Titel: Faseranordnung, HEL-Effektor und Laserwaffe

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Faseranordnung für eine Faserlaservorrichtung zum Übertragen von Strahlen, insbesondere Laserstrahlen, einen HEL-Effektor (Hochenergielaser-Effektor) mit einer solchen Faseranordnung sowie eine Laserwaffe.

Laservorrichtungen im Hochenergiebereich sind im Stand der Technik bekannt. Dabei werden beispielsweise mehrere Faserlaser verwendet und kombiniert, um insgesamt Ausgangsleistungen von beispielsweise 30 kW zu erzeugen. Bekannte Laservorrichtungen und deren Faseranordnungen für Faserlaser und entsprechende HEL-Effektoren umfassen einen

Lichtwellenleiter, in welchen eine Pumpstrahlung eingekoppelt wird, wobei ein dotierter Faserkern der Faseranordnung als aktives Medium wirkt, um mithilfe der Pumpstrahlung eine Laserstrahlung zu erzeugen.

Es ist bekannt, dass die Divergenz von Laserstrahlen insbesondere beim Austritt aus der Faser ansteigt, je breitbandiger die jeweilige Laservorrichtung betrieben wird. Dies führt zu einer verringerten Strahlqualität des kombinierten Laserstrahls bei der Kombination am optischen Gitter.

Zugleich können bekannte Laservorrichtungen mit Faserlasern, insbesondere deren Faseranordnungen, sowie entsprechende HEL-Effektoren und Laserwaffen im Hochenergiebereich nicht die Bandbreite beliebig reduziert und gleichzeitig die Energie der Einzellaser, d.h. der einzelnen Faseranordnungen, beliebig erhöht werden, da aufgrund von nichtlinearen Effekten, insbesondere stimulierter Brillouin-Streuung (SBS), die jeweiligen Fasern mit einer Leistungsschwelle konfrontiert sind. Ab dieser Leistungsschwelle wird die erzeugte Laserleistung instabil und kann insbesondere zur Zerstörung der Faser führen. Die Leistungsschwelle ist umso niedriger, je schmalbandiger der Laser betrieben wird.

Somit entsteht im Hochenergiebereich das Problem, dass man grundsätzlich schmalbandig betriebene, einzelne Faserlaser verwenden möchte, um Divergenzen zu vermeiden und dadurch eine ursprünglich hohe Strahlqualität der jeweiligen einzelnen Faserlaser auch nach der Kombination von mehreren Strahlen zu erhalten. Da man jedoch zugleich hohe Leistungen erzeugen möchte, sehen sich bekannte Faserlaser in ihrer Laserleistung

beispielsweise durch die SBS begrenzt, sodass eine Leistungssteigerung nur durch die Kombination von einer zunehmend größeren Anzahl von einzelnen Faserlaser möglich ist. Dabei ist jedoch die Strahlqualität des ausgehenden, kombinierten Strahls nicht optimal, sodass bei bekannten Laservorrichtungen versucht wird, möglichst schmalbandig zu arbeiten und dabei die SBS zu vermeiden.

Ferner ist es bekannt, dass zum Fokussieren der so erzeugten, insbesondere mehreren, Laserstrahlen auf einen Zielpunkt, die Faseranordnung mit einer Fokussieroptik verbunden wird, sodass die Laserstrahlen nach dem Verlassen der Faseranordnung die Fokussieroptik durchlaufen und auf den Zielpunkt gerichtet werden.

Speziell im Hochleistungsbereich werden dabei – wie erwähnt – mehrere Laserquellen verwendet, um deren Strahlungsleistungen zu kombinieren. Dabei gilt es eine möglichst hohe Strahlqualität zu erreichen, insbesondere Divergenzen zu vermeiden, um dadurch am Zielpunkt eine hohe Leistungsdichte zu erzeugen.

Die Verwendung von Faserlasern ist hierbei grundsätzlich im Stand der Technik bekannt und verbreitet, da hiermit eine hohe, ursprüngliche Strahlqualität erzeugt werden kann, welche bei der Kombination von Strahlen am optischen Gitter mit zunehmender Divergenz der Einzelstrahlen im ausgehenden, kombinierten Strahl stärker reduziert wird. Breitbandige Laser führen zu einer höheren Strahldivergenz bei der spektralen Kombination mit Gitter im Verlauf der Strahlkombination und Fokussieroptik, insbesondere bei der Beugung an optischen

Beugungselementen, beispielsweise einem optischen Gitter. Diese Prozesse können zu verringerten Strahlqualitäten führen.

Dadurch wird es insbesondere bei langen Distanzen, also langen Strahlgängen bis zu einem Zielpunkt, insbesondere im Kilometerbereich, erschwert, hohe Leistungsdichte beziehungsweise einen geringen Strahlquerschnitt am Zielort zu generieren.

Aufgabe der Erfindung ist es, die vorstehend genannten Nachteile zu vermeiden, also zumindest abzuschwächen oder gänzlich zu überwinden. Insbesondere ist es Aufgabe der Erfindung, die Strahlqualität einer Faserlaservorrichtung und/oder bei der Strahlkombination von einzelnen Faserlasern zu verbessern und bei hohen Laserstrahl-Weglängen sehr hohe Leistungsdichten an einem Zielort zu erzeugen.

Die Aufgabe wird durch einen Gegenstand gemäß Anspruch 1 gelöst, wobei sich vorteilhafte Weiterbildungen aus den Unteransprüchen ergeben.

Erfindungsgemäß wird also eine Faseranordnung zur Übertragung von Laserstrahlen für eine Faserlaservorrichtung einer Laserwaffe vorgeschlagen, wobei die Faseranordnung zumindest einen ersten Faserabschnitt und zumindest einen zweiten Faserabschnitt aufweist, wobei die Faserabschnitte jeweils als Lichtwellenleiter ausgebildet sind, wobei der erste Faserabschnitt mit dem zweiten Faserabschnitt zur Übertragung von Laserstrahlen optisch verbunden, insbesondere verspleißt, ist, wobei der erste Faserabschnitt einen insbesondere ersten, dotierten Faserkern und einen den Faserkern umgreifenden, ersten Fasermantel mit einem Cladding aufweist sowie

ausgebildet und eingerichtet ist, durch eingekoppelte Pumpstrahlung einer Pumpstrahlungsquelle in dem insbesondere ersten Faserkern Laserstrahlung zu erzeugen und in den zweiten Faserabschnitt zu überführen, wobei der zweite Faserabschnitt ausgebildet und eingerichtet ist, Laserstrahlung entlang einer Längserstreckung des zweiten Faserabschnitts zu führen. Dabei ist vorgesehen, dass der zweite Faserabschnitt zumindest an seinem dem ersten Faserabschnitt abgewandten Ende einen geringeren Durchmesser als der erste Faserabschnitt aufweist. Dadurch wird eine engere Anordnung von mehreren solchen Faseranordnungen ermöglicht. Ferner wird dadurch die Strahlqualität einer Laservorrichtung mit einer solchen Faseranordnung bei einer Strahlkombination von mehreren einzelnen Faserlasern verbessert. Zudem sind dadurch sehr hohe Leistungsdichten an einem Zielpunkt des Laserstrahls, welcher die Faseranordnung durchlaufen hat, erzielbar.

Der erste Faserabschnitt ist dabei bevorzugt ein Faserabschnitt einer ersten Faser, wobei der zweite Faserabschnitt bevorzugt ein Faserabschnitt einer zweiten Faser ist. Vorzugsweise entspricht der gesamte erste Faserabschnitt einer insbesondere vollständigen ersten Faser, wobei der gesamte zweite Faserabschnitt einer insbesondere vollständigen zweiten Faser entspricht.

Unter einem Laserstrahl wird hier insbesondere eine elektromagnetische Welle, insbesondere im Wellenlängenbereich zwischen 100 nm und 1 mm verstanden, ganz besonders im Ultraviolettspektrum, im sichtbaren Spektrum und/oder im Infrarotspektrum. Im Zusammenhang mit dieser Beschreibung werden darunter insbesondere Laserwellenlängen zwischen 1000

nm und 1300 nm, insbesondere zwischen 1020 nm und 1140 nm, und/oder zwischen 1,5 µm und 3 µm verstanden.

Die Faseranordnung ist vorzugsweise Bestandteil einer Laservorrichtung, die bevorzugt als Festkörperlaser und/oder als Dauerstrichlaser ausgebildet ist, und weist im dotierten Faserkern vorzugsweise ein Ytterbium-Dotierung als aktives Medium auf. Die Aufgabe der Erfindung wird somit insbesondere auch durch eine solche Laservorrichtung gelöst.

Alternativ bevorzugt weist das aktive Medium, hier also der Faserkern, eine Erbium-Dotierung oder eine Thulium-Dotierung auf, wobei die erzeugten Laserstrahlen Wellenlängen im Bereich zwischen 1 µm und 3 µm aufweisen. Besonders bevorzugt ist die Laservorrichtung insgesamt ausgebildet und eingerichtet, um in einem Leistungsbereich zwischen 1 kW und 10 kW, vorzugsweise zwischen 1 kW und 3 kW, insbesondere 2 kW, betrieben zu werden. Vorzugsweise ist also der erste Faserabschnitt, insbesondere jeder der ersten Faserabschnitte, ausgebildet und eingerichtet, um einen Laserstrahl in diesem Leistungsbereich zu erzeugen.

Ferner bevorzugt ist die Faseranordnung ausgebildet und eingerichtet, um im Betrieb einen Laserstrahl mit einer spektralen Bandbreite zwischen 0,1 und 0,2 nm zu erzeugen. Ganz besonders bevorzugt ist die Faseranordnung ausgebildet und eingerichtet, um einen Laserstrahl mit physikalisch bestmöglicher Strahlqualität zu erzeugen.

Die Begriffe "Laserlicht", "Laserstrahl", "Laserstrahlung", "Licht" und/oder "Lichtwellenleiter" beziehen sich im Zusammenhang dieser Beschreibung vorzugsweise auf die

vorstehend genannten Wellenlängenbereiche. Sofern nicht explizit abweichend formuliert, bezieht sich der Begriff "Licht", insbesondere "Laserlicht" und "Lichtwellenleiter", also nicht nur auf Strahlung im sichtbaren Spektrum, sondern insbesondere auch auf Strahlung außerhalb des sichtbaren Spektrums, ganz besonders im UV- und im IR-Spektrum.

Entsprechend wird auch dem Begriff "Optik" eine Bedeutung außerhalb des sichtbaren Spektrums, insbesondere im UV- und IR-Spektralbereich zugemessen. Unter einer "optischen Verbindung" wird somit also insbesondere eine Verbindung verstanden, welche ausgebildet und eingerichtet ist, elektromagnetische Wellen insbesondere im Spektralbereich des Laserstrahls zu übertragen.

Die optische Verbindung zwischen dem ersten Faserabschnitt und dem zweiten Faserabschnitt kann insbesondere auch derart ausgebildet sein, dass der erste Faserabschnitt und der zweite Faserabschnitt Teil einer gemeinsamen Faser sind, wobei der erste Faserabschnitt und der zweite Faserabschnitt vorzugsweise materialeinheitlich ausgebildet sind.

Die Faserabschnitte sind zumindest teilweise insbesondere für die Laserstrahlen transparent ausgebildet, sodass diese zumindest entlang einer Mittelachse in Längsrichtung der Fasern durch die Faserabschnitte propagieren können.

Ferner ist es möglich, dass die Faserabschnitte, insbesondere die Fasermäntel, neben dem Cladding, welches insbesondere als Lichtwellenleiter für die Pumpstrahlung ausgebildet ist, insbesondere um die Pumpstrahlung dem Faserkern zuzuführen, weitere Mantelelemente, insbesondere ein Jacket, umfasst. Das

Cladding kann insbesondere auch als Pumpkern bezeichnet werden, da dieses in Zusammenwirkung mit dem oben genannten Faserkern – insbesondere in Anwesenheit von weiteren Mantelelementen – einen gemeinsamen, insbesondere aktiven, den ersten beziehungsweise zweiten Faserabschnitt durchziehenden Kern bildet. Bei den weiteren Mantelelementen kann es sich um Schutzschichten und/oder weitere optisch-relevante und/oder lichtdurchlässige Schichten handeln, insbesondere solche, die die Lichtwellenleitereigenschaften verbessern und/oder das Ein- und Auskoppeln von Strahlung ermöglichen oder optimieren. Vorzugsweise ist zumindest ein weiteres Mantelelement vorgesehen, welches einen niedrigeren Brechungsindex als das Cladding aufweist.

Die Fasern und/oder Faserabschnitte weisen vorzugsweise eine längliche Form mit einer Mittelachse auf, wobei die Fasern beziehungsweise die Faserabschnitte vorzugsweise zumindest abschnittsweise rotationssymmetrisch zur Mittelachse ausgebildet sind. Insbesondere weisen der erste und zweite Faserabschnitt jeweils an den jeweiligen beiden Enden zwei einander abgewandte Stirnflächen und eine die Mittelachse umgreifende Außenumfangsfläche auf, welche sich zwischen den Stirnflächen erstreckt. Besonders bevorzugt sind die Faserabschnitte, insbesondere Fasern, in eine Richtung quer, insbesondere senkrecht zur Mittelachse flexibel ausgebildet, sodass sie zerstörungsfrei krümmbar sind. In Richtung der Mittelachse sind die Fasern vorzugsweise nicht flexibel ausgebildet. Ferner bevorzugt sind die Faserabschnitte und/oder Fasern als Glasfasern ausgebildet.

Das dem ersten Faserabschnitt abgewandte Ende entspricht somit insbesondere einem Ende der zweiten Faser und/oder einer

Stirnfläche des Faserabschnitts und/oder der Faser. Das dem ersten Faserabschnitt zugewandte Ende entspricht insbesondere einem anderen Ende der zweiten Faser und/oder einer anderen Stirnfläche des Faserabschnitts und/oder der Faser.

Vorzugsweise ist der zweite Faserabschnitt ausgebildet und eingerichtet, die Laserstrahlung in einem zu dem ersten Faserabschnitt beabstandeten Bereich, insbesondere an einem dem ersten Faserabschnitt abgewandten Ende des zweiten Faserabschnitts abzustrahlen.

Vorzugsweise ist der Durchmesser des ersten Faserabschnitts entlang des gesamten ersten Faserabschnitts konstant. Dadurch werden entlang des gesamten ersten Faserabschnitts einheitliche optische Bedingungen, insbesondere für die Pumpstrahlung, bereitgestellt. Zudem können derartige Faserabschnitte mit konstantem Durchmesser vergleichsweise günstig hergestellt werden.

Vorzugsweise weist die Faseranordnung eine Pumpstrahlungsquelle auf, wobei die Pumpstrahlungsquelle zur Einkopplung der Pumpstrahlung mit dem ersten Faserabschnitt insbesondere beabstandet zum zweiten Faserabschnitt, ganz besonders an einem dem zweiten Faserabschnitt abgewandten Ende des ersten Faserabschnitts, optisch verbindbar, insbesondere verbunden ist. Vorzugsweise wird als Pumpstrahlung Licht im Wellenlängenbereich zwischen 900 nm und 1100 nm verwendet. Besonders bevorzugt wird bei einem Ytterbium-dotierten Faserkern Pumpstrahlung zwischen 930 nm und 1000 nm, insbesondere mit 940 nm oder mit 970 nm, und bei einem Erbium-dotierten Faserkern Pumpstrahlung zwischen 970 nm und 990 nm, insbesondere mit 980 nm, verwendet. Die Pumpstrahlungsquelle

ist vorzugsweise als Strahlungsemitter ausgebildet und eingerichtet, derartige Pumpstrahlung zu emittieren und in den ersten Faserabschnitt einzustrahlen.

Da der erste Faserabschnitt ausgebildet und eingerichtet ist, eine Laserstrahlung zu erzeugen, wird dieser erste Faserabschnitt auch als aktive Faser bezeichnet. Der zweite Faserabschnitt wird insbesondere auch als Transportfaserabschnitt oder Transportfaser bezeichnet. Der erste Faserabschnitt ist vorzugsweise ausgebildet und eingerichtet, die eingekoppelte Pumpstrahlung an einer Innenseite einer Außenwand des Fasermantels, insbesondere des Claddings, total zu reflektieren (Totalreflexion). Der erste Faserabschnitt ist ferner ausgebildet und eingerichtet, um die eingekoppelte Pumpstrahlung in dem Faserkern, welcher auch als aktiver Faserkern bezeichnet wird, zumindest teilweise aufzunehmen, insbesondere darin zu absorbieren. In dem Faserkern wird von der Pumpstrahlung Laserstrahlung erzeugt, welche vorzugsweise in dem Faserkern gehalten wird, insbesondere indem die Laserstrahlung an der Grenzfläche zum Fasermantel, insbesondere dem Cladding, total reflektiert wird.

Der erste Faserabschnitt weist bevorzugt eine Länge zwischen 1 m und 20 m, vorzugsweisen zwischen 5 m und 15 m, vorzugsweise zwischen 8 m und 12 m, vorzugsweise 10 m auf. Der erste Faserabschnitt kann dabei insbesondere wie eine Spule gewickelt sein. Bevorzugt weist der zweite Faserabschnitt eine Längserstreckung von mehreren Metern auf. Der zweite Faserabschnitt kann insbesondere eine Länge zwischen 10 cm und 10 m, insbesondere zwischen 1 m und 5 m aufweisen.

Ferner bevorzugt weist der Faserkern des ersten Faserabschnitts und/oder eines anderen Faserabschnitts, insbesondere des zweiten, dritten oder vierten Faserabschnitts, einen Durchmesser zwischen 1 µm und 100 µm, insbesondere zwischen 5 µm und 40 µm, insbesondere zwischen 15 µm und 25 µm, insbesondere 20 µm auf. Der Durchmesser des Claddings des ersten Faserabschnitts und/oder eines anderen Faserabschnitts, insbesondere des zweiten, dritten oder vierten Faserabschnitts, beträgt vorzugsweise zwischen 100 µm und 1000 µm, insbesondere zwischen 200 µm und 600 µm, insbesondere zwischen 350 µm und 450 µm, ganz besonders 400 µm.

Gemäß einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Faseranordnung einen dritten Faserabschnitt aufweist, welcher mit dem zweiten Faserabschnitt an dessen dem ersten Faserabschnitt abgewandten Ende zum Übertragen der Laserstrahlen verbunden ist. Der dritte Faserabschnitt ist insbesondere als Faserabschnitt einer dritten Faser, ganz besonders als dritte Faser, ausgebildet. Dadurch kann die Faseranordnung noch flexibler justiert werden. Außerdem kann hierdurch eine Durchmesserreduktion einfacher bereitgestellt werden.

Alternativ oder zusätzlich ist zwischen dem ersten Faserabschnitt und dem zweiten Faserabschnitt ein vierter Faserabschnitt, insbesondere einer vierten Faser, angeordnet, sodass der erste Faserabschnitt über den vierten Faserabschnitt mit dem zweiten Faserabschnitt optisch verbunden ist. Der vierte Faserabschnitt kann dabei einen konstanten Außendurchmesser aufweisen, der insbesondere dem Außendurchmesser des ersten Faserabschnitts entspricht. Dieser

vierte Faserabschnitt kann dadurch eine Transportfaser bilden, die eine Verbindung zum zweiten Faserabschnitt, welcher ebenfalls als Transportfaser dient, bereitstellt. Somit kann der Transfaserstrang zunächst den vierten Abstand mit unverändertem Durchmesser und anschließend einen reduzierten Durchmesser im zweiten Faserabschnitt aufweisen.

Alternativ kann der Durchmesser ausgehend von dem ersten Faserabschnitt über den vierten Faserabschnitt zum zweiten Faserabschnitt und weiter zum dritten Faserabschnitt abfallen. Insbesondere weist also der dritte Faserabschnitt zumindest in einem Bereich einen Durchmesser auf, der geringer ist als der kleinste Durchmesser des zweiten Faserabschnitts, wobei der zweite Faserabschnitt vorzugsweise in zumindest einen Bereich einen Durchmesser aufweist, der geringer ist als der kleinste Durchmesser des vierten Faserabschnitts, wobei der vierte Faserabschnitt zumindest in einem Bereich einen Durchmesser aufweist, der geringer ist als der kleinste Durchmesser des ersten Abstands.

Der zweite, dritte und/oder vierte Faserabschnitte dient – anders als der erste Faserabschnitt – vorzugsweise nicht der Erzeugung von Laserstrahlung, sondern zum Transport der Laserstrahlung zu einer nachgeschalteten Strahlkombiniervorrichtung und/oder Fokussieroptik. Der zweite, dritte und/oder vierte Faserabschnitt wird daher auch als Transportfaserabschnitt beziehungsweise Transportfaser oder – gegenüber dem als aktiver Faser bezeichneten ersten Faserabschnitt – als passive Faser bezeichnet.

Insbesondere ist nicht vorgesehen, dass Pumpstrahlung von außerhalb der Faserabschnitte, insbesondere von außerhalb der

Faseranordnung, in den zweiten, dritten oder vierten Faserabschnitt eingekoppelt wird. Zwar ist es möglich, dass ein Teil der in den ersten Faserabschnitt eingekoppelten Pumpstrahlung in die dahinter angeordneten, zweiten, dritten und/oder vierten Faserabschnitte übertritt. Dies ist jedoch vorzugsweise nicht für die korrekte Funktionalität der Faseranordnung erforderlich. Insbesondere ist der erste, zweite und/oder dritte Faserabschnitt nicht ausgebildet, eine Pumpstrahlung im Inneren des jeweiligen Faserabschnitts, insbesondere in dessen jeweiligen Fasermantel, zu führen und zu halten. Ganz besonders ist der zweite, dritte und/oder vierte Faserabschnitt nicht ausgebildet, an dessen äußeren Umfang, insbesondere dem äußeren Ende eines jeweiligen Fasermantels, eine Totalreflexion der eingekoppelten Pumpstrahlung zu bewirken.

Vorzugsweise ist der erste Faserabschnitt derart ausgebildet und eingerichtet, dass – im Betrieb der Faseranordnung, insbesondere in einem HEL-Effektor oder einer Laserwaffe – ein Großteil der Pumpstrahlung, vorzugsweise die gesamte eingekoppelte Pumpstrahlung in dem ersten Faserkern absorbiert wird. Alternativ oder zusätzlich ist die Faseranordnung beziehungsweise der HEL-Effektor oder die Laserwaffe ausgebildet und eingerichtet, um Pumpstrahlungsreste aus der Faseranordnung, insbesondere dem zweiten, dritten und/oder vierten Faserabschnitt zu entfernen.

Gemäß einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass der zweite Faserabschnitt einen insbesondere zweiten, dotierten Faserkern und einen den zweiten Faserkern umgreifenden, insbesondere zweiten Fasermantel mit einem Cladding aufweist.

Das Cladding des zweiten Fasermantels wird insbesondere auch als zweites Cladding bezeichnet. Das Cladding des ersten Fasermantels wird entsprechend insbesondere als erstes Cladding bezeichnet. Auch der zweite Fasermantel weist vorzugsweise zumindest ein weiteres Mantelelement, beispielsweise mit einer Schutzfunktion und/oder einer optischen Funktion auf.

Auch der dritte beziehungsweise vierte Faserabschnitt weist vorzugsweise einen dritten beziehungsweise vierten, dotierten Faserkern und einen den dritten beziehungsweise vierten Faserkern umgreifenden, dritten beziehungsweise vierten Fasermantel mit einem dritten beziehungsweise vierten Cladding auf. Vorzugsweise ist der erste, zweite, dritte und/oder vierte Faserabschnitt gleichartig aufgebaut. Insbesondere ist vorgesehen, dass alle Faserabschnitte einen Faserkern und einen Fasermantel mit einem Cladding aufweisen, wobei bevorzugt der jeweilige Fasermantel zumindest ein weiteres Mantelelement mit einer Schutzfunktion und/oder optischen Funktion aufweist.

Bevorzugt weist der zweite Faserkern, dritte Faserkern und/oder vierte Faserkern einen Kerndurchmesser auf, der entlang der gesamten Längserstreckung des zweiten Faserabschnitts einem Kerndurchmesser des ersten Faserkerns des ersten Faserabschnitts entspricht. Besonders bevorzugt weisen alle Faserkerne in allen Faserabschnitten denselben Kerndurchmesser auf.

Alternativ oder zusätzlich bevorzugt weist einer der als Transportfaser fungierenden Faserabschnitte, insbesondere der zweite, dritte und/oder vierte Faserabschnitt, zumindest

abschnittsweise einen Kerndurchmesser des Faserkerns auf, der gegenüber dem Kerndurchmesser des ersten Faserkerns insbesondere leicht vergrößert ist.

Ferner bevorzugt entspricht die Dotierung im zweiten, dritten und/oder vierten Faserkern der Dotierung im ersten Faserkern.

Vorzugsweise ist ein Brechungsindex des jeweiligen Fasermantels niedriger als ein Brechungsindex des jeweiligen Faserkerns. Dadurch sind die Eigenschaften als Lichtwellenleiter verbessert. Insbesondere wird dadurch eine Totalreflexion von eingekoppelter Pumpstrahlung ermöglicht.

Bevorzugt sind die Brechungsindizes des ersten, zweiten, dritten und/oder vierten Fasermantels identisch. Alternativ oder zusätzlich sind die Brechungsindizes des ersten, zweiten, dritten und/oder vierten Faserkerns identisch. Hierdurch werden Strahlungs- und Leistungsverluste beim Übergang von einem Faserabschnitt in einen anderen Faserabschnitt vermieden und es wird insgesamt eine hohe Strahlungsleistung bewirkt.

Ferner bevorzugt ist hierbei vorgesehen, dass die Fasermäntel des ersten, zweiten, dritten und/oder vierten Faserabschnitts jeweils aus dem gleichen Mantelmaterial sowie die Faserkerne des ersten, zweiten, dritten und/oder vierten Faserabschnitts aus dem gleichen Kernmaterial, insbesondere mit gleicher Dotierung, bestehen.

Gemäß einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass der zweite Faserabschnitt oder der vierte Faserabschnitt an einer Verbindungsschnittstelle zum ersten Faserabschnitt und/oder an seinem dem ersten Faserabschnitt zugewandten Ende einen

größeren Durchmesser aufweist als an dem gegenüberliegenden, dem ersten Faserabschnitt abgewandten Ende, insbesondere indem das Cladding des zweiten Faserabschnitts an dem gegenüberliegenden, dem ersten Faserabschnitt abgewandten Ende dünner ist als an der Verbindungschnittstelle.

Dabei ist das Cladding des zweiten Faserabschnitts in einem hinteren Bereich, insbesondere einem hinteren Ende des zweiten Faserabschnitts, welcher dem ersten Faserabschnitt abgewandt ist, dünner ausgebildet als an einem vorderen Ende, welches dem ersten Faserabschnitt zugewandt ist. Die Reduktion des Durchmessers beziehungsweise der gegenüber dem ersten Faserabschnitt verringerte Durchmesser des zweiten Faserabschnitts wird somit bevorzugt erreicht, indem eine Dicke des zweiten Claddings gegenüber einer Dicke des ersten Claddings reduziert ist.

Der hintere Bereich weist hierbei einen größeren Abstand zum ersten Faserabschnitt auf als der vordere Bereich. "Hinten" und "vorne" beziehen sich somit insbesondere auf eine Richtung eines Strahlengangs eines Laserstrahls, welches ausgehend von dem Faserkern des ersten Faserabschnitts die Faseranordnung und eine gegebenenfalls dahinter angeordnete Strahlkombiniervorrichtung und/oder Fokussieroptik durchläuft.

"Dicker" und "dünner" bezieht sich in diesem Zusammenhang insbesondere in Richtung ausgehend von der Mittelachse auf eine radiale Erstreckung. Ein dickes Claddings weist also eine größere radiale Erstreckung auf als ein dünnes Cladding. Vorzugsweise ist dabei ein Innenradius, also der innere Abstand vom Cladding zur Mittelachse im Verlauf des ersten, zweiten, dritten und/oder vierten Faserabschnitts konstant und

insbesondere über alle Faserabschnitte hinweg identisch. Insbesondere entspricht der Innenradius des Claddings einem halben Durchmesser der jeweiligen Faserkerne, da das Cladding bevorzugt unmittelbar auf dem Faserkern angeordnet ist.

Gemäß einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Durchmesser des ersten Faserabschnitts, insbesondere des ersten Fasermantels und/oder Faserkerns, und des zweiten Faserabschnitts, insbesondere des zweiten Fasermantels und/oder Faserkerns, an der Verbindungsschnittstelle gleich groß sind, und wobei sich der Durchmesser des zweiten Faserabschnitts ausgehend von der Verbindungsschnittstelle in Richtung des dem ersten Faserabschnitts abgewandten Ende insbesondere kontinuierlich und/oder stetig verjüngt. Dadurch wird ein stabiler Aufbau der Faseranordnung bewirkt. Insbesondere ist dadurch die Verbindungsschnittstelle sehr stabil.

Alternativ oder zusätzlich ist auch zumindest eine weitere Verbindungsschnittstelle, bevorzugt alle weiteren Verbindungsschnittstellen, zwischen benachbarten Faserabschnitten, insbesondere deren Fasermänteln und/oder Faserkernen, derart, dass die Durchmesser der benachbarten Faserabschnitte an den Verbindungsschnittstellen jeweils identisch sind. Somit sind stufenlose Übergänge zwischen den Faserabschnitten realisiert, wodurch die Stabilität hoch und die optischen Eigenschaften, insbesondere die Strahlqualität, sehr gut sind.

Vorzugsweise ist vorgesehen, dass die Umfangsflächen des ersten Faserabschnitts und des zweiten Faserabschnitts an der Verbindungsschnittstelle miteinander fluchtend ausgebildet

sind. Alternativ oder zusätzlich sind auch die Umfangsflächen des dritten und vierten Faserabschnitts an den jeweiligen Verbindungsschnittstellen zum ersten beziehungsweise zweiten Faserabschnitt mit den Umfangsflächen der ersten beziehungsweise zweiten Faserabschnitts jeweils fluchtend ausgebildet.

Vorzugsweise weisen die Faserkerne des ersten, zweiten, dritten und/oder vierten Faserabschnitts zumindest an der Verbindungsschnittstelle, vorzugsweise überall, gleich große Durchmesser auf, sodass die Faserkernumfangsflächen an den Verbindungsschnittstellen miteinander fluchten. Dadurch wird eine hohe Laserleistung bewirkt und Laserstrahlungsverluste sind vermieden.

Wie oben bereits angesprochen, ist alternativ bevorzugt im Bereich des zweiten, dritten und/oder vierten Faserabschnitts ein insbesondere leicht vergrößerter Kerndurchmesser vorgesehen, wobei der Kerndurchmesser insbesondere um 50% bis 10%, insbesondere um 25% gegenüber dem Kerndurchmesser im ersten Faserabschnitt vergrößert sein kann. Insbesondere kann der Kerndurchmesser um bis zu 10 µm, vorzugsweise bis zu 5 µm vergrößert sein.

Gemäß einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Faseranordnung einen insbesondere konusförmigen Verjüngungsabschnitt aufweist, in welchem sich ein Außendurchmesser von einem ersten Wert auf einen zweiten Wert verjüngt, wobei der erste Werte vorzugsweise einem Außendurchmesser des ersten Faserabschnitts und der zweite Werte einem Außendurchmesser des zweiten Faserabschnitts entspricht. Der Verjüngungsabschnitt ist vorzugsweise als

Taper zum optischen Verbinden zweier Lichtwellenleiter ausgebildet, insbesondere zum optischen Verbinden des ersten Faserabschnitts mit dem zweiten oder vierten Faserabschnitt. Vorzugsweise sind die Außendurchmesser des ersten und zweiten Faserabschnitts – außerhalb des Verjüngungsabschnitts – konstant. Dadurch ist die Faseranordnung einfach und kostengünstig herstellbar.

Bevorzugt ist der Verjüngungsabschnitt als separates Element ausgebildet, also zumindest separat zu dem ersten und zweiten Faserabschnitt. Der Verjüngungsabschnitt kann aber auch als Teil des ersten und/oder zweiten Faserabschnitts insbesondere im Bereich der Verbindungsschnittstelle ausgebildet sein.

Vorzugsweise ist die gesamte Verjüngung des Durchmessers von dem – gegenüber dem ersten Faserabschnitt – geringeren Durchmessers des zweiten Faserabschnitt an dessen dem ersten Faserabschnitt abgewandten Ende ausschließlich in dem Verjüngungsabschnitt ausgebildet. Dabei bleibt der Durchmesser in zumindest einem Abschnitt des zweiten Faserabschnitts, vorzugsweise im gesamten weiteren Verlauf des zweiten Faserabschnitts insbesondere außerhalb des Verjüngungsabschnitts, konstant.

Vorzugsweise ist der Verjüngungsabschnitt in Richtung der Längserstreckung der Faserabschnitte, also in Richtung der Mittelachse, kürzer als die halbe Längserstreckung des zweiten Faserabschnitts, vorzugsweise kleiner als 5 cm, vorzugsweise kleiner als 3 cm, vorzugsweise kleiner als 1cm.

Gemäß einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Faseranordnung mehrere erste Faserabschnitte und mehrere

zweite beziehungsweise mehrere dritte Faserabschnitte aufweist, wobei die zweiten beziehungsweise dritten Faserabschnitte zu einem jeweiligen, benachbarten zweiten Faserabschnitt in einem Mittenabstand angeordnet, insbesondere fixiert, sind, welcher kleiner ist als ein Durchmesser des Fasermantels des ersten Faserabschnitts. Hierdurch können mehrere Fasern und die daraus emittierte Laserstrahlung besonders effizient miteinander kombiniert werden, um insgesamt eine hohe Laserleistung mit einer hohen Strahlqualität zu bewirken.

Als Durchmesser wird – sofern nicht explizit abweichend bestimmt – insbesondere ein Außendurchmesser verstanden.

Vorzugsweise sind also zumindest zwei erste Faserabschnitte und zumindest zwei zweite Faserabschnitte vorgesehen, wobei ein Mittenabstand zwischen einem ersten der ersten Faserabschnitte (also einem "ersten ersten Faserabschnitt") zu einem zweiten der ersten Faserabschnitte (also einem "zweiten ersten Faserabschnitt") größer ist als ein Mittenabstand zwischen einem ersten der zweiten Faserabschnitte (also einem "ersten zweiten Faserabschnitt") und einem zweiten der zweiten Faserabschnitte (also einem "zweiten zweiten Faserabschnitt"). Hierbei ist der erste erste Faserabschnitt zu dem zweiten ersten Faserabschnitt und der erste zweite Faserabschnitt zu dem zweiten zweiten Faserabschnitt benachbart. Insbesondere ist der zweite erste Faserabschnitt zu dem ersten ersten Faserabschnitt und/oder der zweite zweite Faserabschnitt zu dem ersten zweiten Faserabschnitt als derartiger nächster Nachbar angeordnet, dass kein anderer erster Faserabschnitt näher an dem ersten ersten Faserabschnitt beziehungsweise kein

anderer zweiter Faserabschnitt näher an ersten zweiten Faserabschnitt angeordnet ist.

Vorzugsweise sind auch mehrere dritte Faserabschnitte und/oder mehrere vierte Faserabschnitte vorgesehen, welche mit den ersten und/oder zweiten Faserabschnitt jeweils paarweise verbunden sind.

Vorzugsweise sind die mehreren ersten und zweiten Faserabschnitts paarweise miteinander derart verbunden sind, dass jeweils einer der mehreren ersten Faserabschnitte mit genau einem der mehreren zweiten Faserabschnitte verbunden ist. Entsprechendes gilt für die dritten und/oder vierten Faserabschnitte. Die "mehreren" ersten, zweiten, dritten und/oder vierten Faserabschnitte kombinieren sich also zu einer insbesondere gleichen Anzahl von "mehreren" Fasersträngen.

Dabei sind bevorzugt zumindest 30, vorzugsweise zumindest 40, vorzugsweise zumindest 50, vorzugsweise genau 50 Fasersträngе ausgebildet.

Dabei sind die mehreren Fasersträngе, insbesondere die mehreren ersten Faserabschnitte und/oder die mehreren zweiten Faserabschnitte als Faserarray, insbesondere in einer linearen Anordnung zueinander, angeordnet. Die mehreren Fasersträngе sind dabei bevorzugt – entlang einer oder mehreren Achsen – im Wesentlichen in konstanten Abständen zueinander angeordnet, wobei Faseranordnung derart ausgebildet ist, dass die Abweichungen zu den konstanten Abständen (Toleranzen) maximal 100 µm, vorzugsweise maximal 50 µm, vorzugsweise maximal 10 µm, vorzugsweise maximal 1 µm, betragen. Dadurch sind eine

sehr präzise Strahlkombination und dadurch eine sehr hohe Strahlqualität des kombinierten Strahls möglich.

Gemäß einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass der zweite und/oder dritte Faserabschnitt – insbesondere entlang der Mittelachse der jeweiligen Faser – einen gebogenen Verlauf aufweist, insbesondere derart, dass die Faserkerne von zweien der mehreren der zweiten und/oder dritten Faserabschnitte enger beieinander liegen als die Faserkerne von zweien der ersten Faserabschnitte. Dadurch können die Abstände der zweiten und/oder dritten Faserabschnitte insbesondere an deren Enden, die den ersten Faserabschnitten abgewandt sind, flexibel und näher aneinander angeordnet werden. Dadurch ist die Strahlqualität bei der spektralen Kombination mit einem optischen Gitter verbessert und somit die Leistungsdichte am Zielort erhöht.

Vorzugsweise weisen die zweiten, dritten und/oder vierten Faserabschnitte einen gebogenen Verlauf auf, insbesondere derart, dass ihre den ersten Faserabschnitten abgewandten Enden derart enger aneinander angeordnet sind, dass ein Gesamtdurchmesser der von den zweiten, dritten und/oder vierten Faserabschnitten gebildeten Faserarrays kleiner ist als der Gesamtdurchmesser der mehreren ersten Faserabschnitte.

Gemäß einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass die ersten Faserabschnitte in einem Mittenabstand zu einem jeweiligen, benachbarten ersten Faserabschnitt angeordnet, insbesondere fixiert, sind, welcher größer ist als der Mittenabstand der zweiten und/oder dritten Faserabschnitte. Dadurch kann die Dimensionierung der ersten Faserabschnitte unabhängig von einer Abstrahldimensionierung eingestellt werden.

Vorzugsweise ist ein Außenabstand der ersten Faserabschnitte kleiner als ein Durchmesser der ersten Faserabschnitte.

Alternativ oder zusätzlich ist vorgesehen, dass sich die mehreren ersten und/oder vierten Faserabschnitte an deren Außenflächen zumindest abschnittsweise, vorzugsweise entlang deren gesamten Längserstreckung berühren. Ferner ist bevorzugt vorgesehen, dass sich die mehreren zweiten und/oder dritten Faserabschnitt an deren Außenflächen zumindest abschnittsweise, insbesondere an deren den ersten Faserabschnitten abgewandten Enden, berühren. Dadurch wird eine kompakte Anordnung und – insbesondere bezüglich der zweiten und dritten Faserabschnitte – eine verbesserte Strahlqualität bei der Strahlkombination bewirkt.

Gemäß einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass der Durchmesser des zweiten und/oder dritten Faserabschnitts, insbesondere des zweiten und/oder dritten Claddings, an seinem dem ersten Faserabschnitt abgewandten Ende kleiner ist als 0,3 mm, vorzugsweise kleiner als 0,2 mm, vorzugsweise kleiner als 0,1 mm, vorzugsweise kleiner als 0,05 mm, vorzugsweise kleiner als 0,03 mm und wobei der Durchmesser des ersten Faserabschnitts, insbesondere des ersten Claddings, zumindest abschnittsweise zumindest 0,3 mm, vorzugsweise zumindest 0,4 mm, insbesondere 0,4 mm, beträgt. Vorzugsweise beträgt der Durchmesser des ersten Faserabschnitts, insbesondere des ersten Claddings, höchstens 1 mm, vorzugsweise höchstens 0,6 mm, vorzugsweise höchstens 0,5 mm. Dadurch ist eine gute Strahlqualität bei der Strahlkombination mit einer hohen Laserleistung ermöglicht.

Die Dicke des zweiten und/oder dritten Claddings ist vorzugsweise kleiner als die radiale Erstreckung des ersten Faserkerns. Vorzugsweise ist die Dicke des zweiten und dritten Claddings derart gering, dass die Lichtwellenleitereigenschaft für die Pumpstrahlung reduziert oder verloren ist, insbesondere derart, dass keine Totalreflexion der Pumpstrahlung in dem Cladding, insbesondere an einer Grenzfläche zwischen Cladding und einem radial außen anschließenden Bereich, beispielsweise einer weiteren Schicht des Fasermantels und/oder einer Umgebung, erfolgt. Dadurch ist eine besonders enge Anordnung der zweiten und/oder dritten Faserabschnitte aneinander ermöglicht.

Vorzugsweise wurde die Pumpstrahlung – im Betrieb der Faseranordnung als Bestandteil einer Laservorrichtung, insbesondere eines HEL-Effektors und/oder einer Laserwaffe – vollständig in der aktiven Faser absorbiert. Um gegebenenfalls nicht absorbierte Reste der Pumpstrahlung zu entfernen ist vorzugsweise zumindest eine Pumpstrahlungsentfernungseinrichtung vorgesehen, welche die Pumpstrahlung aus dem zweiten, dritten und/oder vierten Faserabschnitt entfernt.

Gemäß einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass der zweite oder dritte Faserabschnitt vorzugsweise an seinem dem ersten Faserabschnitt abgewandten Ende an einem optisch transparenten Fixierelement, insbesondere einem Glaskörper, befestigt ist. Dadurch wird eine definierte Strahlgeometrie festgelegt und die Laserstrahlen können präzise auf eine nachgeschaltete Strahlkombiniervorrichtung und/oder Fokussieroptik ausgerichtet werden, sodass insgesamt eine hohe Strahlqualität erreichbar ist.

Vorzugsweise ist die Befestigung an dem Fixierelement vorzugsweise durch eine Spleißverbindung und/oder eine Schweißverbindung realisiert.

Ferner bevorzugt ist das Fixierelement als optischer Körper derart ausgebildet, dass ein eintretender Laserstrahl in divergierende Strahlengänge aufgeteilt wird.

Gemäß einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass die mehreren ersten Faserabschnitte ausgebildet und eingerichtet sind, Laserstrahlung mit jeweils verschiedenen Wellenlängen zu erzeugen. Dadurch wird eine spektrale Kombination ermöglicht, welche zu besonders hohen Laser-Ausgangsleistungen genutzt werden kann.

Vorzugsweise sind die mehreren ersten Faserabschnitte ausgebildet und eingerichtet, – zumindest nach Durchlaufen einer Strahlkombiniervorrichtung mit der Fokussieroptik – durch spektrale Strahlkombination einen einzigen Laserstrahl zu erzeugen.

Vorzugsweise sind die mehreren ersten Faserabschnitte ausgebildet und eingerichtet, Laserstrahlung in Wellenlängenabständen zueinander zu erzeugen, wobei sich besonders bevorzugt die Wellenlängen der in verschiedenen der ersten Faserabschnitten erzeugten Laserstrahlen zwischen 1 nm und 5 nm, vorzugsweise um 2 nm, unterscheiden.

Die vorstehend genannten Aufgabe wird erfindungsgemäß auch durch einen HEL-Effektor insbesondere für eine Laserwaffe gelöst, wobei der HEL-Effektor eine Faseranordnung gemäß einem

der vorhergehenden Ausführungsformen, welche insbesondere als Teil eines Faserlasers des HEL-Effektors ausgebildet ist, eine Strahlkombiniervorrichtung, welche eine Transformationsoptikeinrichtung, insbesondere eine Transformationslinse und/oder ein Transformationsspiegel, und/oder ein optisches Gitter umfasst, und die Pumpstrahlungsquelle, die zur Einkopplung der Pumpstrahlung mit dem zumindest einen ersten Faserabschnitt, insbesondere den mehreren ersten Faserabschnitten, verbunden ist, aufweist, wobei in einem Strahlgang der Laserstrahlen hinter dem optisch transparenten Fixierelement die Transformationsoptikeinrichtung angeordnet ist, wobei die Transformationsoptikeinrichtung ausgebildet und eingerichtet ist, die eintreffenden Laserstrahlen insbesondere kollimiert auf das optische Gitter zu richten. Hierdurch ist ein kombinierter, gebündelter Laserstrahlen mit hoher Energiedichte und hoher Strahlqualität erzeugbar.

Die Strahlkombiniervorrichtung ist ausgebildet und eingerichtet, um zumindest zwei, vorzugsweise alle, in der Faseranordnung erzeugten und aus dieser austretenden Laserstrahlen zu einem gebündelten Laserstrahl zu bündeln. Ein derart gebündelter Laserstrahl weist eine erhöhte Strahlqualität auf, sodass auch auf hohen Distanzen geringe Strahldurchmesser und hohe Leistungsdichten erreicht werden können.

Die vorstehend genannten Aufgabe wird erfindungsgemäß auch durch eine Laserwaffe und/oder ein Laserwaffensystem mit einer Faseranordnung gemäß einer der vorangehenden Ausführungsformen, wobei die Faseranordnung vorzugsweise Bestandteil eines Faserlasers der Laserwaffe ist, und/oder

einem HEL-Effektor gemäß einer der vorangehenden Ausführungsformen gelöst, wobei die Laserwaffe eine Zielerfassungsvorrichtung zur Erfassung eines Zielobjekts und vorzugsweise ein Steuergerät zum Steuern der Zielerfassungsvorrichtung und/oder zum Betätigen, insbesondere Aktivieren und Deaktivieren, eines Laserstrahls aufweist.

Die Laserwaffe ist insbesondere als Laserabwehrwaffe ausgebildet und eingerichtet, als Zielobjekt eine, insbesondere abgeschossene, Waffe und/oder einen Flugkörper, wie beispielsweise eine Drohne, zu erfassen.

Die Zielerfassungsvorrichtung ist vorzugsweise ausgebildet und eingerichtet, um als Zielobjekt ein sich bewegendes, insbesondere fliegendes Zielobjekt zu erfassen und zu verfolgen, und/oder um eine Bewegung des Zielobjekts vorherzuberechnen.

Gemäß einer Weiterbildung der Laserwaffe ist vorgesehen, dass der HEL-Effektor ausgebildet und eingerichtet ist, um mehrere Laserstrahlen der Faseranordnung derart zu kombinieren, dass der gebündelte Laserstrahl eine Gesamtleistung von zumindest 5 kW, vorzugsweise zumindest 10 kW, vorzugsweise zumindest 20 kW, vorzugsweise zumindest 50 kW, vorzugsweise zumindest 80 kW, vorzugsweise zumindest 100 kW aufweist. Diese Gesamtleistung ist hoch genug, um mit der Laserwaffe effektiv aus großer Entfernung ein insbesondere gefährliches Zielobjekt, wie beispielsweise eine insbesondere bewaffnete Drohne, zu beschädigen oder zu zerstören.

Weitere Ausführungsformen betreffen insbesondere auch einen Demonstrator mit einer Faseranordnung gemäß einer der

vorangehenden Ausführungsformen und/oder einem HEL-Effektor gemäß einer der vorangehenden Ausführungsformen, sowie eine Laservorrichtung gemäß einer der vorangehenden Ausführungsformen.

Weitere Vorteile ergeben sich aus der Beschreibung und den beigefügten Zeichnungen. Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Dabei bezeichnen gleiche Bezugszeichen in verschiedenen Figuren jeweils gleiche oder zumindest ihrer Funktion nach vergleichbare Elemente. Bei der Beschreibung einzelner Figuren wird gegebenenfalls auch auf Elemente aus anderen Figuren Bezug genommen. Es zeigen jeweils in schematischer Form:

Fig. 1 eine Faseranordnung gemäß einer ersten Ausführungsform,

Fig. 2 erste Faserabschnitte einer Faseranordnung ohne zweite Faserabschnitte,

Fig. 3 eine Faseranordnung gemäß einer zweiten Ausführungsform,

Fig. 4 eine Faseranordnung gemäß einer dritten Ausführungsform,

Fig. 5 einen HEL-Effektor mit einer Faseranordnung gemäß einer der Fig. 1 bis 4, und

Fig. 6 eine Strahlkombiniervorrichtung gemäß dem in Fig. 5 dargestellten HEL-Effektor.

Fig. 1 zeigt eine Faseranordnung 1, welche zum Übertragen von Laserstrahlen einen ersten Faserabschnitt 3 und einen zweiten Faserabschnitt 5 aufweist. Der erste Faserabschnitt 3 und der zweite Faserabschnitt 5 weisen eine längliche Form auf und erstrecken sich vorzugsweise über einen größere Längserstreckung als in Fig. 1 dargestellt.

Die Faserabschnitte 3, 5 sind hier vorzugsweise als Fasern ausgebildet, welche aneinander verspleißt sind. Die Fasern weisen insbesondere jeweils einen konstanten Durchmesser auf und sind über einen konusförmigen Verjüngungsabschnitt 7 miteinander verbunden.

Bei der hier dargestellten Ausführungsform erstrecken sich der erste Faserabschnitt 3, der Verjüngungsabschnitt 7 und der zweite Faserabschnitt 5 insbesondere konzentrisch um eine gemeinsame Mittelachse M.

Der konusförmige Verjüngungsabschnitt 7 kann dabei von einem separaten Taper-Element bereitgestellt oder integral mit dem zweiten Faserabschnitt 5 ausgebildet sein. Sofern ein separates Taper-Element vorgesehen ist, sind die beiden Faserabschnitte mit diesem optisch verbunden insbesondere verspleißt. Dabei ist der erste Faserabschnitt 3 vorzugsweise an einem Ende des Taper-Elements mit dem größeren Durchmesser verspleißt, während der zweite Faserabschnitt 5 an einem anderen Ende des Taper-Elements mit dem kleineren Durchmesser verspleißt ist.

Dabei ist ein erster Durchmesser D1 des ersten Faserabschnitts 3 größer als ein zweiter Durchmesser D2 des zweiten

Faserabschnitts 5. Insbesondere ist der Durchmesser des zweiten Faserabschnitts 5 an seinem dem ersten Faserabschnitt 3 abgewandten Ende 9 geringer als der erste Durchmesser D1 des ersten Faserabschnitts 3. Dadurch kann eine hohe Strahlqualität erreicht und insgesamt hohe Energiedichten an einem Zielort des Lasers bewirkt werden.

Der erste Faserabschnitt 3 weist einen ersten Faserkern 11 und einen ersten Fasermantel 12 mit einem ersten Cladding 13 auf. Der zweite Faserabschnitt 5 weist einen zweiten Faserkern 15 und einen zweiten Fasermantel 16 mit einem zweiten Cladding 17 auf.

Die Faserkerne 13, 17 sind dabei aufeinander ausgerichtet und bilden dadurch einen gemeinsamen Faserkern der sich durch den ersten Faserabschnitt 3, den Verjüngungsabschnitt 7 und den zweiten Faserabschnitt 5 erstreckt.

Das erste Cladding 13 des ersten Faserabschnitts 3 und das zweite Cladding 17 des zweiten Faserabschnitts 5 weisen vorzugsweise das gleiche Claddingmaterial auf und bestehen insbesondere aus diesem Claddingmaterial. Auch das Cladding im Verjüngungsabschnitt 7 weist bevorzugt das gleiche Claddingmaterial auf, sodass über den gesamten Verlauf der Faserabschnitte an der Schnittstelle zwischen den Faserkernen und dem Cladding gleiche optische Bedingungen geschaffen sind.

Da die beiden Faserabschnitte 3, 5 in Fig. 1 konzentrisch zur Mittelachse M ausgebildet sind, sind auch die Faserkerne 11, 15 ausgehend von dem ersten Faserabschnitt 3 über den Verjüngungsabschnitt 7 zum zweiten Faserabschnitt 5 konzentrisch aufeinander ausgerichtet. Dadurch wird ein

Laserstrahl verlustfrei oder zumindest verlustarm durch die Faserabschnitte geführt.

Das erste Cladding 13 ist insbesondere derart ausgebildet, dass eine in den ersten Faserabschnitt 3 eingeführte Pumpstrahlung an der äußeren Wandung 19 des ersten Claddings 13 total reflektiert wird, um dadurch eine hohe Pumpleistung zu bewirken.

Die in dem ersten Faserkern 11 von der Pumpstrahlung erzeugte Laserstrahlung wird in dem ersten Faserkern 11 gehalten und dort an der Grenzfläche zum ersten Cladding 13 total reflektiert. Auch im Bereich des zweiten Faserabschnitts 5 und im Verjüngungsabschnitt 7 wird die Laserstrahlung durch Totalreflexion im jeweiligen Faserkern gehalten.

Fig. 2 zeigt eine Faseranordnung mit mehreren gleichartig ausgebildeten Faserabschnitten, insbesondere ersten Faserabschnitten 3, die an beiden Enden gleiche Durchmesser aufweisen. Eine Richtung eines Laserstrahls ist jeweils durch einen Pfeil L angedeutet.

Dabei ist zu erkennen, dass die ersten Faserabschnitte 3 für sich genommen und deren ersten Faserkerne 11 in einem größeren Abstand als der erste Durchmesser D1 angeordnet sind und insbesondere in keinem kleineren Abstand als dem ersten Durchmesser D1 anordenbar sind.

Fig. 3 zeigt mehrere erste Faserabschnitte 3 und mehrere zweite Faserabschnitte 5, wobei die zweiten Faserabschnitte 5 zumindest teilweise, hier nämlich der in Fig. 3 obere und der untere der drei zweiten Faserabschnitte 5, einen gebogenen

Verlauf aufweisen. Dabei sind deren dem ersten Faserabschnitt 3 abgewandten Enden 9 näher aneinander angeordnet, als die dem ersten Faserabschnitt 3 zugewandten Enden, über welche der zweite Faserabschnitt 5 mit dem ersten Faserabschnitt 3 optisch verbunden ist. Dabei sind die zweiten Faserkerne 15 von jeweils zwei benachbarten zweiten Faserabschnitte 5 in einem Mittenabstand A zueinander angeordnet, der kleiner ist als der erste Durchmesser D1 der ersten Faserabschnitte 3, insbesondere des ersten Claddings 13.

Die zweiten Faserabschnitte 5 sind hier insbesondere fixiert, indem sie an einem optisch transparenten Fixierelement 21, insbesondere einem Quartzkörper, befestigt sind.

Dabei treten die Strahlen aus den Fasern divergent aus, wodurch ein Strahlkegel gebildet wird. Neben einem Mittelstrahl L2 sind in der Fig. 3 bis Fig. 6 jeweils pro Faser ein oberer Randstrahl L1 und ein unterer Randstrahl L3 des Strahlkegels dargestellt.

Diese Bildung des Strahlkegels ist in Fig. 4 nochmal in schematischer Form anhand von acht zweiten Faserabschnitten 5 dargestellt. Dabei sind die zweiten Faserabschnitte 5 der Übersicht halber ohne ihren zweiten Faserkerne dargestellt.

Aus diesen zweiten Faserkernen treten an dem Ende 9, welches dem ersten Faserabschnitten 3 abgewandt ist, die Laserstrahlen L aus, welche in dem Fixierelement 21 einen divergenten Strahl bilden, wobei in Fig. 4 zur Veranschaulichung des Strahlkegels drei divergierende Einzelstrahlen, nämlich ein oberer, erster Randstrahl L1, ein Mittelstrahl L2 und ein unterer, zweiter Randstrahl L3, dargestellt sind.

Die Einzelstrahlen L1, L2, L3 werden anschließend einer Strahlkombiniervorrichtung 23 zugeführt, welche in Fig. 5 schematisch angedeutet und in Fig. 6 detaillierter dargestellt ist. Dadurch wird ein gebündelter Laserstrahl L_B mit sehr hoher Strahlqualität und Energiedichte erzeugt.

In Fig. 5 ist ferner ein HEL-Effektor 24 dargestellt, wobei der HEL-Effektor 24 eine Pumpstrahlquelle 25 aufweist, welche ausgebildet und eingerichtet ist, Pumpstrahlung P in die ersten Faserabschnitte 3 einzukoppeln. Die ersten Faserabschnitte 3 sind in Fig. 5 schematisch als eine einzige Box dargestellt. Die ersten Faserabschnitte 3, insbesondere deren ersten Faserkerne 11, sind mit den zweiten Faserabschnitten 5, insbesondere deren zweiten Faserkernen 15, optisch verbunden, sodass die durch die Pumpstrahlung P in den ersten Faserabschnitten 3 erzeugten Laserstrahlen L die zweiten Faserkerne 15 durchstrahlen und an dem dem ersten Faserabschnitt 3 abgewandten Ende 9 austreten, um in das optisch, transparente Fixierelement 21, also den Quartzkörper, überzutreten.

Fig. 6 zeigt die divergierenden Laserstrahlen L_D. Die Strahlkombiniervorrichtung 23 weist zumindest eine Transformationsoptikeinrichtung 27, insbesondere eine Transformationslinse und/oder einen Transformationsspiegel, auf. Die Transformationsoptikeinrichtung 27 ist dabei in einem Strahlengang der Laserstrahlen L_D derart angeordnet, dass die divergierenden Laserstrahlen L_D auf ein optisches Gitter 29 der Strahlkombiniervorrichtung 23 umgelenkt werden. Dadurch wird der gebündelte Laserstrahl L_B erzeugt, welcher eine hohe Strahlqualität aufweist.

Insbesondere ist es mit der beschriebenen Faseranordnung 1 und dem beschrieben HEL-Effektor 24 möglich, viele Faserabschnitte und die darin erzeugten Laserstrahlen zu kombinieren, um einen gebündelten Laserstrahl L_B mit sehr hohe Gesamtleistung und hoher Strahlqualität zu erzeugen.

Patentansprüche

1. Faseranordnung (1) zur Übertragung von Laserstrahlen (L) für einen Faserlaser einer Laserwaffe, mit zumindest einem ersten Faserabschnitt (3), insbesondere einer ersten Faser, und zumindest einem zweiten Faserabschnitt (5), insbesondere einer zweiten Faser, wobei die Faserabschnitte (3, 5) jeweils als Lichtwellenleiter ausgebildet sind, wobei der erste Faserabschnitt (3) mit dem zweiten Faserabschnitt (5) zur Übertragung von Laserstrahlen (L) optisch verbunden, insbesondere verspleißt, ist, wobei der erste Faserabschnitt (3) einen insbesondere ersten, dotierten Faserkern (11) und einen den Faserkern (11) umgreifenden, ersten Fasermantel (12) mit einem ersten Cladding (13) aufweist sowie ausgebildet und eingerichtet ist, durch eingekoppelte Pumpstrahlung (P) einer Pumpstrahlungsquelle (25) in dem ersten Faserkern (11) Laserstrahlung (L) zu erzeugen und in den zweiten Faserabschnitt (5) zu überführen, wobei der zweite Faserabschnitt (5) ausgebildet und eingerichtet ist, Laserstrahlung (L) entlang einer Längserstreckung des zweiten Faserabschnitts (5) zu führen, **dadurch gekennzeichnet**, dass der zweite Faserabschnitt (5) wenigstens an seinem von dem ersten Faserabschnitt (3) abgewandten Ende (9) einen geringeren Durchmesser als der erste Faserabschnitt (5) aufweist.

2. Faseranordnung (1) nach Anspruch 1, wobei die Faseranordnung (1) einen dritten Faserabschnitt, insbesondere einer dritten Faser, aufweist, welcher mit

dem zweiten Faserabschnitt (5) an dessen dem ersten Faserabschnitt (3) abgewandten Ende (9) zum Übertragen der Laserstrahlen (L) verbunden ist.

3. Faseranordnung (1) nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der zweite Faserabschnitt (5) einen insbesondere zweiten, dotierten Faserkern (15) und einen den zweiten Faserkern (15) umgreifenden, insbesondere zweiten Fasermantel (16) mit einem zweiten Cladding (16) aufweist.

4. Faseranordnung (1) nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der zweite Faserabschnitt (5) an einer Verbindungsschnittstelle zum ersten Faserabschnitt (3) einen größeren Durchmesser aufweist als an dem gegenüberliegenden, von dem ersten Faserabschnitt (3) abgewandten Ende (9), insbesondere indem das zweite Cladding (16) des zweiten Faserabschnitts (5) an dem gegenüberliegenden, dem ersten Faserabschnitt abgewandten Ende (9) dünner ist als an der Verbindungschnittstelle.

5. Faseranordnung (1) nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Durchmesser des ersten Faserabschnitts (3) und des zweiten Faserabschnitts (5) an der Verbindungsschnittstelle gleich groß sind, und wobei sich der Durchmesser des zweiten Faserabschnitts (5) ausgehend von der Verbindungsschnittstelle in Richtung des von dem ersten Faserabschnitt (3) abgewandten Ende (9) insbesondere kontinuierlich und/oder stetig verjüngt.

6. Faseranordnung (1) nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Faseranordnung (1)

einen insbesondere konusförmigen Verjüngungsabschnitt (7) aufweist, in welchem sich ein Durchmesser von einem ersten Wert auf einen zweiten Wert verjüngt, wobei der erste Werte vorzugsweise einem Durchmesser des ersten Faserabschnitts (3) und der zweite Werte einem Durchmesser des zweiten Faserabschnitts (5) entspricht.

7. Faseranordnung (1) nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Faseranordnung (1) mehrere erste Faserabschnitte (3) und mehrere zweite Faserabschnitte (5) aufweist, wobei die zweiten Faserabschnitte (5) zu einem jeweiligen, benachbarten zweiten Faserabschnitt (5) in einem Mittenabstand (A) angeordnet, insbesondere fixiert, sind, welcher kleiner ist als ein Durchmesser des Fasermantels (12) des ersten Faserabschnitts (3), und wobei die mehreren ersten Faserabschnitte (3) und/oder die mehreren zweiten Faserabschnitte (5) vorzugsweise als Faserarray angeordnet sind.

8. Faseranordnung (1) nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der zweite und/oder dritte Faserabschnitt – entlang einer Mittelachse (M) der jeweiligen Faser – einen gebogenen Verlauf aufweist, insbesondere derart, dass die Faserkerne (15) von zweien der mehreren der zweiten und/oder dritten Faserabschnitte enger beieinander liegen als die Faserkerne (11) von zweien der ersten Faserabschnitte.

9. Faseranordnung (1) nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die ersten Faserabschnitte (3) in einem Mittenabstand (A) zu einem jeweiligen, benachbarten ersten Faserabschnitt (3)

angeordnet, insbesondere fixiert, sind, welcher größer ist als der Mittenabstand (A) der zweiten und/oder dritten Faserabschnitte.

10. Faseranordnung (1) nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Durchmesser (D2) des zweiten und/oder dritten Faserabschnitts an seinem dem ersten Faserabschnitt (3) abgewandten Ende (9) kleiner ist als 0,3 mm, vorzugsweise kleiner als 0,2 mm, vorzugsweise kleiner als 0,1 mm, vorzugsweise kleiner als 0,05 mm und wobei der Durchmesser (D1) des ersten Faserabschnitts (3) zumindest abschnittsweise zumindest 0,3 mm, vorzugsweise zumindest 0,4 mm beträgt.

11. Faseranordnung (1) nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der zweite Faserabschnitt (5) oder der dritte Faserabschnitt vorzugsweise an seinem dem ersten Faserabschnitt (3) abgewandten Ende an einem optisch transparenten Fixierelement (21), insbesondere einem Glaskörper, befestigt ist.

12. Faseranordnung (1) nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die mehreren ersten Faserabschnitte (3) ausgebildet und eingerichtet sind, um Laserstrahlung (L) mit jeweils verschiedenen Wellenlängen zu erzeugen.

13. HEL-Effektor (24) für eine Laserwaffe mit einer Faseranordnung (1) gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, einer Strahlkombiniervorrichtung (23), welche eine Transformationsoptikeinrichtung (27) und ein optisches Gitter (29) umfasst, und mit der Pumpstrahlungsquelle (25), die zur Einkopplung der

Pumpstrahlung (P) mit dem zumindest einen ersten Faserabschnitt (3), insbesondere den mehreren ersten Faserabschnitten (3), verbunden ist, wobei in einem Strahlgang der Laserstrahlen (L) hinter dem optisch transparenten Fixierelement (21) die Transformationsoptikeinrichtung (27) angeordnet ist, wobei die Transformationsoptikeinrichtung (27) ausgebildet und eingerichtet ist, die eintreffenden Laserstrahlen (L) insbesondere kollimiert auf das optische Gitter (29) zu richten.

14. Laserwaffe mit einer Faseranordnung (1) gemäß einem der vorangehenden Ansprüche und/oder einem HEL-Effektor (24) gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Laserwaffe eine Zielerfassungsvorrichtung zur Erfassung eines Zielobjekts und vorzugsweise ein Steuergerät zum Steuern der Zielerfassungsvorrichtung und/oder zum Betätigen eines gebündelten Laserstrahls aufweist.

15. Laserwaffe gemäß Anspruch 14, wobei der HEL-Effektor (24) ausgebildet und eingerichtet ist, um mehrere Laserstrahlen der Faseranordnung (1) zu einem gebündelten Laserstrahl mit einer Gesamtleistung von zumindest 5 kW, vorzugsweise zumindest 10 kW, vorzugsweise zumindest 20 kW, vorzugsweise zumindest 50 kW, vorzugsweise zumindest 80 kW, vorzugsweise zumindest 100 kW, zu kombinieren.