



(10) **DE 10 2019 201 280 A1** 2020.08.06

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2019 201 280.9**
 (22) Anmeldetag: **31.01.2019**
 (43) Offenlegungstag: **06.08.2020**

(51) Int Cl.: **G02B 27/09 (2006.01)**
G02B 26/02 (2006.01)
G02B 26/06 (2006.01)
G02F 1/13 (2006.01)
G02B 27/28 (2006.01)
B23K 26/06 (2014.01)
B23K 26/064 (2014.01)

(71) Anmelder:
TRUMPF Laser GmbH, 78713 Schramberg, DE

(74) Vertreter:
Gleiss Große Schrell und Partner mbB
Patentanwälte Rechtsanwälte, 70469 Stuttgart, DE

(72) Erfinder:
Kumkar, Malte, Dr., 99425 Weimar, DE; Großmann, Daniel, 78713 Schramberg, DE; Flamm, Daniel, Dr., 07743 Jena, DE; Pang, Hao, 71254 Ditzingen, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

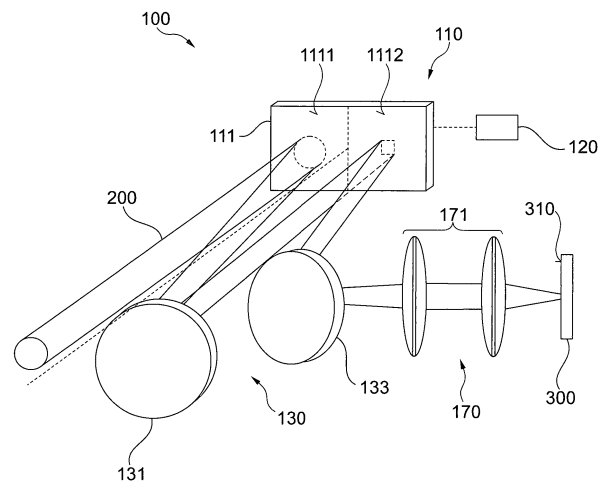
DE	11 2013 002 113	B4
DE	10 2013 212 613	A1
DE	11 2013 002 095	T5
DE	11 2014 002 729	T5
US	6 566 627	B2
US	2014 / 0 211 174	A1

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Anordnung und Verfahren zum Formen eines Laserstrahls**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Anordnung (100) zum Formen eines Laserstrahls (200), mit einem ansteuerbaren räumlichen Lichtmodulator (110), einer Ansteuerung (120) zur Ansteuerung des Lichtmodulators (110), und einer Strahlführungsoptik (130), wobei die Ansteuerung (120) eingerichtet ist, um eine Anzeigebene (111) des Lichtmodulators (110) in eine Mehrzahl von Anzeigebereichen (1111, 1112, 1113) zu teilen und in wenigstens einem ersten Anzeigebereich (1111) der Mehrzahl von Anzeigebereichen (1111, 1112, 1113) eine erste Strahlbeeinflussungsstruktur und in einem zweiten Anzeigebereich (1112) der Mehrzahl von Anzeigebereichen (1111, 1112, 1113) eine zweite Strahlbeeinflussungsstruktur darzustellen, wobei die Strahlführungsoptik (130) eingerichtet ist, um den Laserstrahl (200) entlang seiner Propagationsrichtung zunächst mit dem ersten Anzeigebereich (1111) und danach mit dem zweiten Anzeigebereich (1112) in Wechselwirkung zu bringen.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Anordnung sowie ein Verfahren zum Formen eines Laserstrahls.

[0002] Laserstrahlen können durch beispielsweise diffraktive optische Elemente oder räumliche Lichtmodulatoren in ihrer Form beeinflusst werden, wobei insbesondere eine Phasenverteilung und/oder eine Intensitätsverteilung in einer Querschnittsebene des Laserstrahls verändert werden kann/können. Anordnungen zum Formen eines Laserstrahls sind häufig bauraumintensiv und/oder weisen eine nur geringe Flexibilität mit Blick auf die Formung des Laserstrahls auf. Weiterhin ist eine Steuerung oder Regelung der Formung des Laserstrahls in der Regel nicht oder nur schwierig, insbesondere indirekt möglich.

[0003] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Anordnung und ein Verfahren zum Formen eines Laserstrahls zu schaffen, wobei die genannten Nachteile nicht auftreten.

[0004] Die Aufgabe wird gelöst, indem die vorliegende technische Lehre bereitgestellt wird, insbesondere die Lehre der unabhängigen Ansprüche sowie der in den abhängigen Ansprüchen sowie der Beschreibung offenbarten bevorzugten Ausführungsformen.

[0005] Die Aufgabe wird insbesondere gelöst, indem eine Anordnung zum Formen eines Laserstrahls geschaffen wird, die einen ansteuerbaren räumlichen Lichtmodulator aufweist, sowie eine Ansteuereinrichtung, die eingerichtet ist zur Ansteuerung des Lichtmodulators. Insbesondere ist die Ansteuereinrichtung mit dem Lichtmodulator zu dessen Ansteuerung wirkverbunden. Die Anordnung weist außerdem eine Strahlführungsoptik auf. Die Ansteuereinrichtung ist eingerichtet, um eine Anzeigeebene des Lichtmodulators in eine Mehrzahl von Anzeigebereichen zu teilen und in wenigstens einem ersten Anzeigebereich der Mehrzahl von Anzeigebereichen eine erste Strahlbeeinflussungsstruktur und in einem zweiten Anzeigebereich der Mehrzahl von Anzeigebereichen eine zweite Strahlbeeinflussungsstruktur darzustellen. Die Strahlführungsoptik ist eingerichtet, um den Laserstrahl entlang seiner Propagationsrichtung - insbesondere von einer Laserstrahlquelle des Laserstrahls oder einem vorgelagerten Anzeigebereich aus gesehen - zunächst mit dem ersten Anzeigebereich und danach mit dem zweiten Anzeigebereich in Wechselwirkung zu bringen. Die hier vorgeschlagene Anordnung ist vorteilhaft besonders kompakt ausgebildet, da derselbe räumliche Lichtmodulator mindestens zweifach verwendet wird, um den Laserstrahl zu beeinflussen, indem seine Anzeigeebene entsprechend in eine Mehrzahl von Anzeigebereichen geteilt und verschiedene Strahlbeeinflussungsstrukturen in den verschiedenen Anzeigebereichen dargestellt werden. Somit kann Bauraum für

die Anordnung eingespart werden. Die Anordnung ist außerdem sehr flexibel, da mithilfe des ansteuerbaren räumlichen Lichtmodulators und der Ansteuereinrichtung bedarfsweise verschiedene Strahlbeeinflussungsstrukturen in den verschiedenen Anzeigebereichen dargestellt werden können, sodass letztlich die Funktionalität der Anordnung zum Formen des Laserstrahls ohne weiteres und schnell quasi beliebig geändert werden kann. Insbesondere kann der Laserstrahl je nach Bearbeitungsstrategie für ein mit dem Laserstrahl zu bearbeitendes Werkstück modifiziert werden. Insbesondere kann so quasi ein digitaler Werkzeugwechsel verwirklicht werden. Weiterhin können Fehler im Laserstrahl kompensiert werden, die beispielsweise aus der Laserstrahlquelle und/oder dem Strahlengang resultieren.

[0006] Unter einem ansteuerbaren räumlichen Lichtmodulator wird insbesondere eine Vorrichtung verstanden, die eingerichtet ist, um Licht, insbesondere einen Laserstrahl, in zwei Dimensionen zu beeinflussen, wobei sie insbesondere eingerichtet ist, um eine Phasenverteilung, eine Polarisationsverteilung, eine Intensitäts- oder Amplitudenverteilung und/oder eine Propagationsrichtung des Lichts, insbesondere des Laserstrahls, zu beeinflussen. Dabei ist es insbesondere möglich, die Phasenverteilung, Polarisationsverteilung, und/oder Intensitäts- oder Amplitudenverteilung in zwei Dimensionen zu beeinflussen, und vorzugsweise zugleich Einfluss auf die Propagationsrichtung des Lichts zu nehmen. Insbesondere ergibt sich die Beeinflussung der Propagationsrichtung bevorzugt indirekt aus der Beeinflussung insbesondere der Phasenverteilung. Dass der räumliche Lichtmodulator ansteuerbar ist, bedeutet insbesondere, dass die Beeinflussung des Lichts durch den räumlichen Lichtmodulator einstellbar, insbesondere vorgebar ist, wobei sie insbesondere gezielt und auf Anforderung geändert werden kann.

[0007] Bevorzugt ist der räumliche Lichtmodulator elektrisch und/oder optisch ansteuerbar, besonders bevorzugt ist er elektronisch ansteuerbar. Ein solcher räumlicher Lichtmodulator wird auch als SLM (Spatial Light Modulator) bezeichnet. Im Folgenden wird der ansteuerbare räumliche Lichtmodulator auch kurz als Lichtmodulator bezeichnet.

[0008] Der Lichtmodulator ist insbesondere digital ansteuerbar. Die Ansteuereinrichtung ist vorzugsweise eingerichtet, um den Lichtmodulator digital anzusteuern. Dies ermöglicht eine besonders flexible Ansteuerung des Lichtmodulators und damit zugleich einen flexiblen Einsatz der Anordnung.

[0009] Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung ist der Lichtmodulator als Flüssigkristalldisplay ausgebildet. Besonders bevorzugt ist der Lichtmodulator als LCOS-SLM (Liquid Crystal on Silicon-Spatial Light Modulator) ausgebildet.

[0010] Insbesondere weist die Anordnung genau einen und nur einen ansteuerbaren räumlichen Lichtmodulator auf.

[0011] Die Ansteuereinrichtung ist vorzugsweise frei programmierbar. Somit kann die Beeinflussung des Lichts durch den Lichtmodulator flexibel und frei vorgegeben werden.

[0012] Dass die Anzeigeebene des Lichtmodulators in eine Mehrzahl von Anzeigebereichen geteilt werden kann, bedeutet insbesondere, dass die Anzeigeebene in wenigstens zwei Anzeigebereiche geteilt werden kann. Insbesondere ist es möglich, dass die Ansteuereinrichtung eingerichtet ist, um die Anzeigeebene in genau zwei Anzeigebereiche zu teilen. Es ist aber auch möglich, dass die Ansteuereinrichtung eingerichtet ist, um die Anzeigeebene in mehr als zwei Anzeigebereiche, insbesondere in drei Anzeigebereiche, zu teilen.

[0013] Insofern ist es möglich, dass der erste Anzeigebereich und der zweite Anzeigebereich die einzigen Anzeigebereiche der Anzeigeebene sind. Es ist aber auch möglich, dass die Anzeigeebene mehr Anzeigebereiche als den ersten Anzeigebereich und den zweiten Anzeigebereich aufweist. Es ist dann möglich, dass der erste Anzeigebereich tatsächlich derjenige Anzeigebereich ist, mit dem der Laserstrahl entlang seiner Propagationsrichtung zuerst in Wechselwirkung tritt, und dass der zweite Anzeigebereich derjenige Anzeigebereich ist, mit dem der Laserstrahl unmittelbar nach seiner Wechselwirkung mit dem ersten Anzeigebereich - ohne Wechselwirkung mit einem anderen Anzeigebereich dazwischen - in Wechselwirkung tritt. Der erste Anzeigebereich und der zweite Anzeigebereich können aber auch beliebige Anzeigebereiche einer Mehrzahl von Anzeigebereichen größer als zwei sein, insbesondere entlang der Propagation des Laserstrahls unmittelbar einander benachbarte Anzeigebereiche, aber auch zueinander durch wenigstens einen weiteren Anzeigebereich beabstandete Anzeigebereiche. Weiterhin ist es möglich, dass der Laserstrahl mit wenigstens einem weiteren Anzeigebereich in Wechselwirkung tritt, bevor er auf den ersten Anzeigebereich trifft, und/oder dass der Laserstrahl in Wechselwirkung mit wenigstens einem weiteren Anzeigebereich tritt, nachdem er mit dem zweiten Anzeigebereich in Wechselwirkung war.

[0014] Dass der Laserstrahl mit einem Anzeigebereich in Wechselwirkung tritt, bedeutet insbesondere, dass der Laserstrahl auf den Anzeigebereich trifft, insbesondere von dem Anzeigebereich reflektiert wird. Alternativ ist es gemäß einer anderen bevorzugten Ausgestaltung auch möglich, dass der Laserstrahl durch den Anzeigebereich hindurchtritt oder durch den Anzeigebereich geleitet wird. In diesem Fall transmittiert der Anzeigebereich den Laserstrahl.

[0015] Die Worte „hinter“ und „vor“ werden im Folgenden stets mit Bezug auf die Propagation des Laserstrahls verwendet. Dass ein erstes Element „vor“ einem zweiten Element angeordnet ist, bedeutet also, dass der Laserstrahl entlang seiner Propagation zuerst auf das erste Element und danach auf das zweite Element trifft. Entsprechend ist dann das zweite Element „hinter“ dem ersten Element angeordnet.

[0016] Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Strahlführungsoptik mindestens einen Spiegel aufweist, der angeordnet ist, um den von dem ersten Anzeigebereich kommenden Laserstrahl zu dem zweiten Anzeigebereich zu lenken. So ist es in einfacher und kompakter Weise möglich, dass der Laserstrahl unmittelbar hintereinander zunächst mit dem ersten Anzeigebereich und danach mit dem zweiten Anzeigebereich in Wechselwirkung tritt. Dass der Laserstrahl von dem ersten Anzeigebereich kommt, bedeutet insbesondere, dass der Laserstrahl in Propagationsrichtung - insbesondere ausgehend von der Laserquelle aus gesehen - zunächst den ersten Anzeigebereich passiert und danach auf den Spiegel trifft.

[0017] Vorzugsweise ist die Strahlführungsoptik eingerichtet, um den Laserstrahl auf seinem Weg zu dem zweiten Anzeigebereich zu bündeln, also konvergieren zu lassen, und/oder um den Anzeigebereich auf den zweiten Anzeigebereich abzubilden. Vorzugsweise weist die Strahlführungsoptik wenigstens ein Raumfilter auf, insbesondere um unerwünschte Strahlanteile zu entfernen. Das wenigstens ein Raumfilter kann insbesondere als Blende oder als diffraktives Element ausgebildet sein.

[0018] Gemäß einer Ausgestaltung ist hierzu vorgesehen, dass die Strahlführungsoptik im Strahlengang zwischen dem ersten Anzeigebereich und dem zweiten Anzeigebereich eine abbildende optische Anordnung, insbesondere ein abbildendes optisches Element oder eine Mehrzahl abbildender optischer Elemente, beispielsweise eine Linse, insbesondere eine Sammellinse, aufweist. Es ist auch möglich, dass der Spiegel selbst als abbildendes optisches Element ausgebildet ist, insbesondere eine Linsenfunktion aufweist, beispielsweise als Hohlspiegel ausgebildet ist. Bei dieser Ausgestaltung ist bevorzugt vorgesehen, dass sowohl der erste Anzeigebereich als auch der zweite Anzeigebereich jeweils in einer Fokusebene der abbildenden optischen Anordnung angeordnet sind. Es wird insoweit bevorzugt eine 2f-Anordnung verwirklicht. Es ist aber auch möglich, dass ein höheres Vielfaches einer 2f-Anordnung verwirklicht wird, insbesondere derart, dass eine letzte Brennebene der Anordnung eine Fourierebene der Objektenebene der Anordnung, insbesondere des ersten Anzeigebereichs ist. Insbesondere ist dabei der zweite Anzeigebereich in einer Fourierebene des ersten Anzeigebereichs angeordnet. Dies kann bevorzugt

mit einer n f-Anordnung verwirklicht werden, wobei n eine natürliche Zahl ist, die durch 2, nicht aber durch 4 teilbar ist (2f-, 6f-, 10f-Anordnung, usw.).

[0019] Die Bezugnahme auf eine n f-Anordnung ist nicht einschränkend darauf zu verstehen, dass alle Brennweiten der für die Anordnung verwendeten optischen Elemente gleich sein müssen. Dies kann zwar gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung der Fall sein. Es ist aber gemäß einer anderen bevorzugten Ausgestaltung auch möglich, dass zumindest ein optisches Element der Anordnung eine Brennweite aufweist, die von einer Brennweite zumindest eines anderen optischen Elements der Anordnung verschieden ist. Letzteres kann insbesondere der Fall sein, wenn die n f-Anordnung ein Teleskop aufweist. Die Bezeichnung „ n f“ bezieht sich somit allgemein auf n hintereinander angeordnete Brennweiten oder Fokusslängen, keinesfalls aber zwingend spezifisch auf n gleiche Brennweiten oder Fokusslängen.

[0020] Insbesondere ist es in bevorzugter Ausgestaltung möglich, eine 6f-Anordnung, vorzugsweise mit wenigstens einem Raumfilter, zu verwirklichen: Dabei führt bevorzugt ein erstes abbildendes optisches Element eine Fokussierung und/oder Fourier-Transformation durch. In einer Brennebene dieses ersten abbildenden optischen Elements ist in einer vorgelagerten 2f-Anordnung bevorzugt ein Raumfilter angeordnet, das unerwünschte Strahlanteile entfernt. Nachfolgend ist bevorzugt eine der 2f-Anordnung nachgelagerte 4f-Anordnung von optischen Elementen angeordnet, durch welche der Laserstrahl in besonders bevorzugter Ausgestaltung vergrößert auf den zweiten Anzeigebereich abgebildet wird. Dies ermöglicht die Ausnutzung einer größeren Pixelzahl in dem zweiten Anzeigebereich und somit eine verbesserte Auflösung. Daraus ergeben sich wiederum Vorteile für die Formung insbesondere großer Laserstrahlen, beispielsweise für Logos, Bilder und/oder Intensitätsverläufe. Die 2f-Anordnung, insbesondere mit dem Raumfilter, und die nachfolgende 4f-Anordnung ergeben insgesamt die 6f-Anordnung. Räumliche Lichtmodulatoren haben die Eigenschaft, grundsätzlich auch unbeeinflusste Hintergrundstrahlung zu transmittieren oder zu reflektieren, was auch als nullte Ordnung bezeichnet wird. Das Raumfilter der vorgelagerten 2f-Anordnung kann vorteilhaft verwendet werden, um diese unerwünschte nullte Ordnung sowie vorzugsweise höhere Beugungsordnungen zu entfernen.

[0021] Alternativ oder zusätzlich ist es möglich, dass der erste Anzeigebereich selbst abbildende Eigenschaften aufweist, insbesondere dass die erste Strahlbeeinflussungsstruktur des ersten Anzeigebereichs abbildende Eigenschaften aufweist. In diesem Fall ist bevorzugt der zweite Anzeigebereich in einer Fokusebene des ersten Anzeigebereichs angeordnet. Insoweit wird bevorzugt eine 1f-Anordnung

verwirklicht. Auch in diesem Fall kann allerdings unter Einbeziehung des ersten Anzeigebereichs als abbildendem optischen Element eine höhere Anordnung verwirklicht werden, insbesondere eine 2f-Anordnung, oder eine 6f-Anordnung, analog zu dem oben Ausgeführten.

[0022] Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Anordnung eine Diagnoseeinrichtung aufweist, die eingerichtet ist, um wenigstens eine Eigenschaft eines von wenigstens einem Anzeigebereich der Mehrzahl von Anzeigebereichen kommenden Teststrahls zu ermitteln. Somit ist es möglich, die Wirkung des wenigstens einen mittels der Diagnoseeinrichtung beobachteten Anzeigebereichs zu prüfen.

[0023] Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Anordnung eine Auskoppeloptik aufweist, die eingerichtet und angeordnet ist, um den von dem wenigstens einen Anzeigebereich der Mehrzahl von Anzeigebereichen kommenden Teststrahl auf die Diagnoseeinrichtung zu lenken.

[0024] Gemäß einer Ausgestaltung ist vorgesehen, dass die Auskoppeloptik eingerichtet ist, um einen Teilstrahl des Laserstrahls als Teststrahl aus einem Strahlpfad des Laserstrahls auszukoppeln und auf die Diagnoseeinrichtung zu lenken. Die Auskoppeloptik ist in diesem Fall bevorzugt insbesondere als teiltransparenter Spiegel oder als diffraktives optisches Element ausgebildet. Sie ist insbesondere eingerichtet, um zwischen 0,01 % und 10 %, vorzugsweise weniger als 1 %, vorzugsweise weniger als 0,01 %, der Lichtleistung des Laserstrahls aus dem Strahlpfad auszukoppeln und auf die Diagnoseeinrichtung zu lenken. In diesem Fall kann unmittelbar die Wirkung des beobachteten Anzeigebereichs auf den Laserstrahl selbst geprüft werden.

[0025] Gemäß einer anderen Ausgestaltung ist vorgesehen, dass - vorzugsweise parallel zu dem Laserstrahl - ein von dem Laserstrahl verschiedener, zusätzlicher Teststrahl zumindest bereichsweise durch die Anordnung geschickt wird, wobei der Teststrahl mit dem wenigstens einen zu beobachtenden Anzeigebereich in Wechselwirkung tritt und vorzugsweise - insbesondere bis zu der Auskoppeloptik - denselben Strahlengang durchläuft wie der Laserstrahl. Dabei weist der Teststrahl allerdings vorzugsweise eine von dem Laserstrahl verschiedene Wellenlänge auf. In bevorzugter Ausgestaltung ist die Auskoppeloptik eingerichtet, um den Teststrahl dichroitisch von dem Laserstrahl zu trennen und somit nur den Teststrahl, jedoch keine Strahlanteile des Laserstrahls, aus dem Strahlpfad auszukoppeln. Mit der Diagnoseeinrichtung kann in vorteilhafter Weise die Wirkung des wenigstens einen beobachteten Anzeigebereichs auf den Teststrahl geprüft und ohne weiteres auf die Wirkung des Anzeigebereichs auf den

Laserstrahl geschlossen werden, ohne dass Leistung des Laserstrahls aus dem Strahlpfad ausgekoppelt werden muss. Die Verwendung eines von dem Laserstrahl verschiedenen, zusätzlichen Teststrahls hat außerdem den Vorteil, dass ein Wechsel oder eine Veränderung in der Leistung des Laserstrahls, beispielsweise bei einem Wechsel von Bearbeitungsparametern, nicht zu Problemen mit einem Dynamikumfang der Diagnoseeinrichtung führt. Vielmehr kann die Leistung des zusätzlichen Teststrahls unabhängig von der momentanen Leistung des Laserstrahls gewählt und insbesondere auf den dynamischen Bereich der Diagnoseeinrichtung abgestimmt werden.

[0026] Weiterhin ist es bei der Verwendung eines von dem Laserstrahl verschiedenen Teststrahls möglich, eine Mehrzahl von Anzeigebereichen, insbesondere auch alle Anzeigebereiche des Lichtmodulators, zugleich zu beobachten. In diesem Fall folgt der zusätzliche Teststrahl vorteilhaft nicht dem Strahlengang des Laserstrahls, sondern trifft vielmehr zugleich auf eine Mehrzahl von Anzeigebereichen, insbesondere auf alle Anzeigebereiche, des Lichtmodulators, und wird anschließend auf die Diagnoseeinrichtung geführt, die dann bevorzugt eine bereichsweise Auswertung vornimmt.

[0027] Der von dem Laserstrahl verschiedene, zusätzlich Teststrahl wird bevorzugt durch eine separate Strahlquelle erzeugt, insbesondere durch eine Laserdiode oder eine Leuchtdiode, insbesondere LED. Durch die separate Strahlquelle wird bevorzugt eine definierte, lineare Polarisierung des zusätzlichen Teststrahls erzeugt, gegebenenfalls mittels eines zusätzlich vorgesehenen Polarisators.

[0028] Bevorzugt ist die Auskoppeloptik eingerichtet, um wahlweise verschiedene Anzeigebereiche der Mehrzahl von Anzeigebereichen auf die Diagnoseeinrichtung abzubilden. Hierzu sind insbesondere Abbildungseigenschaften der Auskoppeloptik änderbar, sodass bedarfsweise ein gewünschter Anzeigebereich auf die Diagnoseeinrichtung abgebildet werden kann.

[0029] Die Diagnoseeinrichtung weist bevorzugt eine optische Aufnahmeeinrichtung zur insbesondere elektronischen Aufnahme eines Bildes, insbesondere einer zweidimensionalen Abbildung, sowie eine Auswerteeinrichtung auf, wobei die Auswerteeinrichtung mit der Aufnahmeeinrichtung wirkverbunden ist, um ein von der Aufnahmeeinrichtung aufgenommenes Bild auszuwerten. Die Diagnoseeinrichtung weist bevorzugt als Aufnahmeeinrichtung eine Kamera und als Auswerteeinrichtung eine Recheneinrichtung auf, wobei es möglich ist, dass die Diagnoseeinrichtung als Kamera mit integrierter Recheneinrichtung ausgebildet ist.

[0030] Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Diagnoseeinrichtung mit der Ansteuereinrichtung wirkverbunden ist, um den Lichtmodulator abhängig von einer durch die Diagnoseeinrichtung vorgenommenen Auswertung von wenigstens einer Eigenschaft des Teststrahls anzusteuern. Auf diese Weise wird eine Rückkopplung zwischen der Diagnoseeinrichtung und dem Lichtmodulator geschaffen, die es ermöglicht, die Wirkung des Lichtmodulators auf den Laserstrahl in Abhängigkeit von der Auswertung durch die Diagnoseeinrichtung zu verändern. Bevorzugt sind die Diagnoseeinrichtung und die Ansteuereinrichtung eingerichtet, um durch den Lichtmodulator beeinflusste Eigenschaften des Laserstrahls zu regeln. In besonders vorteilhafter Weise wird so eine Regelung mit geschlossenem Regelkreis bereitgestellt (closed-loop-Regelung). Die Regelung kann insbesondere auf der Basis von Freiform-(Phasen)oberflächen und/oder anderen geeigneten Algorithmen erfolgen. Insbesondere ist bevorzugt ein - vorzugsweise rauschresistenter - Optimierungsalgorithmus in die Recheneinrichtung implementiert, beispielsweise ein evolutionärer oder genetischer Algorithmus oder ein neuronales Netz, um die Wirkung des Lichtmodulators auf den Laserstrahl mit Blick auf wenigstens eine gewünschte Eigenschaft desselben zu optimieren.

[0031] Als die wenigstens eine Eigenschaft des Teststrahls wird durch die Diagnoseeinrichtung bevorzugt eine Amplitudenverteilung oder Intensitätsverteilung, eine Phasenverteilung, oder eine Polarisationsverteilung in der Bildebene der Diagnoseeinrichtung ausgewertet. Die Abbildung auf die Bildebene der Diagnoseeinrichtung wird dabei - insbesondere mittels der Auskoppeloptik - bevorzugt so gewählt, dass das elektrische Feld des Teststrahls in der Bildebene der Diagnoseeinrichtung in Phasen- und Amplitudenverteilung - bis gegebenenfalls auf eine Skalierung und/oder Polarisationsänderung - genau gleich dem elektrischen Feld des Laserstrahls am Ort einer vorbestimmten Zielebene, beispielsweise einer Bearbeitungsebene zur Bearbeitung eines Werkstücks, ist. Auf diese Weise kann direkt die gewünschte Eigenschaft des Laserstrahls in der Zielebene untersucht werden. Bei der Verwendung eines von dem Laserstrahl verschiedenen Teststrahls ist es gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung auch möglich, ein durch Polarisierung codiertes Bild einer Strahlbeeinflussungsstruktur zu erhalten. Insbesondere kann der Teststrahl derart linear polarisiert auf den Lichtmodulator treffen, dass eine dort zur Phasenbeeinflussung des Laserstrahls vorgesehene Strahlbeeinflussungsstruktur pixelweise auf die Polarisierung des Teststrahls wirkt, sodass dessen Polarisierung letztlich als Code für die Phaseninformation der beobachteten Strahlbeeinflussungsstruktur verwendet werden kann. Somit lassen sich dann insbesondere Abweichungen zwischen der gemessenen Phasenbeeinflussungsstruktur und einer berechne-

ten Phasenbeeinflussungsstruktur zur Korrektur nutzen. Hierzu wird insbesondere die Polarisation des Teststrahls beim Auftreffen auf die zu beobachtende Phasenbeeinflussungsstruktur abweichend von der Polarisation des Laserstrahls gewählt, sodass die zu beobachtende Phasenbeeinflussungsstruktur die Polarisation des Teststrahls lokal verändert, jedoch die Polarisation des Laserstrahls unbeeinflusst lässt.

[0032] Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung ist die Diagnoseeinrichtung eingerichtet, um eine Polarisation des Teststrahls für jeden Pixel des beobachteten Anzeigebereichs des Lichtmodulators zu prüfen. Dazu kann die Diagnoseeinrichtung insbesondere ein Polarisationsmikroskop aufweisen oder eingerichtet sein, um eine Polarisationsmikroskopaufnahme des beobachteten Anzeigebereichs vorzunehmen. Somit kann der Lichtmodulator in dem beobachteten Anzeigebereich Pixel für Pixel daraufhin geprüft werden, ob Fehler im Vergleich zu einer gewünschten Polarisationsdrehung auftreten, wobei insbesondere diese Fehler dann durch geeignete pixelweise Anpassung der Ansteuerung des Lichtmodulators ausgeglichen werden können. Auf diese Weise kann insbesondere eine Alterung des Lichtmodulators ausgeglichen werden.

[0033] Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Anordnung eine Strahlformoptik aufweist, die angeordnet und eingerichtet ist, um eine Polarisation des Laserstrahls zwischen dem ersten Anzeigebereich und dem zweiten Anzeigebereich zu verändern. Insbesondere ist die Strahlformoptik bevorzugt angeordnet und eingerichtet, um eine lineare Polarisation des Laserstrahls zwischen dem ersten Anzeigebereich und dem zweiten Anzeigebereich zu drehen. Dies ermöglicht es insbesondere, in einem der Anzeigebereiche, insbesondere in dem ersten Anzeigebereich, die Polarisation des Laserstrahls nicht zu verändern, jedoch in einem anderen Anzeigebereich der Anzeigebereiche, insbesondere in dem zweiten Anzeigebereich, die Polarisation des Laserstrahls lokal zu beeinflussen. Insbesondere ist es möglich, dass der Laserstrahl zunächst mit einer bestimmten linearen Polarisation auf den ersten Anzeigebereich trifft, die es erlaubt, in dem ersten Anzeigebereich die Polarisation des Laserstrahls unbeeinflusst zu lassen, insbesondere ausschließlich die Phase des Laserstrahls, nicht aber dessen Polarisation lokal zu beeinflussen. Insbesondere kann dabei die lineare Polarisation des Laserstrahls parallel zu einer Kristallachse der Kristalle des Lichtmodulators ausgerichtet sein. Im Strahlengang zwischen dem ersten Anzeigebereich und dem zweiten Anzeigebereich kann dann die lineare Polarisation des Laserstrahls so gedreht werden, dass die Polarisation des Laserstrahls durch den zweiten Anzeigebereich lokal, insbesondere pixelweise, beeinflusst werden kann. Hierzu wird die lineare Polarisation des Laserstrahls bevorzugt so gedreht, dass sie zu keiner der beiden

Kristallachsen der bevorzugt doppelbrechenden Kristalle des Lichtmodulators mehr parallel ist. Durch eine geeignete Beeinflussung der einzelnen Kristalle des Lichtmodulators kann dann aufgrund von deren doppelbrechender Wirkung wiederum die lokale Polarisation des Laserstrahls pixelweise beeinflusst werden.

[0034] Die Strahlformoptik ist bevorzugt ansteuerbar, sodass die Polarisation des Laserstrahls zwischen dem ersten Anzeigebereich und dem zweiten Anzeigebereich variabel, insbesondere in vorbestimmter Weise, insbesondere bedarfsgerecht, geändert werden kann. Insbesondere ist es bevorzugt möglich, dass die Polarisation des Laserstrahls durch die Strahlformoptik wahlweise nicht verändert oder verändert wird.

[0035] Die Strahlformoptik weist bevorzugt vor dem ersten Anzeigebereich - in Propagationsrichtung des Laserstrahls gesehen - eine $\lambda/2$ -Platte auf, um eine lineare Polarisation des Laserstrahls definiert auszurichten.

[0036] Vorzugsweise weist die Strahlformoptik zwischen dem ersten Anzeigebereich und dem zweiten Anzeigebereich einen Umlenkspiegel auf, wobei vor dem Umlenkspiegel eine $\lambda/4$ -Platte derart angeordnet ist, dass der Laserstrahl die $\lambda/4$ -Platte zweimal passiert, nämlich einmal vor dem Auftreffen auf den Umlenkspiegel und ein zweites Mal nach dem Auftreffen auf den Umlenkspiegel. Der Umlenkspiegel ist dabei in bevorzugter Ausgestaltung der Spiegel, den die Strahlführungsoptik aufweist, um den von dem ersten Anzeigebereich kommenden Laserstrahl zu dem zweiten Anzeigebereich zu lenken. Der Umlenkspiegel ist also in bevorzugter Ausgestaltung sowohl der Strahlführungsoptik als auch der Strahlformoptik zugeordnet. Durch die derart angeordnete $\lambda/4$ -Platte wird die lineare Polarisation des Laserstrahls zwischen dem ersten Anzeigebereich und dem zweiten Anzeigebereich um einen definierten Winkel gedreht. Besonders bevorzugt ist die $\lambda/4$ -Platte um $22,5^\circ$ relativ zu dem Polarisationsvektor des von dem ersten Anzeigebereichs kommenden Laserstrahls gedreht, sodass dieser Polarisationsvektor nach zweimaligem Passieren der $\lambda/4$ -Platte um 45° gedreht ist.

[0037] Alternativ zu dem einen Umlenkspiegel mit vorgeschalteter $\lambda/4$ -Platte ist es auch möglich, den Laserstrahl zwischen dem ersten Anzeigebereich und dem zweiten Anzeigebereich über mindestens zwei Umlenkspiegel zu führen, wobei zwischen den zwei Umlenkspiegeln eine $\lambda/2$ -Platte angeordnet ist, durch welche die Polarisation des Laserstrahls analog zu der zuvor beschriebenen effektiven Wirkung der $\lambda/4$ -Platte gedreht werden kann.

[0038] Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung weist die Strahlformoptik eine Polarisationsstrennein-

richtung, auch als Polarisationsfiltereinrichtung bezeichnet, auf, die angeordnet und eingerichtet ist, um eine Polarisationsfilterung verschieden polarisierter Strahlanteile des von dem zweiten Anzeigebereich kommenden Laserstrahls durchzuführen, insbesondere verschieden polarisierte Strahlanteile des von dem zweiten Anzeigebereich kommenden Laserstrahls voneinander zu trennen. Dies erlaubt in vorteilhafter Weise eine besonders definierte und trennscharfe Formung des Laserstrahls, aber auch die Darstellung von Intensitätsverläufen, insbesondere eine Beeinflussung der Amplituden- oder Intensitätsverteilung des Laserstrahls. Indem nämlich durch den zweiten Anzeigebereich die Polarisation des Laserstrahls lokal zweidimensional definiert eingestellt ist, und nun durch die Polarisationsstrenneinrichtung in bestimmter Weise polarisierte Strahlanteile des Laserstrahls zumindest teilweise gedämpft oder quasi entsorgt werden können, bleiben letztlich bestimmte Strahlanteile hinter der Polarisationsstrenneinrichtung übrig, die von bestimmten Pixeln des zweiten Anzeigebereichs her kommen, oder es sind bestimmte Strahlanteile, die von bestimmten Pixeln des zweiten Anzeigebereichs her kommen, hinter der Polarisationsstrenneinrichtung in definierter Weise abgeschwächt. Auf diese Weise kann der Laserstrahl daher insbesondere mit hoher Schärfe quasi beliebig geformt werden, wobei die Intensitätsverteilung des Laserstrahls in dessen Querschnittsebene beliebige Geometrien annehmen kann, die mittels der Strahlformoptik variabel eingestellt werden können. Dabei ist eine binäre Trennung bestimmter Polarisierungen möglich, es sind aber auch Intensitätsverläufe darstellbar, beispielsweise indem für die von einem bestimmten Pixel kommende Polarisationsrichtung eine Aufteilung in einen transmittierten Anteil und einen reflektierten Anteil, beispielsweise 30 % Transmission und 70 % Reflexion, verwirklicht wird.

[0039] Die Polarisationsstrenneinrichtung ist insbesondere - in Propagationsrichtung gesehen - hinter dem zweiten Anzeigebereich angeordnet. Vorzugsweise weist die Polarisationsstrenneinrichtung einen Dünnschichtpolarisator (Thin-Film Polarizer - TFP) auf, sowie vorzugsweise vor dem Dünnschichtpolarisator eine verstellbare $\lambda/2$ -Platte, durch die bevorzugt die durch den Lichtmodulator veränderte Polarisation auf den Dünnschichtpolarisator ausgerichtet werden kann. Insoweit hat sich herausgestellt, dass die Wirkung des Lichtmodulators alleine in manchen Fällen nicht ausreicht, um die Polarisation in geeigneter Weise auf den Dünnschichtpolarisator auszurichten. Zusätzlich oder alternativ kann mittels der verstellbaren $\lambda/2$ -Platte bevorzugt eingestellt werden, welcher Bruchteil der Intensität des Laserstrahls polarisationsabhängig durch den Dünnschichtpolarisator abgetrennt wird.

[0040] Die durch den Dünnschichtpolarisator abgetrennten Strahlanteile werden bevorzugt in eine Strahlfalle (beam dump) gelenkt und somit beseitigt.

[0041] Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Strahlformoptik zwischen einem ersten, abgeschalteten Funktionszustand der Strahlformoptik und einem zweiten, zugeschalteten Funktionszustand der Strahlformoptik schaltbar eingerichtet ist. Dabei wird die Polarisation des Laserstrahls in dem zweiten, zugeschalteten Funktionszustand zwischen dem ersten Anzeigebereich und dem zweiten Anzeigebereich verändert, und in dem ersten, abgeschalteten Funktionszustand nicht verändert. Auf diese Weise kann variabel und bedarfsweise ausgewählt werden, ob die Polarisation des Laserstrahls zwischen dem ersten Anzeigebereich und dem zweiten Anzeigebereich verändert werden soll, und damit zugleich insbesondere, ob die Polarisation des Laserstrahls durch den zweiten Anzeigebereich lokal verändert werden soll.

[0042] Bevorzugt ist die Strahlformoptik schaltbar eingerichtet, indem wenigstens ein optisches Element der Strahlformoptik räumlich wahlweise in einen Strahlpfad des Laserstrahls hinein und aus dem Strahlpfad heraus verlagerbar ist. Hierzu ist in bevorzugter Ausgestaltung eine geeignete, vorzugsweise automatisch ansteuerbare, Verlagerungsmechanik vorgesehen.

[0043] Alternativ oder zusätzlich ist das wenigstens eine optische Element der Strahlformoptik bevorzugt zwischen zwei Schaltzuständen des optischen Elements im Strahlpfad des Laserstrahls schaltbar. In diesem Fall verbleibt das optische Element in dem Strahlpfad, wird aber bedarfsweise zwischen den beiden Schaltzuständen hin- und hergeschaltet. Gemäß einer Ausgestaltung ist dieses zwischen zwei Schaltzuständen schaltbare optische Element die $\lambda/4$ -Platte der Strahlformoptik, die - vorzugsweise automatisiert, insbesondere motorisiert - bezüglich ihrer Orientierung relativ zu dem Polarisationsvektor des von dem ersten Anzeigebereich kommenden Laserstrahls gedreht werden kann, um wahlweise die lineare Polarisation des Laserstrahls zwischen dem ersten Anzeigebereich und dem zweiten Anzeigebereich relativ zu der Kristallachse der Lichtmodulorkristalle zu drehen oder parallel zu der Kristallachse zu halten. Dazu kann die $\lambda/4$ -Platte beispielsweise auf einem Hohlwellenmotor angeordnet sein. In analoger Weise kann selbstverständlich auch eine zwischen zwei Umlenkspiegeln angeordnete $\lambda/2$ -Platte entsprechend gedreht werden. Die Strahlformoptik kann aber auch als schaltbares optisches Element einen Polarisationsmodulator auf Flüssigkristallbasis aufweisen, der insbesondere zwischen einem aktiven und einem inaktiven Zustand geschaltet werden kann, wobei er in dem aktiven Zustand die Polarisations-

tion des Laserstrahls verändert, und in dem inaktiven Zustand unangetastet lässt.

[0044] Wie bereits zuvor ausgeführt, ist es möglich, dass die Anzeigebene des Lichtmodulators in mehr als zwei Anzeigebereiche unterteilt ist, wobei es insbesondere möglich ist, dass der Laserstrahl vor seiner Wechselwirkung mit dem zuvor beschriebenen ersten Anzeigebereich auf einen vorgelagerten, weiteren Anzeigebereich trifft. Insbesondere ist es gemäß einer Ausgestaltung möglich, dass der zuvor beschriebene erste Anzeigebereich entlang der Propagationsrichtung des Laserstrahls gesehen ein zweiter Anzeigebereich ist, wobei der zuvor beschriebene zweite Anzeigebereich ein dritter Anzeigebereich ist, wobei dem zweiten Anzeigebereich ein zuvor nicht beschriebener, zusätzlicher erster Anzeigebereich vorgelagert ist. Dabei ist insbesondere eine Ausgestaltung möglich - was im Folgenden noch in Zusammenhang mit dem Verfahren zum Formen eines Laserstrahls näher erläutert wird -, bei der die Polarisation des Laserstrahls zwischen dem zweiten Anzeigebereich und dem dritten Anzeigebereich verändert wird, wobei sie zwischen dem neu eingeführten ersten Anzeigebereich und dem zweiten Anzeigebereich nicht verändert wird. Somit würde der dritte Anzeigebereich in der zuvor beschriebenen Weise die Polarisation des Laserstrahls lokal beeinflussen.

[0045] Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Anordnung eine Bearbeitungsoptik aufweist, die angeordnet und eingerichtet ist, um den von dem Lichtmodulator kommenden Laserstrahl auf ein Werkstück zu leiten, insbesondere zur Bearbeitung des Werkstücks mittels des Laserstrahls. Die Anordnung ist also insbesondere zur Bearbeitung eines Werkstücks eingerichtet und vorgesehen. Insbesondere kann mittels des Laserstrahls ein Materialabtrag, beispielsweise durch Laserbohren, Laserfräsen, Laserpolieren, Laserschneiden, oder dergleichen, durchgeführt werden. Insbesondere können metallische Werkstücke oder Invar-Folien, aber auch andere Werkstücke, mittels des Laserstrahls bearbeitet werden. Insbesondere ist eine Materialmodifikation nahe der Oberfläche, eine Funktionalisierung, eine Modifikation im Volumen, beispielsweise Rissbildung, Ausbildung von Farbzentren, Schreiben von optischen Eigenschaften, oder eine Modifikation zwischen zwei Materialien, beispielsweise Schweißen, möglich. Auch ist eine additive Bearbeitung möglich, insbesondere für Polymere, Fotolacke oder dergleichen. Auch eine Bearbeitung von Halbleitern, Polymeren, Polymerfolien, Glas, sowie Keramiken ist möglich, wobei bevorzugt Ultrakurzpulslaser zur Anwendung kommen.

[0046] Der Laserstrahl wird durch die Laserstrahlquelle bevorzugt so erzeugt, dass er eine Gauß-Grundmode mit wohldefinierter linearer Polarisation aufweist. Insbesondere kann der Laserstrahl gepulst

sein und Pulslängen von weniger als 50 ps, vorzugsweise mehr als 50 fs, aufweisen. Möglich sind aber auch Nanosekundenpulse, auch können Pulszüge, insbesondere sogenannte Bursts, auch Gigahertz-Bursts, erzeugt werden. Es ist aber auch möglich, Pulse mit Pulsdauern auf der Mikrosekunden-Zeitskala zu erzeugen. Die Wellenlänge des Laserstrahls kann insbesondere zwischen 300 nm und 1600 nm, vorzugsweise zwischen 450 nm und 1600 nm, liegen, insbesondere kommen 515 nm oder 1030 nm infrage. Die Wellenlänge kann aber auch unterhalb oder oberhalb des hier genannten Bereichs liegen.

[0047] Die Bearbeitungsoptik kann insbesondere eingerichtet sein, um den Laserstrahl zu fokussieren, umzulenken, zu verkleinern, zu vergrößern, allgemein die Größe eines Strahldurchmessers oder einer Strahlbreite, allgemein die Größe einer Querschnittsebene des Laserstrahls auf einer Bearbeitungsebene des Werkstücks, anzupassen. Insbesondere ist es möglich, dass die Bearbeitungsoptik ein Teleskop aufweist. Die Bearbeitungsoptik kann auch wenigstens ein diffraktives optisches Element aufweisen, insbesondere um den Laserstrahl auf mehrere Teilstrahlen aufzuteilen, beispielsweise um eine Mehrzahl von Bearbeitungsstellen simultan zu bearbeiten, oder um einen zeitlichen Versatz der auf das Werkstück gerichteten Laserstrahlen - über verschiedene Laufwege der verschiedenen Teilstrahlen - zu erreichen.

[0048] Vorzugsweise weist die Bearbeitungsoptik eine hohe numerische Apertur, insbesondere größer als 0,2, und/oder eine Brennweite von kleiner oder gleich 20 mm auf. Vorzugsweise ist die Bearbeitungsoptik als Festoptik ausgebildet. Es ist auch möglich, dass die Bearbeitungsoptik einen Scanner, insbesondere Galvanometerscanner, insbesondere mit geringerer numerischer Apertur und/oder längerer Brennweite, insbesondere mit einer Brennweite von mehr als 50 mm, aufweist.

[0049] Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung weist die Bearbeitungsoptik eine $\lambda/4$ -Platte auf, um die Laserstrahlung vor dem Auftreffen auf die Bearbeitungsebene zirkular oder elliptisch zu polarisieren. Dies hat insbesondere Vorteile mit Blick auf die Bearbeitung des Werkstücks. Auch komplexere Polarisationszustände sind vorzugsweise möglich. Beispielsweise kann die Bearbeitungsoptik auch eine s-Wellenplatte oder ein anderes geeignetes Element aufweisen, um insbesondere vektorieLL polarisierte Strahlung, insbesondere radial polarisierte oder azimutal polarisierte Strahlung, zu erzeugen.

[0050] Vorzugsweise ist die Bearbeitungsoptik so ausgestaltet, dass das elektrische Feld des Laserstrahls in der Ebene des zweiten Anzeigebereichs - oder des dritten Anzeigebereichs, oder allgemein eines letzten Anzeigebereichs der Mehrzahl von An-

zeigebereiche - in Amplitude und Phase - gegebenenfalls bis auf eine Vergrößerung, Verkleinerung oder Polarisationsänderung - exakt dem elektrischen Feld auf der Bearbeitungsebene entspricht. Besonders bevorzugt ist die Bearbeitungsoptik als 4f-Teleskop ausgebildet. Insbesondere wird bevorzugt der zweite Anzeigebereich - oder der dritte Anzeigebereich, oder allgemein ein letzter Anzeigebereich der Mehrzahl von Anzeigebereichen - durch die Bearbeitungsoptik auf die Bearbeitungsebene abgebildet.

[0051] Die Bearbeitungsebene ist dabei zugleich bevorzugt die zuvor bereits erwähnte Zielebene.

[0052] Die Aufgabe wird auch gelöst, indem ein Verfahren zum Formen eines Laserstrahls geschaffen wird, wobei der Laserstrahl zunächst mit einem ersten Anzeigebereich eines ansteuerbaren räumlichen Lichtmodulators in Wechselwirkung gebracht wird, wobei der Laserstrahl danach mit einem zweiten Anzeigebereich des ansteuerbaren räumlichen Lichtmodulators in Wechselwirkung gebracht wird, wobei durch Ansteuern des Lichtmodulators in dem ersten Anzeigebereich eine erste Strahlbeeinflussungsstruktur und in dem zweiten Anzeigebereich eine zweite - insbesondere andere, insbesondere von der ersten Strahlbeeinflussungsstruktur verschiedene - Strahlbeeinflussungsstruktur erzeugt wird. Mittels des Verfahrens ist eine kompakte, bauraumsparende und flexible Formung des Laserstrahls möglich.

[0053] Bevorzugt wird im Rahmen des Verfahrens eine erfindungsgemäße Anordnung oder eine Anordnung nach einem der zuvor beschriebenen Ausführungsbeispiele verwendet. In Hinblick auf das Verfahren ergeben sich insoweit besonders bevorzugt diejenigen Vorteile, die bereits in Zusammenhang mit der Anordnung erläutert wurden.

[0054] Der Lichtmodulator wird bevorzugt in Echtzeit, insbesondere zur Laufzeit des Verfahrens, angesteuert. Vorzugsweise wird der Lichtmodulator elektronisch angesteuert. Vorzugsweise wird der Lichtmodulator digital angesteuert.

[0055] Dass in den Anzeigebereichen Strahlbeeinflussungsstrukturen erzeugt werden, bedeutet insbesondere, dass in den Anzeigebereichen Strahlbeeinflussungsstrukturen dargestellt werden.

[0056] In bevorzugter Ausgestaltung wird durch die Strahlbeeinflussungsstruktur des ersten Anzeigebereichs ein Flat-Top-Laserstrahl (Laserstrahl mit Flat-Top-Profil, kurz: Flat-Top) erzeugt. Während dies Vorteile für die Bearbeitung von Werkstücken besitzt, weist ein solcher Laserstrahl typischerweise einen begrenzt nutzbaren Schärfentiefebereich auf. Dies resultiert insbesondere daraus, dass eine Phasenverteilung des Laserstrahls in einer Querschnittsebene

desselben, insbesondere in einer Fokusebene, nicht homogen ist; vielmehr ist die Wellenfront oder Phasenfront des Laserstrahls gekrümmt. Alternativ kann durch die Strahlbeeinflussungsstruktur des ersten Anzeigebereichs aber auch ein Laserstrahl mit maßgeschneiderter Intensitätsverteilung, beispielsweise mit linearem Intensitätsanstieg, oder anderweitig inhomogener Intensitätsverteilung, erzeugt werden. Demgegenüber weist ein Flat-Top-Laserstrahl eine homogene Intensitätsverteilung auf.

[0057] Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung wird in einem ersten Funktionszustand sowohl in dem ersten Anzeigebereich als auch in dem zweiten Anzeigebereich als Strahlbeeinflussungsstruktur jeweils eine Phasenbeeinflussungsstruktur erzeugt, wobei vorzugsweise durch die Phasenbeeinflussungsstruktur in dem ersten Anzeigebereich, auch als erste Phasenbeeinflussungsstruktur bezeichnet, eine erste Amplitudenverteilung des Laserstrahls nach einer ersten Propagationsstrecke - hinter dem ersten Anzeigebereich - beeinflusst wird. Insbesondere wird auf diese Weise nach der ersten Propagationsstrecke der bereits erwähnte Flat-Top-Laserstrahl mit homogener Intensitätsverteilung oder ein Laserstrahl mit gezielt inhomogener Intensitätsverteilung erzeugt. Bevorzugt werden zusätzlich Aberrationen des Laserstrahls ausgeheilt, sodass letztlich ein Laserstrahl mit hoher Qualität erzeugt wird.

[0058] Die erste Propagationsstrecke entspricht dabei bevorzugt dem optischen Abstand zwischen dem ersten Anzeigebereich und dem zweiten Anzeigebereich, sodass die Amplitudenverteilung, insbesondere die Flat-Top-Verteilung, auf dem zweiten Anzeigebereich erzeugt wird.

[0059] Durch die Phasenbeeinflussungsstruktur in dem zweiten Anzeigebereich, auch als zweite Phasenbeeinflussungsstruktur bezeichnet, wird gemäß einer Ausgestaltung eine Phasenverteilung in einer Querschnittsebene des Laserstrahls verkleinert. Insbesondere kann auf diese Weise die Phasenfront des Laserstrahls geglättet und die vorhandene Phasenwölbung ausgeheilt werden. Dadurch wird das Propagationsverhalten des Laserstrahls angepasst, sodass dieser weniger divergent ist und einen größeren Schärfentiefebereich aufweist. Es ist auch möglich, dass die Phasenverteilung gezielt so beeinflusst wird, dass der Schärfentiefebereich an einen gewünschten Bearbeitungsprozess angepasst wird. Insbesondere kann das Propagationsverhalten des Laserstrahls flexibel durch die Wahl der zweiten Phasenbeeinflussungsstruktur angepasst werden. Insbesondere kann ein Konvergenz- und/oder Divergenzverhalten (Konvergenz- und/oder Divergenzwinkel) des Laserstrahls durch die Wahl der zweiten Phasenbeeinflussungsstruktur gezielt angepasst werden.

[0060] In bevorzugter Ausgestaltung wird auf der Grundlage der bekannten ersten Phasenbeeinflussungsstruktur die Phasenverteilung des Laserstrahls auf dem zweiten Anzeigebereich berechnet, insbesondere simuliert, und dann die zweite Phasenbeeinflussungsstruktur derart gewählt, dass die Phasenverteilung in gewünschter Weise durch den zweiten Anzeigebereich beeinflusst wird. Insbesondere ist es möglich, dass die berechnete Phasenverteilung numerisch invertiert und von dem Lichtmodulator in dem zweiten Anzeigebereich invertiert dargestellt wird. Bevorzugt resultiert in der Ebene des zweiten Anzeigebereichs eine plane Phasenverteilung sowie eine Flat-Top-Intensitätsverteilung.

[0061] Alternativ oder zusätzlich wird durch die zweite Phasenbeeinflussungsstruktur eine zweite Amplitudenverteilung nach einer zweiten Propagationsstrecke - hinter dem zweiten Anzeigebereich - beeinflusst. Auf diese Weise können insbesondere mehrere Ziele alternativ oder simultan verfolgt werden:

Zum einen ist es möglich, eine räumliche Winkelverteilung des Laserstrahls gezielt zu beeinflussen und so den Strahl in gewünschter Weise zu formen. In bevorzugter Ausgestaltung wird hierzu auf dem zweiten Anzeigebereich ein räumlicher Frequenzträger, insbesondere ein Gitter mit wohldefiniertem k -Vektor, dargestellt, wobei gezielt bestimmte unerwünschte Strahlanteile des Laserstrahls aus dem Strahlpfad wegbeugt, oder nur bestimmte, gewünschte Strahlanteile des Laserstrahls in den weiteren Strahlpfad hineingebeugt werden können. Insbesondere ist es dann möglich, nach einer bestimmten Propagationsstrecke unerwünschte Strahlanteile von gewünschten Strahlanteilen, die auch als Nutzstrahl bezeichnet werden, räumlich abzutrennen, insbesondere mittels wenigstens einer Blende. In besonders bevorzugter Ausgestaltung ist auf diese Weise eine Schärfung der Außenkontur des Flat-Top-Laserstrahls möglich, wobei diese der Beugungsgrenze angenähert werden kann. Es können aber auch beliebige Formen/Geometrien des Laserstrahls dargestellt werden.

[0062] Zum anderen ist es möglich, gezielt die Homogenität des Laserstrahls zu beeinflussen, insbesondere zu steigern, oder aber auch gezielt abzuschwächen, beispielsweise gezielt Inhomogenitäten in den Laserstrahl einzubringen. Insbesondere kann mithilfe des zuvor beschriebenen Regelkreises, der die Diagnoseeinrichtung und die Ansteuereinrichtung umfasst, die Homogenität des Laserstrahls angepasst werden, indem beispielsweise eine Modulationstiefe des in dem zweiten Anzeigebereich dargestellten Phasengitters lokal gezielt beeinflusst wird. Es sind auch Intensitätsverläufe, Intensitätssprünge oder allgemein beliebige Intensitätsverteilungen erzeugbar. Insbesondere kann die zweite Amplituden-

verteilung gezielt lokal beeinflusst und damit verändert werden.

[0063] Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass in einem zweiten Funktionszustand in dem ersten Anzeigebereich als erste Strahlbeeinflussungsstruktur eine Phasenbeeinflussungsstruktur erzeugt wird, durch die die Amplitudenverteilung des Laserstrahls - insbesondere nach der ersten Propagationsstrecke - beeinflusst wird, insbesondere die Amplitudenverteilung des Laserstrahls auf dem zweiten Anzeigebereich. Eine Polarisation des Laserstrahls zwischen dem ersten Anzeigebereich und dem zweiten Anzeigebereich wird verändert, wobei in dem zweiten Anzeigebereich als zweite Strahlbeeinflussungsstruktur eine Polarisationsbeeinflussungsstruktur erzeugt wird, durch welche die Polarisation des Laserstrahls lokal beeinflusst wird. Hierzu wird in bevorzugter Ausgestaltung die zuvor erläuterte Strahlformoptik auf die zuvor erläuterte Weise eingesetzt, woraus sich wiederum insbesondere die zuvor erläuterten Vorteile ergeben.

[0064] Der Laserstrahl wird bevorzugt mit definierter linearer Polarisation, insbesondere mit zu einer ersten Kristallachse von doppelbrechenden Kristallen des Lichtmodulators parallelem Polarisationsvektor auf den ersten Anzeigebereich eingestrahlt, wobei der Polarisationsvektor des Laserstrahls zwischen dem ersten Anzeigebereich und dem zweiten Anzeigebereich gedreht wird, insbesondere so, dass er mit 45° zu der ersten Kristallachse der Kristalle des Lichtmodulators auf den zweiten Anzeigebereich trifft. In dem zweiten Anzeigebereich wird durch die Polarisationsbeeinflussungsstruktur dann bevorzugt die Polarisation des Laserstrahls in dessen Querschnittsebene lokal verändert, insbesondere gedreht, insbesondere pixelweise gedreht.

[0065] Vorzugsweise werden hinter dem zweiten Anzeigebereich Strahlanteile des Laserstrahls mit bestimmter Polarisation gefiltert, insbesondere Strahlanteile mit bestimmter Polarisation zumindest teilweise oder vollständig aus dem Strahlpfad entfernt, oder nur Strahlanteile mit bestimmter Polarisation in dem Strahlpfad belassen. Insbesondere werden Strahlanteile des Laserstrahls mit bestimmter Polarisation als Nutzstrahl ausgewählt.

[0066] In bereits in Zusammenhang mit der Strahlformoptik beschriebener Weise kann so eine Strahlformung des Laserstrahls bewirkt werden.

[0067] Insbesondere kann auf diese Weise gezielt eine bestimmte, zweidimensionale Intensitätsverteilung generiert werden, die beispielsweise zur Mikrostrukturierung eines Werkstücks eingesetzt werden kann. Dabei ist es möglich, hohe Pulsenergien einer Laserquelle für eine erhöhte Produktivität nutzbar zu machen, indem gezielt bestimmte räumliche Intensi-

tätsverteilungen generiert werden. Weiterhin erweisen sich maßgeschneiderte räumliche Intensitätsverteilungen für verschiedene Bearbeitungsprozesse als vorteilhaft. Mit dem hier vorgeschlagenen Verfahren lassen sich Phase und Amplitude des Laserstrahls räumlich maßschneiden. Der zweite Anzeigebereich kann zusätzlich genutzt werden, um Aberrationen zu korrigieren. Auch der erste Anzeigebereich kann allerdings zusätzlich oder alternativ zur Korrektur von Aberrationen eingesetzt werden. Mittels der Polarisationsfilterung/Polarisationstrennung kann die Amplitudenverteilung des Laserstrahls in der Zielebene direkt geformt werden.

[0068] Es ist vorteilhaft, wenn der zweite Anzeigebereich - oder der dritte Anzeigebereich, oder ein letzter Anzeigebereich - mittels der Bearbeitungsoptik auf die Zielebene oder Bearbeitungsebene verkleinert wird, da dann die Auflösung des Lichtmodulators besser ausgenutzt werden kann. Insbesondere ergibt sich eine verbesserte Auflösung der Intensitätsverteilung des Laserstrahls auf der Bearbeitungsebene oder Zielebene.

[0069] Die Beeinflussung der Polarisation des Laserstrahls durch die Polarisationsbeeinflussungsstruktur in Kombination mit der anschließenden Polarisationsfilterung kann auch genutzt werden, um die Kontur des Laserstrahls zu schärfen. Hierzu wird bevorzugt die Polarisation mittels der Polarisationsbeeinflussungsstruktur lokal, insbesondere pixelweise, so gedreht, dass es zu maximaler Transmission sowie maximaler Reflexion der entsprechenden Strahlanteile an dem Dünnschichtpolarisator kommt.

[0070] Es können beliebige Masken zur Amplitudenformung durch den Lichtmodulator dargestellt werden. Insbesondere kann ein optischer Stempel erzeugt werden.

[0071] Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung wird mittels der Diagnoseeinrichtung direkt die durch den Dünnschichtpolarisator als Nutzstrahl ausgewählte, vorzugsweise transmittierte Intensität beobachtet, wobei einzelne Pixel des Lichtmodulators kalibriert werden und etwaige Drifts oder Fehler aufgrund thermischer Effekte, Alterung, oder ähnlichem, korrigiert werden können.

[0072] Durch gezieltes Drehen der lokalen Polarisation einzelner Pixel des Lichtmodulators können Intensitätsgradienten generiert werden, und/oder es können Inhomogenitäten in der Strahlform des Laserstrahls kompensiert werden.

[0073] Bevorzugt wird der Laserstrahl in dem Anzeigebereich, welcher dem die Polarisationsbeeinflussungsstruktur darstellenden Anzeigebereich vorgelegt ist, insbesondere in dem ersten Anzeigebereich, vorgeformt, das heißt in Richtung einer Ziel-

Intensitätsverteilung vorbeeinflusst, wodurch die Effizienz der gesamten Strahlformung deutlich verbessert wird. Soll beispielsweise ein Dreieck oder eine andere Form generiert werden, kann bereits in dem ersten Anzeigebereich statt eines rechteckigen Flat-Tops ein dreieckiger Flat-Top, oder eine andere entsprechende Geometrie des Laserstrahls erzeugt werden, sodass anschließend weniger Intensität durch die Polarisationsstrennung verloren geht.

[0074] In bevorzugter Ausgestaltung wird somit in dem ersten Anzeigebereich eine Amplitudenverteilung erzeugt, die einer durch die Polarisationsbeeinflussungsstruktur in Zusammenhang mit der Polarisationsstrennung zu erzeugenden Intensitätsverteilung angenähert ist.

[0075] Räumliche Lichtmodulatoren haben - wie bereits erwähnt - die Eigenschaft, grundsätzlich auch unbeeinflusste Hintergrundstrahlung zu transmittieren oder zu reflektieren, was auch als nullte Ordnung bezeichnet wird. Diese Hintergrundstrahlung muss nicht eigens gefiltert werden, sondern kann vielmehr im Wege der Polarisationsfilterung/Polarisationstrennung mit entfernt werden. Dies wiederum ermöglicht es vorteilhaft, insbesondere in dem ersten Anzeigebereich niederfrequente Phasenmasken zu nutzen, was aufgrund der begrenzten Auflösung des Lichtmodulators Vorteile mit sich bringt. Selbstverständlich ist aber auch eine Filterung der nullten Ordnung möglich, insbesondere mittels der oben beschriebenen 6f-Anordnung.

[0076] Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass zwischen dem ersten Funktionszustand und dem zweiten Funktionszustand umgeschaltet wird. Auf diese Weise kann bedarfsgerecht, insbesondere abhängig von einer Bearbeitungsaufgabe zur Bearbeitung eines Werkstücks, zwischen den verschiedenen Funktionszuständen und damit den verschiedenen Arten der Beeinflussung des Laserstrahls gewechselt werden.

[0077] Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass der Laserstrahl hinter dem zweiten Anzeigebereich mit einem dritten Anzeigebereich des ansteuerbaren räumlichen Lichtmodulators in Wechselwirkung gebracht wird. Dabei wird durch Ansteuerung des Lichtmodulators in dem dritten Anzeigebereich eine dritte Strahlbeeinflussungsstruktur erzeugt. Diese dritte Strahlbeeinflussungsstruktur ist bevorzugt von der ersten Strahlbeeinflussungsstruktur und von der zweiten Strahlbeeinflussungsstruktur verschieden. Sowohl in dem ersten Anzeigebereich als auch in dem zweiten Anzeigebereich wird jeweils als Strahlbeeinflussungsstruktur eine Phasenbeeinflussungsstruktur erzeugt. Vorzugsweise wird durch die erste Phasenbeeinflussungsstruktur in dem ersten Anzeigebereich eine erste Amplitudenverteilung des Laserstrahls nach einer ersten Propagationsstren-

cke beeinflusst, und durch die zweite Phasenbeeinflussungsstruktur in dem zweiten Anzeigebereich eine Phasenverteilung in einer Querschnittsebene des Laserstrahls vergleichmäßig und/oder eine zweite Amplitudenverteilung nach einer zweiten Propagationsstrecke beeinflusst. Eine Polarisation des Laserstrahls wird zwischen dem zweiten Anzeigebereich und dem dritten Anzeigebereich verändert, wobei in dem dritten Anzeigebereich als dritte Strahlbeeinflussungsstruktur eine Polarisationsbeeinflussungsstruktur erzeugt wird, durch welche die Polarisation des Laserstrahls lokal beeinflusst wird. Dabei werden vorzugsweise hinter dem dritten Anzeigebereich Strahlanteile des Laserstrahls mit bestimmter Polarisation gefiltert. Auf diese Weise werden vorteilhaft die zuvor beschriebenen Funktionszustände miteinander kombiniert und quasi in Kombination miteinander hintereinander verwirklicht. Damit lässt sich der Laserstrahl in besonders flexibler Weise formen und insbesondere zugleich - insbesondere bis zur Beugungsgrenze - schärfen. Insbesondere können die ersten beiden Anzeigebereiche genutzt werden, um eine gewünschte, möglichst scharfe Intensitätsverteilung zu erzeugen, beispielsweise einen Flat-Top-Laserstrahl, wobei der dritte Anzeigebereich insbesondere in Zusammenhang mit der Polarisationsstrennung genutzt werden kann, um die endgültige Form des Laserstrahls zu definieren.

[0078] Insgesamt können mithilfe des Verfahrens aufgrund des hochflexiblen Strahlformungsprozesses Laserstrahlen mit sehr hoher Qualität in der Intensitätsverteilung, insbesondere bezüglich Außenkontur und Homogenität, erzeugt werden.

[0079] Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass wenigstens eine Eigenschaft eines von wenigstens einem als beobachteter Anzeigebereich bezeichneten Anzeigebereich der Mehrzahl von Anzeigebereichen kommenden Teststrahls ermittelt wird, wobei die Strahlbeeinflussungsstruktur des wenigstens einen beobachteten Anzeigebereichs in Abhängigkeit von der wenigstens einen ermittelten Eigenschaft verändert wird. Der Teststrahl wird bevorzugt aus dem Strahlpfad ausgekoppelt. Dies wird bevorzugt durchgeführt, wie dies zuvor in Zusammenhang mit der Diagnoseeinrichtung erläutert wurde, insbesondere mithilfe der Auskoppeloptik, der Diagnoseeinrichtung und/oder der Ansteuereinrichtung. Dabei werden weiterhin die bereits zuvor erläuterten Vorteile verwirklicht, insbesondere kann in besonders vorteilhafter Weise ein geschlossener Regelkreis für die Strahlformung verwirklicht werden.

[0080] Es ist auch möglich, dass mehrere Anzeigebereiche, insbesondere der erste Anzeigebereich und der zweite Anzeigebereich, oder der zweite Anzeigebereich und der dritte Anzeigebereich, oder der erste Anzeigebereich und der dritte Anzeigebereich, oder der erste Anzeigebereich, der zweite Anzeigebereich

und der dritte Anzeigebereich, entsprechend beobachtet werden, entweder zeitlich nacheinander, insbesondere durch Refokussieren oder anderweitiges Umstellung der Auskoppeloptik, oder zeitgleich, insbesondere durch Vorsehen einer Mehrzahl von Auskoppeloptiken, oder durch simultanes Beleuchten einer Mehrzahl von Anzeigebereichen, insbesondere aller Anzeigebereiche, mit einem Teststrahl und simultanes Auswerten des Teststrahls, wie oben beschrieben.

[0081] Als Teststrahl wird bevorzugt ein zusätzlich zu dem Laserstrahl vorgesehener, von diesem verschiedener Lichtstrahl verwendet, der vorzugsweise eine andere Wellenlänge aufweist als der Laserstrahl; oder es wird als Teststrahl ein Teilstrahl des Laserstrahls aus dem Strahlpfad ausgekoppelt.

[0082] Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass mit dem Laserstrahl hinter dem Lichtmodulator ein Werkstück bestrahlt wird. Dies geschieht in bevorzugter Weise mittels der Bearbeitungsoptik, insbesondere auf die Weise, die bereits in Zusammenhang mit der Bearbeitungsoptik erläutert wurde. Insoweit ergeben sich auch die bereits zuvor erläuterten Vorteile.

[0083] Die Aufgabe wird schließlich auch gelöst, indem ein Verfahren zum Formen eines Laserstrahls geschaffen wird, wobei der Laserstrahl mit einem ansteuerbaren räumlichen Lichtmodulator in Wechselwirkung gebracht wird, wobei wenigstens eine Eigenschaft eines von dem Lichtmodulator kommenden Teststrahls ermittelt wird, wobei der Lichtmodulator in Abhängigkeit von der wenigstens einen ermittelten Eigenschaft angesteuert wird. Auf diese Weise wird vorteilhaft eine Regelung, insbesondere eine geschlossene Regelung, von wenigstens einer Eigenschaft des durch den Lichtmodulator beeinflussten Laserstrahls geschaffen, sodass dieser mit hoher Flexibilität und Genauigkeit geformt werden kann. Der Teststrahl wird bevorzugt aus einem Strahlpfad des Laserstrahls ausgekoppelt.

[0084] Als Teststrahl wird bevorzugt ein von dem Laserstrahl verschiedener, zusätzlich vorgesehener Lichtstrahl verwendet, der vorzugsweise eine von dem Laserstrahl verschiedene Wellenlänge aufweist. Dieser kann gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung dichroitisch aus einem Strahlpfad des Laserstrahls ausgekoppelt werden. Alternativ kann als Teststrahl ein Teilstrahl des Laserstrahls - insbesondere mittels eines teilreflektierenden Spiegels oder eines diffraktiven optischen Elements - aus dem Strahlpfad des Laserstrahls ausgekoppelt werden.

[0085] Der Teststrahl weist vorzugsweise zumindest im Bereich des Lichtmodulators denselben Strahlpfad auf wie der Laserstrahl.

[0086] Insbesondere wird das Verfahren bevorzugt auf diejenige Weise durchgeführt, die zuvor in Zusammenhang mit der Diagnoseeinrichtung und/oder der Auskoppeloptik erläutert wurde. Insoweit ergeben sich insbesondere auch die dort bereits erläuterten Vorteile.

[0087] Die Erfindung wird im Folgenden anhand der Zeichnung näher erläutert. Dabei zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines ersten Ausführungsbeispiels einer Anordnung zum Formen eines Laserstrahls;

Fig. 2 eine schematische Darstellung eines zweiten Ausführungsbeispiels einer Anordnung zum Formen eines Laserstrahls, und

Fig. 3 eine schematische Darstellung eines Details eines dritten Ausführungsbeispiels einer Anordnung zum Formen eines Laserstrahls.

[0088] **Fig. 1** zeigt eine schematische Darstellung eines ersten Ausführungsbeispiels einer Anordnung **100** zum Formen eines Laserstrahls **200**, die einen ansteuerbaren räumlichen Lichtmodulator **110** aufweist, sowie eine Ansteuereinrichtung **120**, die eingerichtet ist zur Ansteuerung des Lichtmodulators **110**. Die Ansteuereinrichtung **120** ist insbesondere mit dem Lichtmodulator **110** zu dessen Ansteuerung wirkverbunden. In bevorzugter Ausgestaltung ist der Lichtmodulator **110** als Flüssigkristalldisplay ausgebildet. Die Ansteuereinrichtung **120** ist insbesondere eingerichtet zur elektronischen, insbesondere digitalen Ansteuerung des Lichtmodulators **110**. Insbesondere ist die Ansteuereinrichtung **120** frei programmierbar.

[0089] Die Anordnung **100** weist außerdem eine Strahlführungsoptik **130** auf.

[0090] Die Ansteuereinrichtung **120** ist eingerichtet, um eine Anzeigeebene **111** des Lichtmodulators **110** in eine Mehrzahl von Anzeigebereichen zu teilen und in wenigstens einem ersten Anzeigebereich **1111** der Mehrzahl von Anzeigebereichen eine erste Strahlbeeinflussungsstruktur und in einem zweiten Anzeigebereich **1112** der Mehrzahl von Anzeigebereichen **1111**, **1112** eine zweite Strahlbeeinflussungsstruktur darzustellen. Die Strahlführungsoptik **130** ist eingerichtet, um den Laserstrahl **200** entlang seiner Propagationsrichtung zunächst mit dem ersten Anzeigebereich **1111** und danach mit dem zweiten Anzeigebereich **1112** in Wechselwirkung zu bringen.

[0091] Dabei weist die Strahlführungsoptik **130** bei dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel einen ersten Spiegel **131** auf, der angeordnet ist, um den von dem ersten Anzeigebereich **1111** kommenden Laserstrahl **200** zu dem zweiten Anzeigebereich **1112** zu lenken. Es ist möglich, dass zusätzlich eine abbildende optische Anordnung mit wenigstens einem

abbildenden optischen Element zwischen dem ersten Anzeigebereich **1111** und dem zweiten Anzeigebereich **1112** im Strahlpfad des Laserstrahls **200** vorgesehen ist, beispielsweise eine Linse. Auch ist es möglich, dass der Spiegel **131** als abbildendes optisches Element ausgestaltet ist. Dabei sind der erste Anzeigebereich **1111** und der zweite Anzeigebereich **1112** bevorzugt jeweils in einer Fokusebene des abbildenden optischen Elements oder der abbildenden optischen Anordnung angeordnet, sodass eine 2f-Anordnung verwirklicht wird. Alternativ ist es möglich, dass der erste Anzeigebereich **1111** abbildende Eigenschaften aufweist, wobei bevorzugt der zweite Anzeigebereich **1112** in einer Fokusebene des ersten Anzeigebereichs **1111** angeordnet ist, wobei auf diese Weise eine 1f-Anordnung verwirklicht wird. Es ist aber auch möglich, dass ein höheres Vielfaches einer 2f-Anordnung, insbesondere unter Erzeugung einer Fourierebene als letzter Brennebene, verwirklicht wird. Insbesondere ist es in bevorzugter Ausgestaltung möglich, eine 6f-Anordnung, vorzugsweise mit wenigstens einem Raumfilter, zu verwirklichen.

[0092] Die Strahlführungsoptik **130** weist hier außerdem einen zweiten Spiegel **133** auf, der den Laserstrahl **200** hinter dem zweiten Anzeigebereich **1112** umlenkt.

[0093] Im Rahmen eines bevorzugten Verfahrens zum Formen des Laserstrahls **200** wird dieser zunächst mit dem ersten Anzeigebereich **1111** in Wechselwirkung gebracht, wobei er danach mit dem zweiten Anzeigebereich **1112** in Wechselwirkung gebracht wird. Durch Ansteuern des Lichtmodulators **110** wird in dem ersten Anzeigebereich **1111** eine erste Strahlbeeinflussungsstruktur und in dem zweiten Anzeigebereich **1112** eine zweite, insbesondere andere Strahlbeeinflussungsstruktur erzeugt.

[0094] Insbesondere bei dem hier dargestellten, ersten Ausführungsbeispiel der Anordnung **100** wird bevorzugt in einem ersten Funktionszustand der Anordnung **100** sowohl in dem ersten Anzeigebereich als auch in dem zweiten Anzeigebereich als Strahlbeeinflussungsstruktur jeweils eine Phasenbeeinflussungsstruktur erzeugt, wobei durch die erste Phasenbeeinflussungsstruktur in dem ersten Anzeigebereich bevorzugt eine erste Amplitudenverteilung des Laserstrahls nach einer ersten Propagationsstrecke, insbesondere in der Ebene des zweiten Anzeigebereichs **1112**, beeinflusst wird. Durch die zweite Phasenbeeinflussungsstruktur in dem zweiten Anzeigebereich **1112** wird eine Phasenverteilung in einer Querschnittsebene des Laserstrahls **200** vergleichmäßig. Alternativ oder zusätzlich wird durch die Phasenbeeinflussungsstruktur in dem zweiten Anzeigebereich **1112** eine zweite Amplitudenverteilung nach einer zweiten Propagationsstrecke, insbesondere auf einer Zielebene oder Bearbeitungsebene **310** beeinflusst.

[0095] Insbesondere ist es möglich, dass mittels der ersten Phasenbeeinflussungsstruktur eine Flat-Top-Intensitätsverteilung des Laserstrahls **200** auf dem zweiten Anzeigebereich **1112** erzeugt wird, wobei durch die zweite Phasenbeeinflussungsstruktur eine Phasenwölbung des Flat-Tops geglättet und damit die Wellenfront des Laserstrahls **200** geebnet, und/oder ein bestimmtes Propagationsverhalten oder eine bestimmte Schärfentiefe des Laserstrahls **200** eingestellt, und/oder eine räumliche Winkelverteilung des Laserstrahls **200** beeinflusst, und/oder eine Homogenität oder Inhomogenität des Laserstrahls **200** gezielt beeinflusst, und/oder eine Außenkontur des Laserstrahls **200** beeinflusst, besonders bevorzugt geschärft wird.

[0096] Die Anordnung **100** weist bevorzugt eine Bearbeitungsoptik **170** auf, die angeordnet und eingerichtet ist, um den von dem Lichtmodulator **110** kommenden Laserstrahl **200** auf ein Werkstück **300**, insbesondere auf die Bearbeitungsebene **310** des Werkstücks **300**, die zugleich auch als Zielebene bezeichnet wird, zu leiten. In bevorzugter Ausgestaltung ist die Bearbeitungsoptik **170** als Teleskop **171** ausgebildet, besonders bevorzugt als 4f-Teleskop, durch welches der zweite Anzeigebereich **1112** derart auf die Bearbeitungsebene **310** abgebildet wird, dass das elektrische Feld des Laserstrahls **200** in der Ebene des zweiten Anzeigebereichs **1112** sowohl in Phase als auch Amplitude genau dem elektrischen Feld in der Bearbeitungsebene **310** entspricht, gegebenenfalls bis auf eine Vergrößerung, Verkleinerung und/oder Polarisationsänderung.

[0097] Somit wird im Rahmen des Verfahrens mit dem Laserstrahl **200** hinter dem Lichtmodulator **110** das Werkstück **300** bestrahlt.

[0098] **Fig. 2** zeigt eine schematische Darstellung eines zweiten Ausführungsbeispiels der Anordnung **100**. Gleiche und funktionsgleiche Elemente sind in allen Figuren mit den gleichen Bezugszeichen versehen, sodass jeweils insoweit auf die vorangegangene Beschreibung verwiesen wird. In **Fig. 2** ist eine Laserstrahlquelle **220** dargestellt, von welcher der Laserstrahl **200** ausgeht und durch welche bevorzugt der Laserstrahl **200** erzeugt wird. Die Laserstrahlquelle **220** kann insbesondere als Ultrakurzpulslaser ausgebildet sein, der eingerichtet ist, um Laserpulse mit einer zeitlichen Pulsbreite in der Größenordnung von Pikosekunden bis Femtosekunden zu erzeugen, beispielsweise als MOPA-Faserlaser.

[0099] Bei dem zweiten Ausführungsbeispiel ist eine Auskoppeloptik **140** vorgesehen, die ohne weiteres auch bei dem ersten Ausführungsbeispiel vorgesehen sein kann, dort lediglich nicht explizit dargestellt ist. Die Auskoppeloptik **140** ist eingerichtet und angeordnet, um einen von einem Anzeigebereich **1111**, **1112** der Mehrzahl von Anzeigebereichen **1111**,

1112 kommenden Teststrahl **400** auf eine Diagnoseeinrichtung **150** zu lenken. Bei dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel ist der Teststrahl **400** ein Teilstrahl **210** des Laserstrahls **200**, wobei die Auskoppeloptik **140** als teildurchlässiger Spiegel ausgebildet ist, der bevorzugt eingerichtet ist, um zwischen 0,01 % und 10 %, vorzugsweise weniger als 1 %, vorzugsweise weniger als 0,01 %, der Leistung des Laserstrahls **200** aus dem Strahlpfad auszukoppeln und auf die Diagnoseeinrichtung **150** zu lenken.

[0100] Alternativ ist es möglich, dass als Teststrahl **400** ein zusätzlicher, von dem Laserstrahl **200** verschiedener Teststrahl verwendet wird, der beispielsweise durch eine Laserdiode oder LED emittiert werden kann. Vorzugsweise propagiert dieser zusätzliche Teststrahl **400** zumindest bereichsweise entlang desselben Strahlpfads wie der Laserstrahl **200**, insbesondere zwischen dem Lichtmodulator **110** und der Auskoppeloptik **140**. Dabei weist bevorzugt der zusätzliche Teststrahl **400** eine von dem Laserstrahl **200** verschiedene Wellenlänge auf. In diesem Fall ist die Auskoppeloptik **140** bevorzugt als dichroitischer Spiegel ausgebildet, der gezielt die Wellenlänge des Teststrahls **400** auskoppelt und den Laserstrahl **200** transmittiert.

[0101] Die Diagnoseeinrichtung **150** ist vorzugsweise als eine Kombination einer Aufnahmeeinrichtung mit einer Auswerteeinrichtung ausgebildet, insbesondere als Kamera in Kombination mit einer Recheneinrichtung, insbesondere als Kamera mit integrierter Recheneinrichtung.

[0102] Die Diagnoseeinrichtung **150** weist außerdem bevorzugt ein abbildendes optisches Element zur Abbildung eines beobachteten Anzeigebereichs **1111**, **1112** auf eine Bildebene der Diagnoseeinrichtung **150** auf, hier insbesondere eine Auskoppellinse **151**. Diese bildet hier bevorzugt den zu beobachtenden Anzeigebereich **1111**, **1112** in Zusammenspiel mit einer im Folgenden noch erläuterten Bearbeitungslinse **172** auf die Bildebene der Diagnoseeinrichtung **150** ab. Insbesondere durch Anpassen der optischen Abbildungseigenschaften der Auskoppellinse **151** und/oder der Bearbeitungslinse **172**, insbesondere durch Refokussierung, kann der zu beobachtende Abbildungsbereich **1111**, **1112** ausgewählt werden.

[0103] Die Diagnoseeinrichtung **150** ist bevorzugt mit der Ansteuereinrichtung **120** wirkverbunden, um den Lichtmodulator **110** abhängig von wenigstens einer Eigenschaft des Teststrahls **400**, insbesondere einer Intensitätsverteilung oder Amplitudenverteilung, einer Phasenverteilung, und/oder einer Polarisationsverteilung des Teststrahls **400**, die durch die Diagnoseeinrichtung **150** im Wege der Auswertung ermittelt wird, anzusteuern. Auf diese Weise kann insbesondere ein geschlossener Regelkreis zur Re-

gelung der wenigstens einen Eigenschaft des Teststrahls **400** und damit bevorzugt zugleich auch des Laserstrahls **200** verwirklicht werden.

[0104] Bei dem zweiten Ausführungsbeispiel weist die Anordnung **100** eine Strahlformoptik **160** auf, die angeordnet und eingerichtet ist, um eine Polarisaton, insbesondere eine lineare Polarisaton, des Laserstrahls **200** zwischen dem ersten Anzeigebereich **1111** und dem zweiten Anzeigebereich **1112** zu verändern, insbesondere zu drehen. Dabei weist die Strahlformoptik **160** hier eine erste $\lambda/2$ -Platte **162** auf, die dem Laserstrahl **200** vor dem ersten Anzeigebereich **1111** eine definiert ausgerichtete, erste lineare Polarisaton verleiht. Die Strahlformoptik weist außerdem eine erste $\lambda/4$ -Platte **163** auf, die derart vor dem ersten Spiegel **131** angeordnet ist, dass sie von dem Laserstrahl **200** auf dessen Weg von dem ersten Anzeigebereich **1111** zu dem zweiten Anzeigebereich **1112** zweimal passiert wird. Mithilfe der ersten $\lambda/4$ -Platte kann die erste lineare Polarisaton gedreht werden zu einer zweiten linearen Polarisaton, mit welcher der Laserstrahl auf den zweiten Anzeigebereich **1112** trifft. Dabei ist bevorzugt die erste lineare Polarisaton parallel zu einer bestimmten Kristallachse der beiden Kristallachsen der bevorzugt doppelbrechenden Kristalle des Lichtmodulators **110** ausgerichtet, sodass die Polarisaton des Laserstrahls **100** in dem ersten Anzeigebereich **1111** nicht verändert wird.

[0105] Durch die erste $\lambda/4$ -Platte **163** wird die Polarisaton des Laserstrahls **200** derart gedreht, dass die zweite lineare Polarisaton nicht mehr parallel zu der bestimmten Kristallachse der Kristalle ausgerichtet ist, sodass nunmehr die Polarisaton des Laserstrahls **200** in dem zweiten Anzeigebereich **1112** verändert, insbesondere lokal, insbesondere pixelweise, gedreht werden kann.

[0106] Bei dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel weist die Strahlformoptik **160** hinter dem zweiten Anzeigebereich **1112** eine Polarisatonstrenneinrichtung **161** auf, die angeordnet und eingerichtet ist, um verschieden polarisierte Strahlanteile des von dem zweiten Anzeigebereich **1112** kommenden Laserstrahl **200** zu filtern und/oder voneinander zu trennen. Somit kann insbesondere letztlich der Laserstrahl **200** mit hoher Schärfe beliebig geformt werden, es können aber auch Intensitätsverläufe dargestellt werden.

[0107] Die Polarisatonstrenneinrichtung **161** weist einen Dünnschichtpolarisator **1612** auf, durch den Strahlanteile mit bestimmter Polarisaton transmittiert und Strahlanteile mit bestimmter anderer Polarisaton reflektiert werden. Die Polarisatonstrenneinrichtung **161** weist außerdem eine Strahlfalle **1613** auf, in die unerwünschte Strahlanteile durch den Dünnschichtpolarisator **1612** geleitet und dort vernichtet werden. Weiter weist die Strahlformoptik **161** eine zweite λ

2-Platte **1611** auf, durch welche die durch den Lichtmodulator veränderte Polarisaton auf den Dünnschichtpolarisator ausgerichtet werden kann. Zusätzlich oder alternativ kann mittels der bevorzugt verstellbaren $\lambda/2$ -Platte eingestellt werden, in welchem Umfang unerwünschte Strahlanteile durch den Dünnschichtpolarisator **1612** abgelenkt werden.

[0108] Bei dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel wird der Laserstrahl **200** zwischen der ersten $\lambda/2$ -Platte **162** und dem ersten Anzeigebereich **1111** mittels eines dritten Spiegels **135** umgelenkt.

[0109] Die Strahlformoptik **160** ist bevorzugt zwischen einem ersten, abgeschalteten Funktionszustand und einem zweiten, zugeschalteten Funktionszustand schaltbar eingerichtet, indem wenigstens ein optisches Element der Strahlformoptik **160** räumlich in den Strahlpfad des Laserstrahls **200** hinein oder aus dem Strahlpfad heraus verlagerbar, und/oder zwischen zwei Schaltzuständen im Strahlpfad des Laserstrahls **200** schaltbar ist. Beispielsweise kann gemäß einer Ausgestaltung die erste $\lambda/4$ -Platte **63** wahlweise aus dem Strahlpfad entfernt und in den Strahlpfad hinein verlagert werden, oder sie kann zwischen einem polarisationsdrehenden Zustand, insbesondere einer polarisationsdrehenden Winkelstellung, und einem polarisationswahrenden Zustand, insbesondere einer polarisationswahrenden Winkelstellung, hin und her geschaltet werden. Ein entsprechend schaltbares optisches Element kann auch als $\lambda/2$ -Platte oder Verzögerungsplatte auf Flüssigkristallbasis ausgebildet sein.

[0110] Die Bearbeitungsoptik **170** weist hier neben dem Teleskop **171** noch einen vierten Spiegel **174** zum Umlenken des Laserstrahls **200**, die Bearbeitungslinse **172**, sowie außerdem eine zweite $\lambda/4$ -Platte **173** auf, wobei mittels der zweiten $\lambda/4$ -Platte **173** vorzugsweise zirkular polarisiertes Licht erzeugt wird, was Vorteile mit Blick auf die Bearbeitung des Werkstücks **300** haben kann. Auch komplexere Polarisatzustände sind vorzugsweise darstellbar. Beispielsweise kann die Bearbeitungsoptik auch eine s-Wellenplatte oder ein anderes geeignetes Element aufweisen, um insbesondere vektoriell polarisierte Strahlung, insbesondere radial polarisierte oder azimuthal polarisierte Strahlung, zu erzeugen.

[0111] In dem ersten, abgeschalteten Funktionszustand der Strahlformoptik **160** wird bevorzugt der erste Funktionszustand der Anordnung **100** realisiert, der zuvor erläutert wurde.

[0112] In dem zweiten, zugeschalteten Funktionszustand wird bevorzugt ein zweiter Funktionszustand der Anordnung **100** realisiert, in welchem in dem ersten Anzeigebereich **1111** als erste Strahlbeeinflussungsstruktur eine Phasenbeeinflussungsstruktur erzeugt wird, durch die eine Amplitudenverteilung des

Laserstrahls **200** beeinflusst wird, wobei eine Polarisation des Laserstrahls **200** zwischen dem ersten Anzeigebereich **1111** und dem zweiten Anzeigebereich **1112** verändert wird, wobei in dem zweiten Anzeigebereich **1112** als zweite Strahlbeeinflussungsstruktur eine Polarisationsbeeinflussungsstruktur erzeugt wird, durch welche die Polarisation des Laserstrahls **200** lokal beeinflusst wird, wobei vorzugsweise hinter dem zweiten Anzeigebereich **1112** Strahlanteile des Laserstrahls **200** mit bestimmter Polarisation gefiltert werden.

[0113] Vorzugsweise wird zwischen dem ersten Funktionszustand und dem zweiten Funktionszustand der Anordnung **100** umgeschaltet.

[0114] Im Rahmen des Verfahrens wird bevorzugt wenigstens eine Eigenschaft des Teststrahls **400** mittels der Diagnoseeinrichtung **150** ermittelt, wobei die erste Strahlbeeinflussungsstruktur und/oder die zweite Strahlbeeinflussungsstruktur in Abhängigkeit von der wenigstens einen ermittelten Eigenschaft verändert wird/werden. Der Teststrahl **400** wird hierzu bevorzugt aus dem Strahlpfad ausgekoppelt.

[0115] Es wird auch allgemein bevorzugt, dass der Laserstrahl **200** mit dem ansteuerbaren räumlichen Lichtmodulator **110** in Wechselwirkung gebracht wird, wobei wenigstens eine Eigenschaft des von dem Lichtmodulator **110** kommenden Teststrahls **400** insbesondere mittels der Diagnoseeinrichtung **150** ermittelt wird, wobei der Lichtmodulator **110** in Abhängigkeit von der wenigstens einen ermittelten Eigenschaft angesteuert wird. Der Teststrahl **400** wird hierzu bevorzugt aus dem Strahlpfad ausgekoppelt.

[0116] Fig. 3 zeigt eine schematische Darstellung eines Details eines dritten Ausführungsbeispiels der Anordnung **100**. Dabei ist hier die Anzeigeebene **111** des Lichtmodulators **110** in drei Anzeigebereiche **1111**, **1112**, **1113** aufgeteilt, wobei der hier nicht dargestellte Laserstrahl **200** hinter dem zweiten Anzeigebereich **1112** mit dem dritten Anzeigebereich **1113** in Wechselwirkung gebracht wird. Durch Ansteuern des Lichtmodulators **110** wird in dem dritten Anzeigebereich **1113** eine dritte Strahlbeeinflussungsstruktur erzeugt, die vorzugsweise von der ersten Strahlbeeinflussungsstruktur und von der zweiten Strahlbeeinflussungsstruktur verschieden ist. Dabei wird vorzugsweise sowohl in dem ersten Anzeigebereich **1111** als auch in dem zweiten Anzeigebereich **1112** als Strahlbeeinflussungsstruktur jeweils eine Phasenbeeinflussungsstruktur erzeugt, wobei vorzugsweise durch die Phasenbeeinflussungsstruktur in dem ersten Anzeigebereich **1111** eine erste Amplitudenverteilung des Laserstrahls **200** nach einer ersten Propagationsstrecke beeinflusst und durch die Phasenbeeinflussungsstruktur in dem zweiten Anzeigebereich **1112** eine Phasenverteilung in einer Querschnittsebene des Laserstrahls **200** vergleichmäßig

oder eine zweite Amplitudenverteilung nach einer zweiten Propagationsstrecke, insbesondere auf dem dritten Anzeigebereich **1113**, beeinflusst wird. Dabei wird eine Polarisation des Laserstrahls **200** zwischen dem zweiten Anzeigebereich **1112** und dem dritten Anzeigebereich **1113** verändert, insbesondere mittels der in Fig. 2 dargestellten Strahlformoptik **160**, wobei in dem dritten Anzeigebereich **1113** als dritte Strahlbeeinflussungsstruktur eine Polarisationsbeeinflussungsstruktur erzeugt wird, durch welche die Polarisation des Laserstrahls **200** lokal beeinflusst wird, wobei vorzugsweise hinter dem dritten Anzeigebereich **1113** Strahlanteile des Laserstrahls **200** mit bestimmter Polarisation gefiltert werden, insbesondere mittels der Polarisationstrenneinrichtung **161** gemäß Fig. 2.

[0117] In Fig. 3 ist die Anzeigeebene **111** des Lichtmodulators **100** beispielhaft symmetrisch in die drei Anzeigebereiche **1111**, **1112**, **1113** aufgeteilt. Dies ist nicht zwingend so vorgesehen. Alternativ ist es auch möglich, die Anzeigeebene **111** asymmetrisch in die verschiedenen Anzeigebereiche **1111**, **1112**, **1113** aufzuteilen. Dabei können beispielsweise der zweite Anzeigebereich **1112** und der dritte Anzeigebereich **1113** auch kleiner gewählt werden als der erste Anzeigebereich **1111**. Auch müssen die verschiedenen Anzeigebereiche **1111**, **1112**, **1113** nicht notwendigerweise linear nebeneinander angeordnet sein, auch andere Anordnungen kommen infrage, beispielsweise die Teilung der Anzeigeebene **111** in einen ersten Bereich, der den ersten Anzeigebereich **1111** umfasst und in einen zweiten, daneben angeordneten Bereich, der dann übereinander den zweiten Anzeigebereich **1112** und den dritten Anzeigebereich **1113** aufweist.

[0118] Die Abbildung von dem ersten Anzeigebereich **1111** auf den zweiten Anzeigebereich **1112** erfolgt bevorzugt mittels einer 2f- oder 6f-Anordnung. Die Abbildung von dem zweiten Anzeigebereich **1112** auf den dritten Anzeigebereich **1113** erfolgt bevorzugt mittels einer 4f- oder 8f-Anordnung. Hier wird bevorzugt eine Abbildung von dem zweiten Anzeigebereich **1112** auf den dritten Anzeigebereich **1113** verwirklicht, mithin eine Bildebene erzeugt.

[0119] Insgesamt wird gemäß der hier offenbarten technischen Lehre eine kompakte und flexible Möglichkeit bereitgestellt, den Laserstrahl **200** zu formen.

Patentansprüche

1. Anordnung (100) zum Formen eines Laserstrahls (200), mit
 - einem ansteuerbaren räumlichen Lichtmodulator (110),
 - einer Ansteuereinrichtung (120) zur Ansteuerung des Lichtmodulators (110), und
 - einer Strahlformoptik (130), wobei

- die Ansteuereinrichtung (120) eingerichtet ist, um eine Anzeigeebene (111) des Lichtmodulators (110) in eine Mehrzahl von Anzeigebereichen (1111,1112, 1113) zu teilen und in wenigstens einem ersten Anzeigebereich (1111) der Mehrzahl von Anzeigebereichen (1111,1112,1113) eine erste Strahlbeeinflussungsstruktur und in einem zweiten Anzeigebereich (1112) der Mehrzahl von Anzeigebereichen (1111, 1112,1113) eine zweite Strahlbeeinflussungsstruktur darzustellen, wobei

- die Strahlführungsoptik (130) eingerichtet ist, um den Laserstrahl (200) entlang seiner Propagationsrichtung zunächst mit dem ersten Anzeigebereich (1111) und danach mit dem zweiten Anzeigebereich (1112) in Wechselwirkung zu bringen.

2. Anordnung (100) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Strahlführungsoptik (130) mindestens einen Spiegel (131) aufweist, der angeordnet ist, um den von dem ersten Anzeigebereich (1111) kommenden Laserstrahl (200) zu dem zweiten Anzeigebereich (1112) zu lenken.

3. Anordnung (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Anordnung eine Diagnoseeinrichtung (150) aufweist, die eingerichtet ist, um wenigstens eine Eigenschaft eines von wenigstens einem Anzeigebereich (1111, 1112) der Mehrzahl von Anzeigebereichen (1111, 1112,1113) kommenden Teststrahls (400) zu ermitteln, wobei die Diagnoseeinrichtung (150) bevorzugt mit der Ansteuereinrichtung (120) wirkverbunden ist, um den Lichtmodulator (110) abhängig von der wenigstens einen ermittelten Eigenschaft des Teststrahls (400) anzusteuern.

4. Anordnung (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** eine Auskoppeloptik (140), die eingerichtet und angeordnet ist, um den von dem wenigstens einen Anzeigebereich (1111,1112) der Mehrzahl von Anzeigebereichen (1111,1112,1113) kommenden Teststrahl (400) auf die Diagnoseeinrichtung (150) zu lenken.

5. Anordnung (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** eine Strahlformoptik (160), die angeordnet und eingerichtet ist, um eine Polarisation des Laserstrahls (200) zwischen dem ersten Anzeigebereich (1111) und dem zweiten Anzeigebereich (1112) zu verändern, wobei die Strahlformoptik (160) vorzugsweise eine Polarisationsstrenneinrichtung (161) aufweist, die angeordnet und eingerichtet ist, um verschieden polarisierte Strahlanteile des von dem zweiten Anzeigebereich (1112) kommenden Laserstrahls (200) zumindest teilweise voneinander zu trennen.

6. Anordnung (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Strahlformoptik (160) zwischen einem ersten, abge-

schalteten Funktionszustand und einem zweiten, zugeschalteten Funktionszustand schaltbar eingerichtet ist, indem wenigstens ein optisches Element der Strahlformoptik (160)

a) räumlich in einen Strahlpfad des Laserstrahls (200) hinein und aus dem Strahlpfad heraus verlagerbar, und/oder

b) zwischen zwei Schaltzuständen im Strahlpfad des Laserstrahls (200) schaltbar ist.

7. Anordnung (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** eine Bearbeitungsoptik (170), die angeordnet und eingerichtet ist, um den von dem Lichtmodulator (110) kommenden Laserstrahl (200) auf ein Werkstück (300) zu leiten.

8. Verfahren zum Formen eines Laserstrahls (200), wobei

- der Laserstrahl (200) zunächst mit einem ersten Anzeigebereich (1111) eines ansteuerbaren räumlichen Lichtmodulators (110) in Wechselwirkung gebracht wird, wobei

- der Laserstrahl (200) danach mit einem zweiten Anzeigebereich (1112) des ansteuerbaren räumlichen Lichtmodulators (110) in Wechselwirkung gebracht wird, wobei

- durch Ansteuern des Lichtmodulators (110) in dem ersten Anzeigebereich (1111) eine erste Strahlbeeinflussungsstruktur und in dem zweiten Anzeigebereich (1112) eine zweite Strahlbeeinflussungsstruktur erzeugt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass in einem ersten Funktionszustand sowohl in dem ersten Anzeigebereich (1111) als auch in dem zweiten Anzeigebereich (1112) als Strahlbeeinflussungsstruktur jeweils eine Phasenbeeinflussungsstruktur erzeugt wird, wobei vorzugsweise durch die Phasenbeeinflussungsstruktur in dem ersten Anzeigebereich (1111) eine erste Amplitudenverteilung des Laserstrahls (200) nach einer ersten Propagationsstrecke beeinflusst und durch die Phasenbeeinflussungsstruktur in dem zweiten Anzeigebereich (1112)

a) eine Phasenverteilung in einer Querschnittsebene des Laserstrahls (200) vergleichmäßig und/oder

b) eine zweite Amplitudenverteilung nach einer zweiten Propagationsstrecke beeinflusst wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass in einem zweiten Funktionszustand in dem ersten Anzeigebereich (1111) als erste Strahlbeeinflussungsstruktur eine Phasenbeeinflussungsstruktur erzeugt wird, durch die eine Amplitudenverteilung des Laserstrahls (200) beeinflusst wird, wobei eine Polarisation des Laserstrahls (200) zwischen dem ersten Anzeigebereich (1111) und dem zweiten Anzeigebereich (1112) verändert wird, wobei in dem zweiten Anzeigebereich

(1112) als zweite Strahlbeeinflussungsstruktur eine Polarisationsbeeinflussungsstruktur erzeugt wird, durch welche die Polarisation des Laserstrahls (200) lokal beeinflusst wird, wobei vorzugsweise hinter dem zweiten Anzeigebereich (1112) Strahlanteile des Laserstrahls (200) mit bestimmter Polarisation gefiltert werden.

11. Verfahren nach den Ansprüchen 9 und 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwischen dem ersten Funktionszustand und dem zweiten Funktionszustand umgeschaltet wird.

12. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Laserstrahl (200) hinter dem zweiten Anzeigebereich (1112) mit einem dritten Anzeigebereich (1113) des ansteuerbaren räumlichen Lichtmodulators (110) in Wechselwirkung gebracht wird, wobei durch Ansteuern des Lichtmodulators (110) in dem dritten Anzeigebereich (1113) eine dritte Strahlbeeinflussungsstruktur erzeugt wird, wobei sowohl in einem ersten Anzeigebereich (1111) als auch in einem zweiten Anzeigebereich (1112) als Strahlbeeinflussungsstruktur jeweils eine Phasenbeeinflussungsstruktur erzeugt wird, wobei vorzugsweise durch die Phasenbeeinflussungsstruktur in dem ersten Anzeigebereich (1111) eine erste Amplitudenverteilung des Laserstrahls (200) nach einer ersten Propagationsstrecke beeinflusst und durch die Phasenbeeinflussungsstruktur in dem zweiten Anzeigebereich (1112)

a) eine Phasenverteilung in einer Querschnittsebene des Laserstrahls (200) vergleichmäßig und/oder

b) eine zweite Amplitudenverteilung nach einer zweiten Propagationsstrecke beeinflusst

wird, wobei eine Polarisation des Laserstrahls (200) zwischen dem zweiten Anzeigebereich (1112) und dem dritten Anzeigebereich (1113) verändert wird, wobei in dem dritten Anzeigebereich (1113) als dritte Strahlbeeinflussungsstruktur eine Polarisationsbeeinflussungsstruktur erzeugt wird, durch welche die Polarisation des Laserstrahls (200) lokal beeinflusst wird, wobei vorzugsweise hinter dem dritten Anzeigebereich (1112) Strahlanteile des Laserstrahls (200) mit bestimmter Polarisation gefiltert werden.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass wenigstens eine Eigenschaft eines von wenigstens einem beobachteten Anzeigebereich (1111,1112,1113) der Mehrzahl von Anzeigebereichen (1111,1112,1113) kommenden Teststrahls (400) ermittelt wird, wobei die erste Strahlbeeinflussungsstruktur des wenigstens einen beobachteten Anzeigebereichs (1111,1112,1113) in Abhängigkeit von der wenigstens einen ermittelten Eigenschaft verändert wird/werden.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass mit dem Laserstrahl

(200) hinter dem Lichtmodulator (110) ein Werkstück (300) bestrahlt wird.

15. Verfahren zum Formen eines Laserstrahls (200), wobei

- der Laserstrahl (200) mit einem ansteuerbaren räumlichen Lichtmodulator (110) in Wechselwirkung gebracht wird, wobei

- wenigstens eine Eigenschaft eines von dem Lichtmodulator (110) kommenden Teststrahls (400) ermittelt wird, wobei der Lichtmodulator (110) in Abhängigkeit von der wenigstens einen ermittelten Eigenschaft angesteuert wird.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

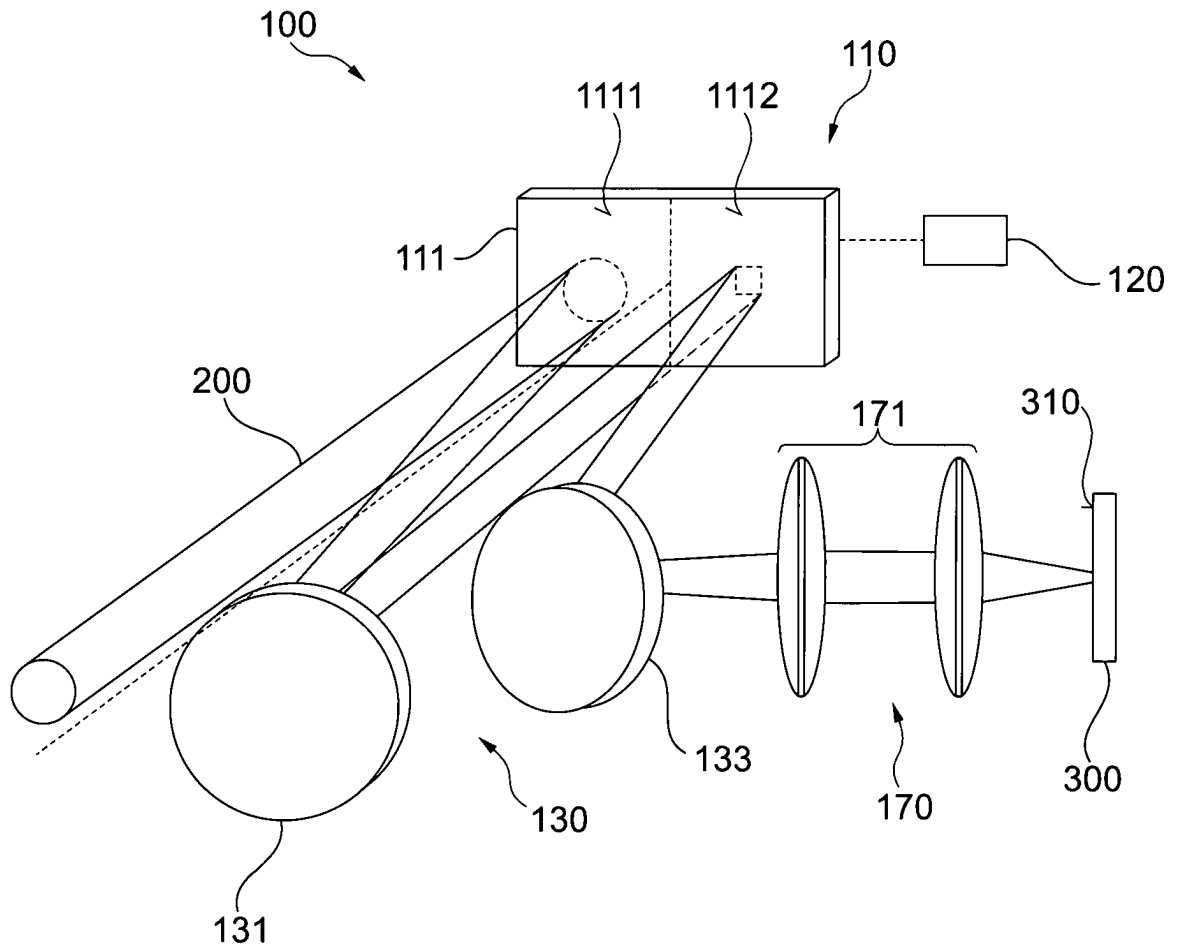


Fig. 1

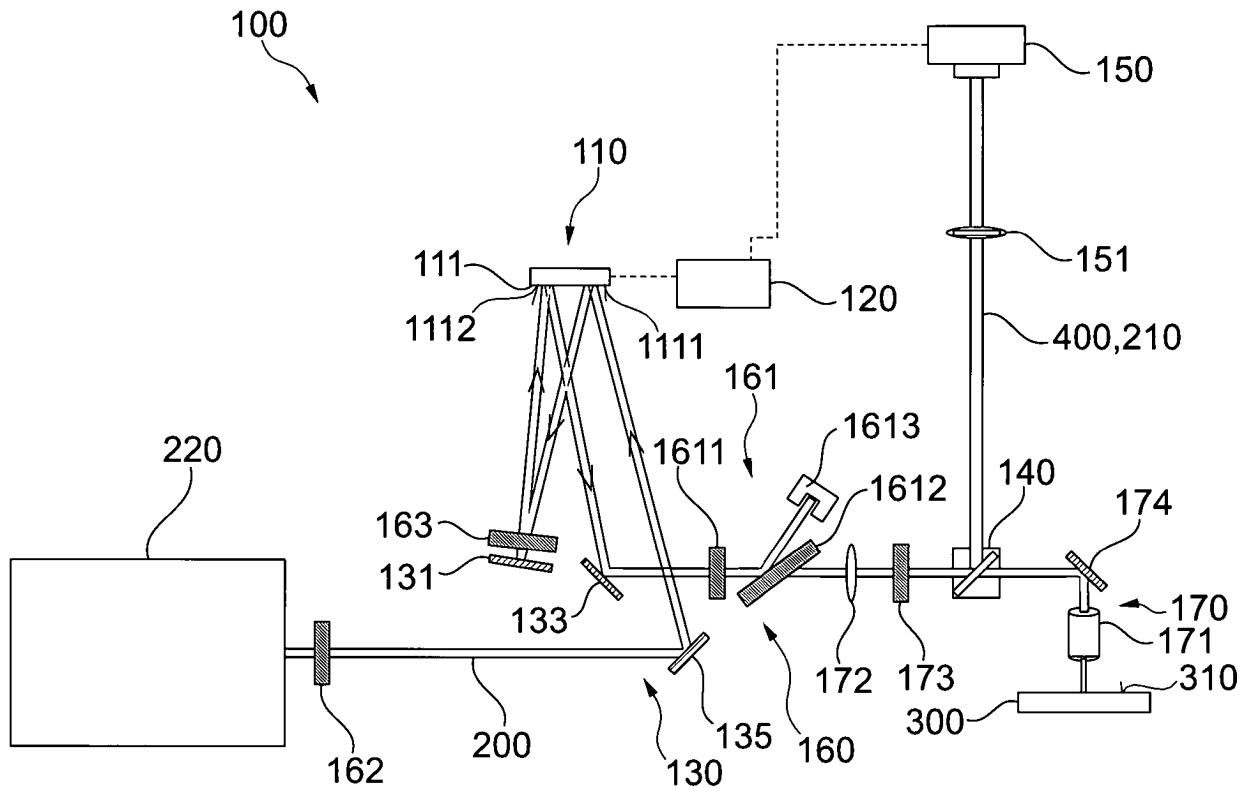


Fig. 2

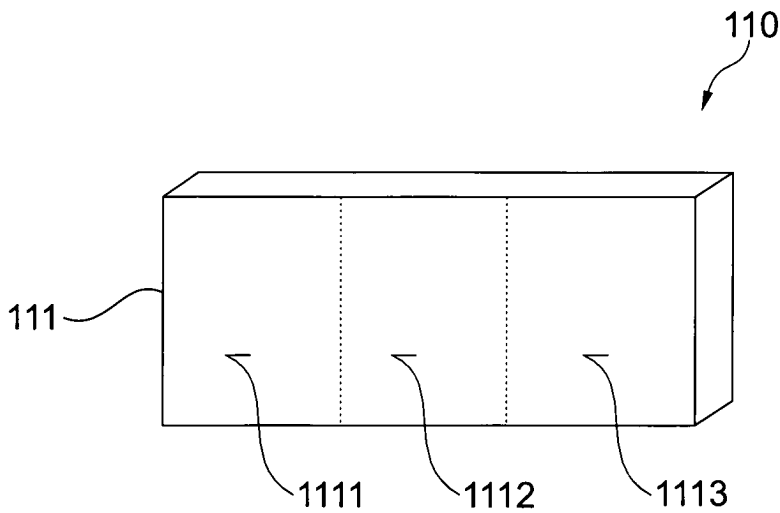


Fig. 3