitungskopf und Werkstückoberfläche zu erfassen, um aus Schwankungen der spektralen Schwerpunktlage entweder unmittelbar oder über die damit korrelierte Plasma- oder Metaldampftemperatur auf die Laserleistung oder andere Parameter des Bearbeitungsvorgangs zu schließen.

[0039] Die [Fig. 2](#) zeigt einen Laserbearbeitungskopf **10'**, bei dem der kollimierte Arbeitslaserstrahl **13** über einen Umlenkspiegel **28** auf einen als Fokussieroptik dienenden Hohlspiegel **29** umgelenkt wird. Der Hohlspiegel **29** fokussiert den Arbeitslaserstrahl **13** in den Brennpunkt im Bereich der Wechselwirkungszone **17** des Werkstücks **18**. In umgekehrter Weise wird von der Wechselwirkungszone **17** ausgehende optische Strahlung vom Hohlspiegel **29** entgegen der Richtung des Arbeitslaserstrahls in Richtung auf den Umlenkspiegel **28** gelenkt. Da wie in [Fig. 2](#) zu erkennen ist, die effektive Öffnung des Hohlspiegels **29**, vom Umlenkspiegel **28** aus gesehen, größer ist als der Durchmesser des Umlenkspiegels **28** wird nur die im Zentralbereich des umgelenkten Strahlungsbündels vorhandene Strahlung aus dem Strahlenbündel ausgekoppelt, während die Strahlung des Randbereichs von der Fokussierlinse **24** auf die Eintrittsblende **21** der Empfängeranordnung **19** fokussiert wird. Die Auswertung der auf diese Weise erfassten Strahlung aus der Wechselwirkungszone **17** erfolgt dann in der gleichen Weise wie bei der Vorrichtung nach [Fig. 1](#).

[0040] In entsprechender Weise kann auch ein durchbohrter Umlenkspiegel, ein sogenannter Scaper-Spiegel, im Strahlengang angeordnet sein, der den Arbeitslaserstrahl durchläßt und nur den Randbereich der zurückkommenden Strahlung zur Empfängeranordnung umlenkt.

[0041] Wie in [Fig. 3](#) dargestellt, kann zwischen Laserbearbeitungskopf **10** und Empfängeranordnung **19** eine optische Faser als Lichtleiter **40** vorgesehen sein, der die Strahlung vom Laserbearbeitungskopf

10 zur Empfängeranordnung **19** transportiert. In diesem Fall wird die zu überwachende Strahlung, die aus dem Arbeitsstrahlengang ausgekoppelt ist, von einer Linse oder einem Objektiv **41** in den Lichtleiter **40** eingekoppelt. In entsprechender Weise wird dann die aus dem Lichtleiter **40** austretende Strahlung von einer weiteren Linse oder Objektiv **42** kollimiert, um dann wie bei den Ausführungsbeispielen nach den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) von der Fokussierlinse **24** auf die Eintrittsblende **21** der Empfängeranordnung **19** fokussiert zu werden. Der Einsatz eines Lichtleiters **40** zwischen Laserbearbeitungskopf **10** und Empfängeranordnung **19** hat den Vorteil, daß die Empfängeranordnung **19** entfernt vom Laserbearbeitungskopf **10** angeordnet werden kann, so dass sie bei der Laserbearbeitung nicht zusammen mit dem Laserbearbeitungskopf **10** bewegt werden muß.

[0042] [Fig. 4](#) zeigt eine andere Empfängeranordnung zur Analyse der spektralen Verteilung der optischen Strahlung aus der Wechselwirkungszone **17**. Die mit Hilfe einer Fokussieroptik **16**, **29** und gegebenenfalls eines Umlenkelements erfasste und weitgehend kollimierte Strahlung aus der Wechselwirkungszone wird bei dem Ausführungsbeispiel nach [Fig. 4](#) mittels einer Teilerfläche **30** so aufgeteilt, daß ein erster Teil der optischen Strahlung von einer ersten Fokussierlinse **31** auf einen ersten fotoempfindlichen Sensor **32** fokussiert wird, während ein zweiter Teil der erfassten Strahlung mittels einer zweiten Fokussierlinse **33** auf einen zweiten fotoempfindlichen Empfänger **36** fokussiert wird. Vor dem zweiten fotoempfindlichen Sensor **34**, im vorliegenden Falle zwischen Teilerfläche **30** und Fokussierlinse **33** ist ein optisches Filter **35** angeordnet, das im interessierenden Spektralbereich eine im wesentliche linear ansteigende oder linear abfallende Transmission besitzt.

[0043] Die beiden Sensoren **32**, **34** müssen dabei im wesentlichen die selbe spektrale Empfindlichkeit besitzen. Die Ausgangssignale der beiden Sensoren **32** und **34** werden an eine nachgeordnete Auswerteschaltung **36** angelegt, die aus den Ausgangssignalen der Sensoren **32** und **34** ein Maß für die spektrale Verteilung der erfaßten optischen Strahlung, insbesondere den spektralen Schwerpunkt der Verteilung ermittelt.

[0044] Auch die in [Fig. 4](#) dargestellte Empfängeranordnung kann zusammen mit einem Lichtleiter **40** und den erforderlichen Optiken oder Objektiven eingesetzt werden.

[0045] Um in unterschiedliche Gebiete im Bereich der Wechselwirkungszone **17** blicken zu können, ist den Sensoren **32**, **34** in nicht näher dargestellter Weise eine Blende mit einer zentralen Durchgangsöffnung zugeordnet, deren Form der Form des zu beobachtenden Gebiets entspricht.

[0046] Unter der Voraussetzung, daß die beiden Sensoren **32**, **34** im interessierenden Spektralbereich der erfaßten Strahlung eine im wesentlichen konstante Empfindlichkeit besitzen, ermittelt der erste fotoempfindlichen Sensor **32** das Intensitätsintegral über den interessierenden Spektralbereich, während der zweite fotoempfindlichen Sensor **34** ein Integral über die gewichtete spektrale Intensitätsverteilung berechnet. In diesem Fall läßt sich der Schwerpunkt durch eine einfache Quotientenbildung in der Auswerteschaltung **36** ermitteln.

[0047] Werden fotoempfindliche Sensoren **32**, **34** verwendet, die beispielsweise einen logarithmischen Frequenzgang besitzen, so ist die Quotientenbildung in der Schaltung **36** durch eine einfache Differenzbildung zu ersetzen. Entscheidend ist, daß mit Hilfe eines geeigneten Filters **35** eine Gewichtung der spektralen Intensitätsverteilung in Abhängigkeit von der Wellenlänge vorgenommen wird.

[0048] Die vorliegende Erfindung schafft also ein Verfahren und eine Vorrichtung mit deren Hilfe eine aus dem Bereich einer Wechselwirkungszone zwischen Laserstrahl und Werkstück kommende Strahlung zur Überwachung eines Laserbearbeitungsvorgangs erfaßt und analysiert werden kann. Insbesondere wird die von einem Gebiet im Bereich der Wechselwirkungszone **17** ausgehende Strahlung mit Hilfe der Fokussieroptik **16**, **29** im wesentlichen nach unendlich abgebildet, aus dem Arbeitsstrahlengang **12** ausgekoppelt und mittels einer weiteren Fokussierlinse **24** auf eine Empfängeranordnung gelenkt. Dabei dient eine geeignete Blende, nach **Fig. 1** und **Fig. 2** die Eintrittsblende **21**, zum Separieren der Strahlung, die aus dem zu beobachtenden Gebiet kommt. Aus der Strahlung, die neben der Plasmastrahlung oder der Wärmestrahlung aus der Metaldampf Wolke auch die reflektierte Laserstrahlung und das Materialleuchten aus der Wechselwirkungszone umfaßt, wird durch eine geeignete Filterung zunächst die Plasmastrahlung oder die Wärmestrahlung aus der Metaldampf Wolke separiert. Dies erfolgt zweckmäßigerweise durch die Wahl eines geeigneten Spektralbereichs.

[0049] Im Falle eines YAG-Lasers, dessen Wellenlänge bei ca. 1064 nm liegt, wird im wesentlichen nur die Strahlung mit einer Wellenlänge im Bereich zwischen etwa 400 und 600 nm berücksichtigt. Im Falle eines CO₂-Lasers, der bei einer Wellenlänge von etwa 10.600 nm arbeitet, und der ein Plasma über der Wechselwirkungszone **17** zündet, wird Licht aus dem Wellenlängenbereich von 200 bis 600 nm, also Licht aus dem nahen UV und dem sichtbaren Bereich erfaßt. Bei der Empfängeranordnung **19** nach **Fig. 1** und **Fig. 2** erfolgt die "Filterung" durch eine geeignete Anordnung des Fotoempfängers **26**, also beispielsweise des positionssensitiven Detektors.

[0050] Im Falle des Ausführungsbeispiels nach **Fig. 4** kann die Auswahl des gewünschten Spektralbereichs durch geeignete Bandfilter oder durch die Empfindlichkeit der Sensoren **32**, **34** selbst realisiert werden.

[0051] Schließlich wird für die erfaßte Strahlung der spektrale Schwerpunkt ihrer spektralen Intensitätsverteilung in der oben beschriebenen Weise ermittelt, um auf den Zustand des Plasmas oder der Metaldampf Wolke schießen zu können.

[0052] Aufgrund dieser Vorgehensweise wird eine schnelle und einfache Überwachung des Plasmas bzw. der Metaldampf Wolke zwischen Werkstückoberfläche und Laserbearbeitungskopf oder innerhalb der Dampfkapillare der Wechselwirkungszone ermöglicht, um Rückschlüsse auf die Bearbeitungsqualität ziehen zu können.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Überwachen eines Laserbearbeitungsvorgangs, insbesondere eines Laserschweißvorgangs, mit einer optischen Abbildungsanordnung (**16**, **22**, **24**; **29**, **24**), die ein Beobachtungsgebiet im Bereich einer Wechselwirkungszone (**17**) zwischen Arbeitslaserstrahl (**13**) und Werkstück (**18**) auf einen Eintrittsbereich (**21**) einer Empfängeranordnung (**19**) abbildet, die ein lichtzerlegendes Element (**25**) und als Fotoempfängeranordnung einen positionssensitiven Detektor aufweist, dessen Ausgangssignal dem auf Wellenlänge oder Frequenz der optischen Strahlung bezogenen Schwerpunkt der spektralen Verteilung der erfaßten optischen Strahlung entspricht.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als lichtzerlegendes Element ein abbildendes Beugungsgitter (**25**) vorgesehen ist, das den Eintrittsbereich (**21**) auf den positionssensitiven Detektor (**26**) abbildet.

3. Vorrichtung zum Überwachen eines Laserbearbeitungsvorgangs, insbesondere eines Laserschweißvorgangs, mit einer optischen Abbildungsanordnung (**16**, **13**; **29**), die ein Beobachtungsgebiet im Bereich einer Wechselwirkungszone (**17**) zwischen Arbeitslaserstrahl (**13**) und Werkstück (**18**) über einen Strahlteiler (**30**) auf eine erste und eine zweite strahlungsempfindliche Empfängeranordnung (**31**, **32**; **35**, **33**, **34**) abbildet, wobei die beiden Empfängeranordnungen (**31**, **32**; **35**, **33**, **34**) unterschiedliche spektrale Empfindlichkeitsverläufe aufweisen, und mit einer Signalverarbeitungsschaltung (**36**), die aus den Ausgangssignalen der beiden Empfängeranordnungen (**31**, **32**; **35**, **33**, **34**) den spektralen Schwerpunkt der erfaßten Strahlung ermittelt.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die erste strahlungsempfindliche Empfängeranordnung einen fotoempfindlichen Sensor (32) umfaßt, der ein der einfallenden Intensität entsprechendes Signal liefert, und daß die zweite strahlungsempfindliche Empfängeranordnung ein dem ersten Sensor (32) entsprechenden zweiten fotoempfindlichen Sensor (34) mit zugeordneten Farbfilter (35) aufweist, welches eine spektrale Gewichtung der gefilterten Strahlung bewirkt.

5. Verfahren zum Überwachen eines Laserbearbeitungsvorgangs, insbesondere eines Laserschweißvorgangs, bei dem
 – optische Strahlung aus dem Bereich einer Wechselwirkungszone (17) zwischen Arbeitslaserstrahl (13) und Werkstück (18) erfaßt, spektral zerlegt und als Spektrum auf einen positionssensitiven Detektor (26) abgebildet wird, dessen Ausgangssignal dem auf Wellenlänge oder Frequenz der optischen Strahlung bezogenen Schwerpunkt der spektralen Verteilung der erfaßten optischen Strahlung entspricht und somit ein Maß für deren spektrale Verteilung ist, und
 – aus dem Maß für die spektrale Verteilung der erfaßten optischen Strahlung eine Kontroll- und/oder Steuergröße für den Bearbeitungsvorgang abgeleitet wird.

6. Verfahren zum Überwachen eines Laserbearbeitungsvorgangs, insbesondere eines Laserschweißvorgangs, bei dem
 – optische Strahlung aus dem Bereich einer Wechselwirkungszone (17) zwischen Arbeitslaserstrahl (13) und Werkstück (18) erfaßt wird,
 – ein erster Teil der erfaßten optischen Strahlung auf eine erste strahlungsempfindliche Empfängeranordnung (31, 32) und ein zweiter Teil der erfaßten optischen Strahlung auf eine zweite strahlungsempfindliche Empfängeranordnung (33, 34, 35) gelenkt wird, wobei die beiden Empfängeranordnungen (31, 32; 35, 33, 34) unterschiedliche spektrale Empfindlichkeitsverläufe aufweisen,
 – aus den Ausgangssignalen der beiden Empfängeranordnungen (31, 32; 35, 33, 34) der auf Wellenlänge oder Frequenz bezogene spektrale Schwerpunkt der erfaßten Strahlung als Maß für die spektrale Verteilung der erfaßten optischen Strahlung ermittelt wird, und
 – aus dem Maß für die spektrale Verteilung der erfaßten optischen Strahlung eine Kontroll- und/oder Steuergröße für den Bearbeitungsvorgang abgeleitet wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß für einen ersten Teil der erfaßten Strahlung ein erstes Integral über einen bestimmten Spektralbereich ermittelt wird, daß ein zweiter Teil der erfaßten Strahlung einer Farbfilterung (35) unterzogen wird, um die erfaßte Strahlung über den bestimmten Spektralbereich zu gewichten, und daß aus der ge-

wichteten Strahlung ein zweites Integral über den bestimmten Spektralbereich ermittelt wird, so daß der spektrale Schwerpunkt aus den beiden Integralen bestimmt werden kann.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die optische Strahlung einer im Bereich der Wechselwirkungszone (17) vorhandene Plasmawolke erfaßt wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die optische Strahlung einer im Bereich der Wechselwirkungszone (17) vorhandenen Metaldampf- oder Metallwolke erfaßt wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die optische Strahlung aus einem Bereich über der Oberfläche der Wechselwirkungszone (17) erfaßt wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die optische Strahlung aus einem Bereich eines Dampf- oder Kapillarkanals in der Wechselwirkungszone (17) erfaßt wird.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

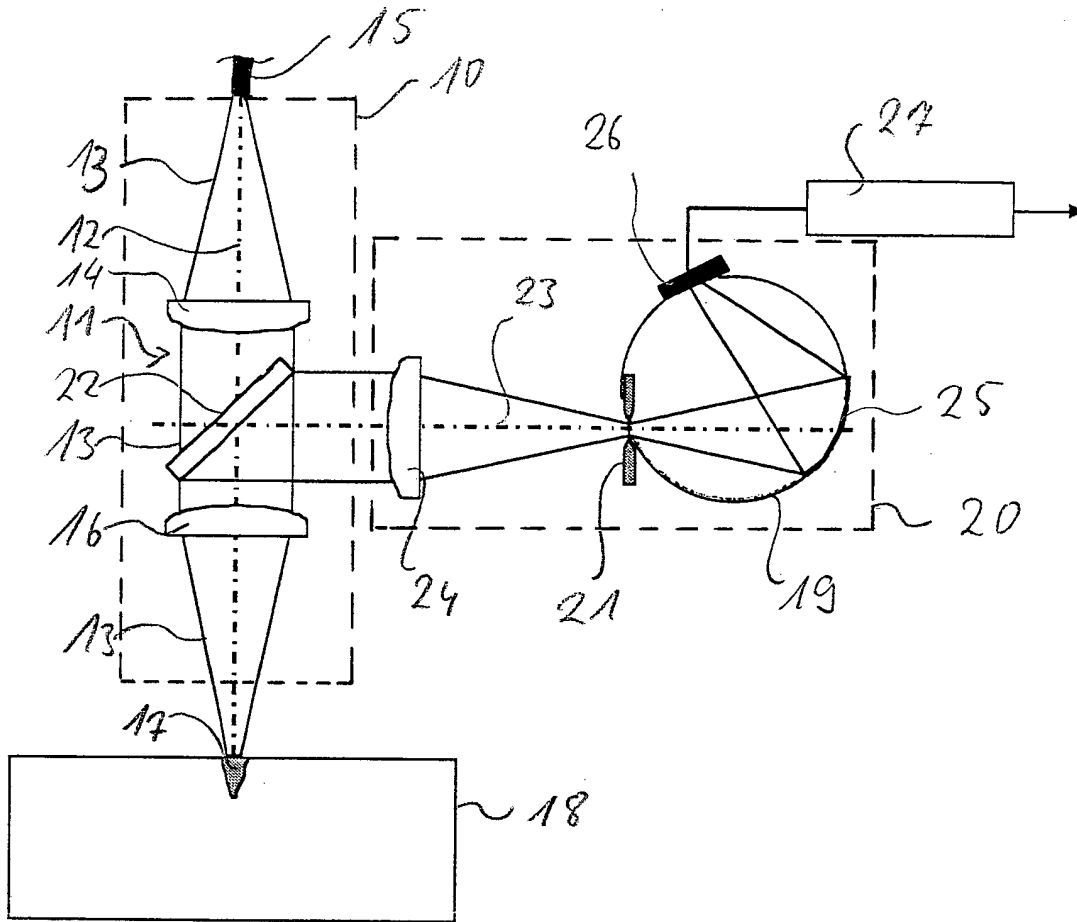


Fig. 1

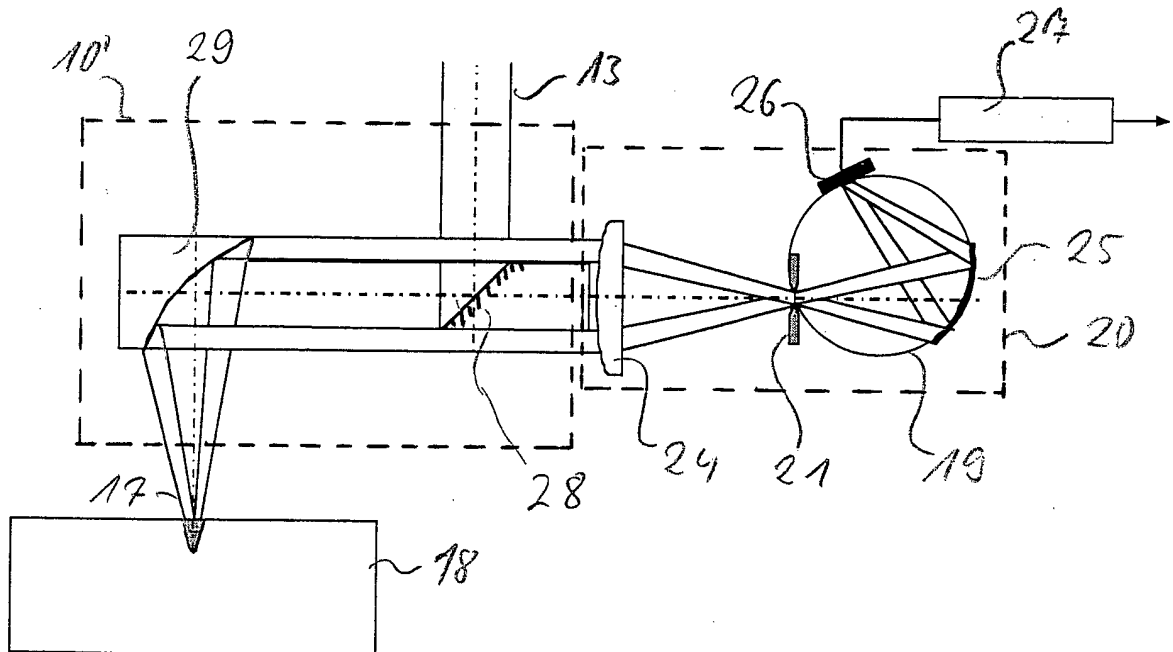


Fig. 2

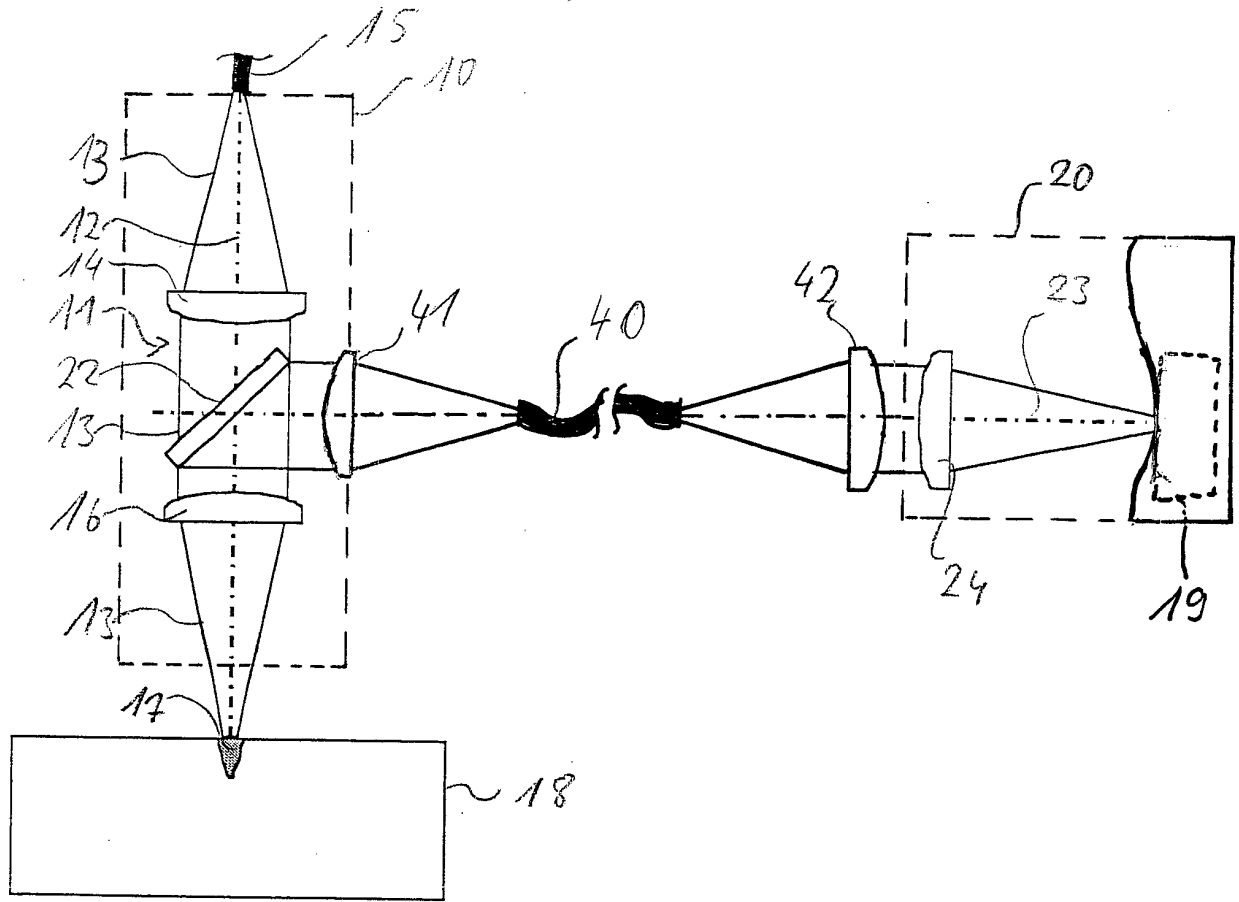


Fig. 3

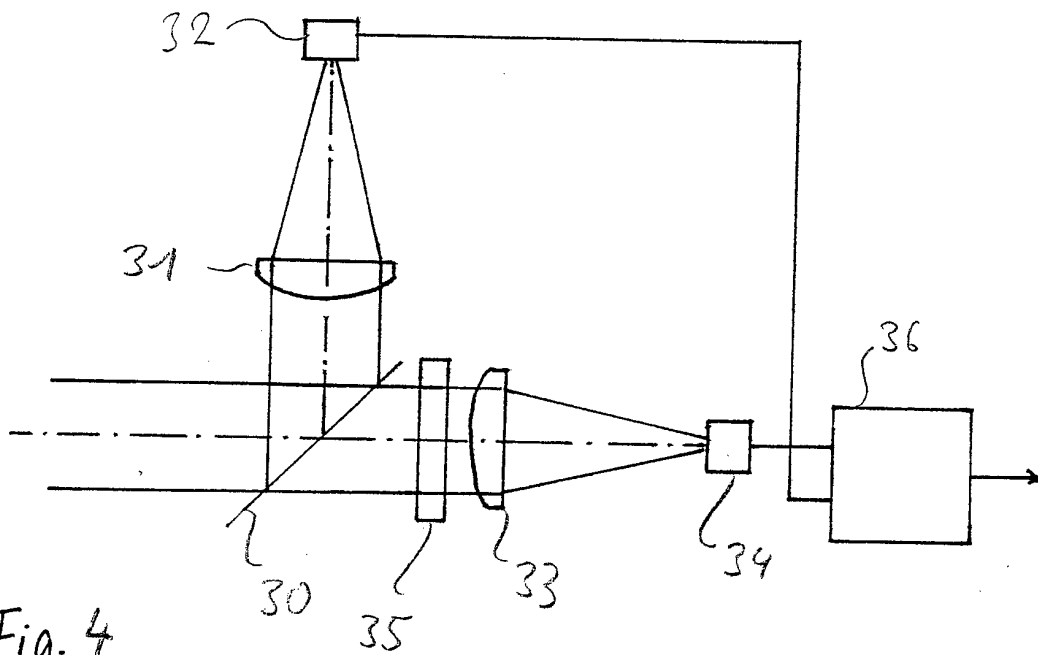


Fig. 4

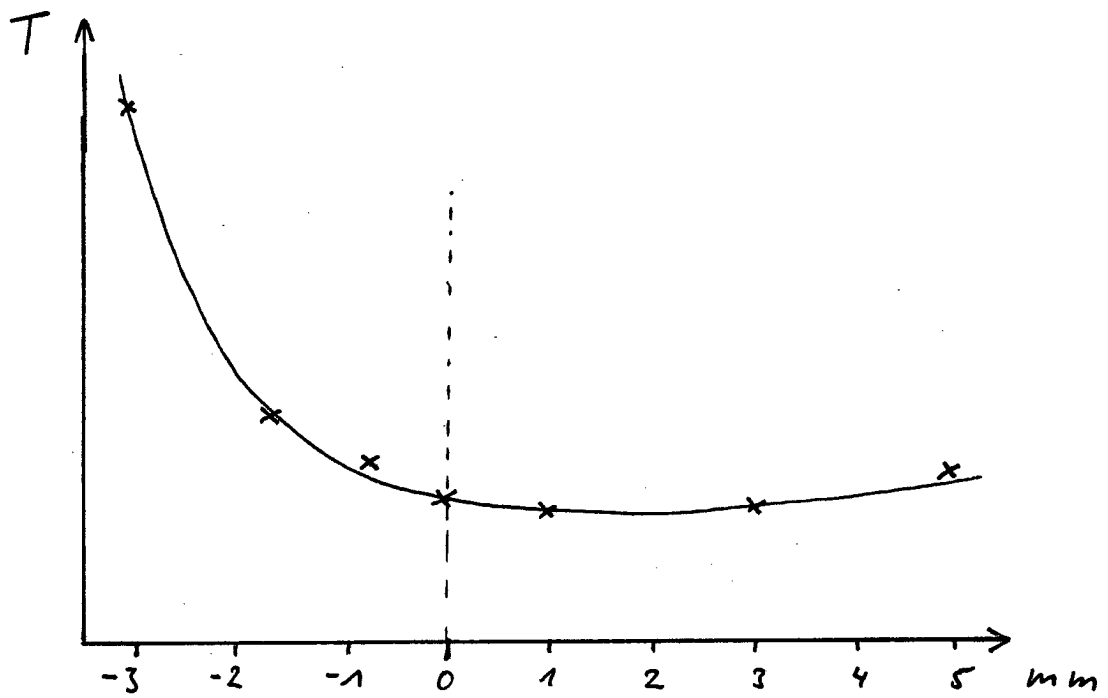


Fig.5