

5

10

15

20 **Titel: Laserstrahlvorrichtung und Verfahren zur**
 Kohärenzerzeugung

Beschreibung

25 Die Erfindung betrifft eine Laserstrahlvorrichtung zum
Bestrahlen eines Zielobjekts mit Wirklaserstrahlung,
beispielsweise ein HEL-Effektor, Hochenergielasereffektor.
Zu den Schlüsselkomponenten eines HEL-Effektors gehören
wenigstens eine Laserquelle und ein Strahlführungssystem.
30 Das Strahlführungssystem umfasst beispielsweise Funktionen
und/oder Unterbaugruppen wie Feinimagingsystem (FIS),
Feintrackingsystem (FTS), Teleskop und adaptive Optiken.
Als Laserquellen kommen beispielsweise Gaslaser oder
Festkörperlaser, beispielsweise Faserlaser zum Einsatz.
35

Die Erfindung geht weiter aus von einer
Laserstrahlvorrichtung mit mehreren, wenigstens zwei
Verstärkergängen, wobei von einer Wirklasерquelle erzeugte
Wirklasерstrahlung mittels einer Strahllenk und/oder
5 Strahlteil-Einrichtung, wenigstens teilweise in einen
ersten und wenigstens teilweise in einen zweiten
Verstärkergang gelenkt und/oder aufgeteilt wird.

Ein jeweiliger Verstärkergang umfasst eine
10 Verstärkereinrichtung zum Verstärken der
Wirklasерstrahlung. Die Laserstrahlvorrichtung ist dazu
ausgebildet, das Zielobjekt zumindest zeitweise
gleichzeitig mit einem von dem ersten Verstärkergang
ausgehenden Wirklasерstrahl und einem von dem zweiten
15 Verstärkergang ausgehenden Wirklasерstrahls zu bestrahlen.

Um das Zielobjekt möglichst effektiv zu bestrahlen, soll
möglichst eine kohärente Überlagerung der von den
Verstärkergängen ausgestrahlten Wirklasерstrahlen erreicht
20 werden.

Die zur Kohärenzerzeugung benötigte Phasenbeziehung der
beiden Wirklasерstrahlen kann nicht direkt gemessen werden.
Üblicherweise werden zur Bestimmung der Phase indirekte
25 Messungen durchgeführt, bei denen die Intensität der
Überlagerung ausgewertet wird. Beim Einsatz von
Hochleistungsfasерlasern kann die Ausgangsleistung sehr
stark variieren. Dies stellt mitunter sehr hohe
Anforderungen an die Dynamik der Auswertung. Zur
30 Verbesserung der Auswertung ist es auch bekannt die

Laserleistung zusätzlich in der Amplitude zu modulieren.
Eine solche Modulation lässt sich nur eingeschränkt auf
Hochleistungsfaserlaser übertragen, da die Modulation zu
nichtlinearen Prozessen führt, was wiederum zu einer
5 Limitierung der Ausgangsleistung des
Hochleistungsfaserlasers führt. Ein weiteres Problem stellt
sich beim Einschalten von Hochleistungsfaserlaser.
Insbesondere beim Einschalten kommt es bauartbedingt zu
Phasenschwankungen, die wiederum große
10 Leistungsschwankungen erzeugen. Dies stellt wiederum sehr
hohe Anforderungen die Dynamik von Messung, Auswertung und
auch Regelung.

Wird die Laserstrahlvorrichtung zum Bestrahlen eines
15 entfernten Ziels eingesetzt, kommen zu den Phasenänderungen
in der Vorrichtung selbst noch Phasenänderungen entlang des
Ausbreitungsweges, die z. B. durch Turbulenzen verursacht
werden, hinzu. Dies führt zu einer weiteren Einflussgröße
auf die Regelung, die erst mit dem Einschalten des
20 Hochleistungsfaserlasers ermittelt und korrigiert werden
kann. Ferner kann es mit dem Einschalten des
Hochleistungsfaserlasers aufgrund der hohen Intensität auf
dem Ziel zu einer Leuchterscheinung kommen, was wiederum
die Auswertung der Intensität auf dem Ziel negativ
25 beeinflusst.

Diese Nachteile sollen mit der vorliegenden Erfindung
überwunden werden.

Erfindungsgemäß wird daher vorgeschlagen, dass die Laserstrahlvorrichtung eine Kalibrierlaserquelle zum Erzeugen von Kalibrierlaserstrahlung umfasst, wobei die Wellenlänge der Kalibrierlaserstrahlung von der Wellenlänge

5 der Wirklaserstrahlung abweicht wobei die Laserstrahlvorrichtung derart ausgebildet ist, dass an der Strahlenk- und/oder Strahlteil-Einrichtung wenigstens ein Teil der von der Kalibrierlaserquelle erzeugten Kalibrierlaserstrahlung in den ersten und in den zweiten

10 Verstärkerengang aufteilbar und/oder umlenkbar ist, und ein jeweiliger Verstärkerengang ein wellenlängenabhängiges Auskoppellement zum Auskoppeln wenigstens eines Teils des Kalibrierlaserlichts umfasst, und wobei die Laserstrahlvorrichtung Mittel zum Bestimmen einer Phase des

15 Kalibrierlaserlichts des ersten Verstärkergangs und/oder des Kalibrierlaserlichts des zweiten Verstärkergangs umfasst und wobei wenigstens ein Verstärkerengang wenigstens ein Mittel zum Verschieben der Phase von Laserstrahlung umfasst, und das wenigstens eine Mittel zum Verschieben der

20 Phase in Abhängigkeit der Phase des Kalibrierlaserlichts des ersten Verstärkergangs und/oder des Kalibrierlaserlichts des zweiten Verstärkergangs ansteuerbar ist.

25 Die Wellenlänge der Kalibrierlaserstrahlung weicht von der Wellenlänge der Wirklaserstrahlung wenigstens in geringem Maße ab. Die Wellenlänge der Kalibrierlaserstrahlung liegt außerhalb der Verstärkerbandbreite.

Die Wirklaserquelle und die Kalibrierlaserquelle werden derart betrieben, dass die Kalibrierlaserstrahlung eine deutlich geringere Leistung umfasst als die Wirklaserstrahlung. Die Leistung der Kalibrierlaserquelle beträgt beispielsweise zwischen 1 Watt und 100 Watt. Die Leistung der Wirklaserquelle beträgt beispielsweise zwischen 100 Watt bis einige 1000 Watt. Das Wirklaserlicht und das Kalibrierlaserlicht weisen beispielsweise eine übereinstimmende Polarisierung auf. Wirklaserlicht und das Kalibrierlaserlicht können auch senkrecht zueinander polarisiert sein.

Mittels der Strahlenk- und/oder Strahlteil-Einrichtung wird in jeden Verstärkerang sowohl Wirklaserlicht als auch Kalibrierlaserlicht gelenkt und/oder aufgeteilt. Eine Strahlenk-Einrichtung ist beispielsweise ein Spiegel. Eine Strahlteil-Einrichtung ist beispielsweise ein Beamsplitter.

In dem Verstärkerang erfährt zumindest die Wirklaserstrahlung eine Verstärkung mittels der Verstärkereinrichtung. Die Verstärkereinrichtung ist in einem jeweiligen Verstärkerang beispielsweise derart ausgebildet, dass die Wirklaserstrahlung eine Verstärkung erfährt, während Kalibrierlaserstrahlung keine oder nur eine verhältnismäßig geringe Verstärkung erfährt. Dies wird beispielsweise durch eine wellenlängenabhängige Verstärkung erreicht.

Die Wellenlängen von Kalibrierlaserlicht und Wirklaserlicht unterscheiden sich. Die Wellenlängen liegen

vorteilhafterweise nahe beieinander. Damit kann sichergestellt werden, dass ein Einfluss, beispielsweise Phasenfehler, auf die Phase von Kalibrierlaserlicht und Wirklaserlicht der beiden Wellenlängen gleich bzw.

5 annähernd gleich ist. Die Wellenlänge des Wirklaserlichts beträgt beispielsweise 1035 nm bzw 1090 nm (λ_1) und die Wellenlänge des Kalibrierlaserlichts ist beispielsweise < 1035 nm oder > 1095 nm (λ_2), jedenfalls außerhalb einer Verstärkerbandbreite.

10

Wirklaserstrahlung und Kalibrierlaserstrahlung durchlaufen in jedem Verstärkerengang den gleichen optischen Weg und erfahren nun im Betrieb die gleichen Laufzeiteffekte, wie beispielsweise Längenänderung durch Temperatúrausdehnung

15 und Änderungen der Brechzahl. Dadurch erhalten beide den nahezu gleichen Phasenfehler. Die Wellenlängen der Wirklaserstrahlung und Kalibrierlaserstrahlung stehen somit in einer Phasenbeziehung.

20 Mittels des wellenlängenabhängigen Auskoppellements wird aus einem jeweiligen Verstärkerengang ein Teil der Kalibrierlaserstrahlung oder die gesamte Kalibrierlaserstrahlung ausgekoppelt. Das wellenlängenabhängige Auskoppellement ist beispielsweise
25 ein Strahlteiler. Beispielsweise wird Wirklaserlicht transmittiert und Kalibrierlaserlicht reflektiert und damit umgelenkt und ausgekoppelt.

Das ausgekoppelte Kalibrierlaserlicht wird einem Mittel beziehungsweise jeweils einem Mittel zum Bestimmen einer Phase des Kalibrierlaserlichts zugeführt. Wenn ein gemeinsames Mittel zur Phasenbestimmung, beispielsweise
5 eine zentrale Recheneinheit, verwendet wird, kann beispielsweise ein Verhältnis der Phasen der aus dem ersten Verstärkerengang ausgekoppelten Kalibrierlaserstrahlung und der aus dem zweiten Verstärkerengang ausgekoppelten Kalibrierlaserstrahlung bestimmt werden.

10

Wenn die ausgekoppelte aus dem ersten und aus dem zweiten Verstärkerengang ausgekoppelte Kalibrierlaserstrahlung einem jeweiligen Mittel zur Phasenbestimmung zugeführt wird, kann eine jeweilige Phase, insbesondere relativ zu einem
15 Referenzwert ermittelt werden.

20

Zur Phasenbestimmung können verschiedene Intensitätsbasierte Verfahren, beispielsweise Power-in-the-Bucket, PiB, oder eine Auswertung des Interferenzmusters eingesetzt werden.

25

Die Kalibrierlaserstrahlung ist anders als Wirklaserstrahlung eine leistungsunabhängige Eingangsgröße für die Intensitätsmessung, und die darauf basierende Phasenbestimmung.

30

Erfindungsgemäß ist also vorgesehen, dass eine Phasenbeziehung der Kalibrierlaserstrahlung des ersten und des zweiten Strahlengangs ermittelt wird. Diese Phasenbeziehung wird zur Abstimmung der Laserstrahlung des

ersten und des zweiten Verstärkergangs verwendet. Die Phasenbeziehung der Wirklaserstrahlung muss erfindungsgemäß nicht ermittelt werden. Da Wirklaserstrahlung und Kalibrierlaserstrahlung in jedem Verstärkergang den
5 gleichen optischen Weg durchlaufen und damit den gleichen Phasenfehler erhalten, kann von der Phasenbeziehung der Kalibrierlaserstrahlung auf die Phasenbeziehung der Wirklaserstrahlung geschlossen werden. Der Vorteil, dass zur Ermittlung der Phasenbeziehung die
10 Kalibrierlaserstrahlung und nicht die Wirklaserstrahlung verwendet wird, liegt darin, dass die Kalibrierlaserstrahlung eine deutlich geringere Leistung umfasst als die Wirklaserstrahlung. Aufgrund der geringeren Leistung kann die Kalibrierlaserquelle kontinuierlich,
15 beispielsweise auch wenn noch keine Bestrahlung des Zielobjekts mit Wirklaserstrahlung erfolgt, betrieben werden. Durch die Verwendung der Kalibrierlaserstrahlung zum Bestimmen der Phasenbeziehung werden die Anforderungen an den Regelkreis bezüglich der Messdynamik und der
20 Regeldynamik reduziert.

Weiter kann durch die Verwendung Kalibrierlaserstrahlung das Ermitteln der Phasenbeziehung und insbesondere das Erzeugen einer Phasenkopplung schon vor dem Einschalten der
25 Wirklaserquelle erfolgen.

Bei der Laserstrahlvorrichtung ist weiter vorgesehen, dass wenigstens ein Verstärkergang wenigstens ein Mittel zum Verschieben der Phase, auch Phasenschieber genannt, der
30 Laserstrahlung umfasst. Das Mittel zum Verschieben der

Phase ist in Abhängigkeit der Phase des
Kalibrierlaserlichts des ersten Verstärkergangs und/oder
des Kalibrierlaserlichts des zweiten Verstärkergangs,
insbesondere in Abhängigkeit eines Verhältnisses der beiden
5 Phasen, ansteuerbar.

Der Phasenschieber ist beispielsweise einstufig oder
zweistufig ausgebildet. Der Phasenschieber ist
beispielsweise als Piezo-Phasenschieber und/oder als EOM-
10 Phasenschieber ausgebildet. Ein Piezo-Phasenschieber wird
beispielsweise für große Phasenänderungen verwendet. Ein
EOM-Phasenschieber wird beispielsweise für kleine schnelle
Phasenänderungen verwendet.

15 Beispielsweise ist anhand der Phase oder der Phasen oder
des Verhältnisses der Phasen, insbesondere mittels einer
elektronischen Recheneinrichtung, ein Steuersignal für den
Phasenschieber bestimmbar und der Phasenschieber anhand des
Steuersignal entsprechend ansteuerbar.

20 Durch Verschieben der Phasen der Laserstrahlung mittels des
Phasenschiebers, kann die Phasenbeziehung der
Laserstrahlung des ersten Verstärkergangs und der
Laserstrahlung des zweiten Verstärkergangs derart
25 aufeinander abgestimmt werden, dass eine kohärente
Überlagerung der Laserstrahlung erreicht werden kann. Dies
kann auch als Phasenkopplung bezeichnet werden.

Es kann vorteilhaft sein, wenn ein jeweiliger
30 Verstärkergang wenigstens ein Mittel zum Verschieben der

Phase der Laserstrahlung umfasst, und ein jeweiliges Mittel in Abhängigkeit der Phase des Kalibrierlaserlichts des ersten Verstärkergangs und/oder des Kalibrierlaserlichts des zweiten Verstärkergangs ansteuerbar ist.

5

Die Abstimmung der Phasenbeziehung der Laserstrahlung des ersten Verstärkergangs und der Laserstrahlung des zweiten Verstärkergangs zum Erreichen einer kohärenten Überlagerung kann in diesem Fall durch Verschieben der Phase der
10 Laserstrahlung des ersten Verstärkergangs und der Laserstrahlung des zweiten Verstärkergangs erreicht werden.

Gemäß einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass das Auskoppellement derart angeordnet und ausgebildet ist,
15 dass wenigstens ein Teil der Kalibrierlaserstrahlung aus dem Verstärkergang auskoppelbar ist, bevor diese aus dem Verstärkergang in Richtung des Zielobjekts austritt. Dies kann auch als Auskopplung im Nahfeld oder Nahfeld-Auskopplung oder Phasenbestimmung im Nahfeld bezeichnet
20 werden. Durch geeignete Ansteuerung des Phasenschiebers beziehungsweise der Phasenschieber in Abhängigkeit der Phase des Kalibrierlaserlichts des ersten Verstärkergangs und/oder des Kalibrierlaserlichts des zweiten Verstärkergangs kann mittels der Phasenbestimmung im
25 Nahfeld eine kohärente Überlagerung an einem nahen Ziel erreicht werden.

Gemäß einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass das Auskoppellement derart ausgebildet ist, dass an dem
30 Zielobjekt reflektierte Kalibrierlaserstrahlung aus dem

Verstärkergang auskoppelbar ist. Dies kann auch als Auskopplung im Fernfeld oder Fernfeld-Auskopplung oder Phasenbestimmung im Fernfeld bezeichnet werden. Durch geeignete Ansteuerung des Phasenschiebers beziehungsweise
5 der Phasenschieber in Abhängigkeit der Phase des vom Ziel reflektierten Kalibrierlaserlichts des ersten Verstärkergangs und/oder des Kalibrierlaserlichts des zweiten Verstärkergangs kann mittels der Phasenbestimmung im Fernfeld eine kohärente Überlagerung an einem entfernten
10 Ziel erreicht werden.

Wenigstens ein Teil der Kalibrierlaserstrahlung wird von einem jeweiligen Verstärkergang, insbesondere über geeignete optische Mittel, beispielsweise ein Teleskop, auf
15 das Zielobjekt ausgerichtet. Aufgrund von Reflexionen am Zielobjekt gelangt zumindest ein kleiner Teil der Kalibrierlaserstrahlung, insbesondere über das Teleskop, in den Verstärkergang zurück.

20 Über das Auskoppellement, insbesondere ein wellenlängenabhängiges Auskoppellement, wird der reflektierte Teil der Kalibrierlaserstrahlung einer Phasenbestimmung zugeführt.

25 Bei der Phasenbestimmung im Fernfeld kommen zusätzlich zu den bereits beschriebenen Phasenänderungen in der Vorrichtung selbst, insbesondere innerhalb eines jeweiligen Verstärkergangs, noch Phasenänderungen entlang des Ausbreitungsweges, die z. B. durch Turbulenzen verursacht
30 werden, hinzu. Entlang der optischen Achse erfährt die

Kalibrierlaserstrahlung den gleichen oder zumindest nahezu den gleichen Einfluss, beispielsweise Phasenänderung, Refraktion, insbesondere durch Turbulenzen verursacht, wie die Wirklaserstrahlung. Daher kann die

5 Kalibrierlaserstrahlung auch zur Bestimmung der Phasenbeziehung im Fernfeld herangezogen werden.

Die erfindungsgemäße Bestimmung der Phasenbeziehung kann zur Bestimmung von Regelparameter zum Erreichen einer

10 kohärenten Überlagerung bereits vor dem Einschalten der Wirklaserquelle erreicht werden. Bei den aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren und Vorrichtungen können die Phasenbeziehungen und damit die Regelparameter erst mit dem Einschalten des Wirklasers ermittelt und dann korrigiert

15 werden kann. Mit dem Einschalten des Wirklasers, kann es aufgrund der hohen Intensität des Wirklasers zu einer Leuchterscheinung auf dem Ziel kommen. Auch dies kann die Ermittlung der Phasenbeziehungen und der Regelparameter bei der aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren und

20 Vorrichtungen negativ beeinflusst. Gemäß der vorliegenden Erfindung kann anhand der Phasenbestimmung im Fernfeld eine Kompensation der durch Turbulenzen verursachten Einflüssen auf die Phasen trotz der vom Wirklaser erzeugten Leuchterscheinung auf dem Ziel erreicht werden.

25 Gemäß einer Ausführungsform ist weiter vorgesehen, dass ein jeweiliger Strahlengang, wenigstens ein optisches Element, insbesondere ein Teleskop und/oder einen Tip/Tilt-Spiegel, zum Ausrichten von Laserstrahlung auf das Zielobjekt,

30 umfasst.

Es kann vorgesehen sein, dass das optische Element, insbesondere das Teleskop und/oder der Tip/Tilt-Spiegel, zusätzlich oder alternativ zum Phasenschieber, in

5 Abhängigkeit der Phase des Kalibrierlaserlichts des ersten Verstärkergangs und/oder des Kalibrierlaserlichts des zweiten Verstärkergangs, insbesondere in Abhängigkeit eines Verhältnisses der beiden Phasen, insbesondere zum Erreichen einer kohärenten Überlagerung von Wirklaserstrahlung am

10 Zielobjekt, ansteuerbar ist. In diesem Zusammenhang ist insbesondere mittels einer elektronischen Recheneinrichtung, ein Steuersignal für das Teleskop und/oder den Tip/Tilt-Spiegel bestimmbar und das Teleskop und/oder der Tip/Tilt-Spiegel anhand des Steuersignal

15 entsprechend ansteuerbar.

Es kann auch vorgesehen sein, dass ein Steuersignal für das das Teleskop und/oder den Tip/Tilt-Spiegel zusätzlich in Abhängigkeit einer Auswertung einer visuellen Erfassung das

20 Laserstrahlung im Ziel bestimmbar ist. In diesem Fall ist beispielsweise ein entsprechender optischer Sensor zur Erfassung der Laserstrahlung im Ziel, beispielsweise eine Kamera vorgesehen. Das Teleskop und/oder der Tip/Tilt-Spiegel eines jeweiligen Verstärkergangs können dann

25 beispielweise so angesteuert werden, dass die Laserstrahlung im Ziel in einem Punkt überlagert wird.

Es kann auch vorgesehen sein, dass ein jeweiliger oder wenigstens ein Verstärkergang ein Auskoppелеlement für die

Nahfeld-Auskopplung und ein Auskoppелеlement für die Fernfeld-Auskopplung umfasst.

- Es kann auch vorgesehen sein, dass ein Auskoppелеlement
- 5 sowohl für die Nahfeld- als auch für die Fernfeld-Auskopplung ausgebildet ist. Beispielsweise kann bei einem solchen Auskoppелеlement zwischen Nahfeld- und Fernfeld-Auskopplung umgeschaltet werden.
- 10 Die Laserstrahlvorrichtung ist vorteilhafterweise dazu ausgebildet, ein Kalibrieren der Phasenbeziehung der Wellenlänge λ_1 des Wirklaserlichts und der Wellenlänge λ_2 des Kalibrierlaserlichts durchzuführen.
- 15 Gemäß einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Laserstrahlvorrichtung wenigstens eine Strahlkombinierer-Einrichtung zum Kombinieren der Kalibrierlaserstrahlung mit der Wirklaserstrahlung umfasst, wobei die Strahlkombinierer-Einrichtung derart angeordnet ist, dass
- 20 das Kombinieren vor dem Aufteilen und/oder Umlenken der Wirk- und/oder Kalibrierlaserstrahlung in die wenigstens zwei Verstärkergänge erfolgt.

- Gemäß einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass die
- 25 Laserstrahlvorrichtung eine Modulationseinrichtung zum Modulieren der Kalibrierlaserstrahlung, insbesondere zum Modulieren einer Amplitude, umfasst. Die Modulation der Amplitude erfolgt beispielsweise in Form von cw- Modulation oder gepulst. Die Art der Modulation kann beispielsweise in

Abhängigkeit einer Betriebsart der Laserstrahlvorrichtung auch variiert werden. Die Modulationseinrichtung ist beispielsweise vor der Strahlkombinierer-Einrichtung angeordnet. Die Modulationseinrichtung ist beispielsweise steuerbar. Die Kalibrierlaserstrahlung kann moduliert werden, ohne die Dynamik der Wirklaserstrahlung zu beeinflussen.

Die Modulationseinrichtung kann beispielsweise in Kombination mit bestimmten Empfängern, insbesondere Empfangsverfahren, die zur Phasenbestimmung verwendet werden können und/oder Teil eines Mittels zur Phasenbestimmung sind, verwendet werden. Beispielhafte Mittel, insbesondere Empfangsverfahren, sind Lockin-Verstärker, Homodyn-Empfänger oder Heterodyn-Empfänger. In Kombination mit der Modulation der Kalibrierlaserstrahlung kann ein Signal-zu-Rauschverhältnis, SNR, verbessert und damit die Phasenbestimmung verbessert, beispielsweise beschleunigt und/oder präzisiert, werden.

Durch Modulation der Kalibrierlaserstrahlung kann auch beim Bestimmen der Phasenbeziehung im Fernfeld das Signal-zu-Rauschverhältnis verbessert werden, indem beispielsweise durch geeignete Modulation der Kalibrierlaserstrahlung, der Einfluss der durch die Wirklaserstrahlung erzeugte Leuchterscheinung am Zielobjekt auf die Kalibrierlaserstrahlung reduziert wird.

Weitere Ausführungsformen betreffen ein Verfahren zum Betreiben einer Laserstrahlvorrichtung gemäß den vorstehend

beschriebenen Ausführungsformen. Das Verfahren umfasst wenigstens die folgenden Schritte: Erzeugen von Kalibrierlaserstrahlung und Lenken und/oder Aufteilen wenigstens eines Teils der erzeugten

- 5 Kalibrierlaserstrahlung in wenigstens einen ersten und in wenigstens einen zweiten Verstärkerang, wobei in einem jeweiligen Verstärkerang wenigstens ein Teil der Kalibrierlaserstrahlung mittels eines wellenlängenabhängigen Auskoppellement ausgekoppelt wird;
- 10 Bestimmen einer Phase des Kalibrierlaserlichts des ersten Verstärkerangs und/oder des Kalibrierlaserlichts des zweiten Verstärkerangs, und in Abhängigkeit der Phase des Kalibrierlaserlichts des ersten Verstärkerangs und/oder des Kalibrierlaserlichts des zweiten Verstärkerangs
- 15 Ansteuern von wenigstens einem Mittel zum Verschieben der Phase von Laserstrahlung.

- Gemäß einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass das Verfahren das Aussenden von Wirklaserstrahlung umfasst und
- 20 dass das wenigstens eine Mittel zum Verschieben der Phase der Laserstrahlung derart angesteuert wird, dass beim Aussenden von Wirklaserstrahlung eine kohärente Überlagerung der Wirklaserstrahlung erreicht wird.

- Gemäß einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass die
- 25 Laserstrahlvorrichtung zumindest zeitweise so betrieben wird, dass nur Kalibrierlaserstrahlung ausgesendet wird. Dabei handelt es sich beispielsweise um einen Konfigurationsbetrieb. Im Konfigurationsbetrieb wird noch keine Wirklaserstrahlung, sondern nur

Kalibrierlaserstrahlung ausgesendet. Die Mittel zum Verschieben der Phase der Laserstrahlung können aber bereits derart angesteuert werden, dass unmittelbar beim Einschalten der Wirklaserquelle eine kohärente Überlagerung
5 der von den Verstärkergängen ausgestrahlten Wirklaserstrahlen erreicht werden kann.

Gemäß einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Laserstrahlvorrichtung zumindest zeitweise so betrieben
10 wird, dass Kalibrierlaserstrahlung und Wirklaserstrahlung gleichzeitig ausgesendet wird. Dies ist beispielsweise ein, insbesondere bestimmungsgemäßer, Normalbetrieb. Der Normalbetrieb schließt sich beispielsweise an einen Konfigurationsbetrieb an.

15
Gemäß einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass das Verfahren einen Schritt zum Modulieren des Kalibrierlaserlichts umfasst. Dies erfolgt beispielsweise mittels einer insbesondere steuerbaren
20 Modulationseinrichtung. Die Kalibrierlaserstrahlung kann vorteilhafterweise moduliert werden, ohne die Dynamik der Wirklaserstrahlung zu beeinflussen. Die Modulation der Amplitude erfolgt beispielsweise in Form von cw- Modulation oder gepulst. Die Art der Modulation kann beispielsweise in
25 Abhängigkeit einer Betriebsart auch variiert werden. Beispielsweise erfolgt die Modulation zu Beginn des Betriebs, beispielsweise während eines Konfigurationsbetriebs, zum Längenabgleich gepulst. Beispielsweise erfolgt die Modulation anschließend im

Betrieb, beispielsweise während eines Normalbetriebs, in Form von cw-Modulation.

Das Modulieren des Kalibrierlaserlichts kann beispielsweise
5 in Kombination mit Empfangsverfahren, die zur
Phasenbestimmung verwendet werden können, verwendet werden.
Beispielhafte Empfangsverfahren, sind Lockin-Verstärkung,
Homodyn-Empfang oder Heterodyn-Empfang. In Kombination mit
der Modulation der Kalibrierlaserstrahlung kann ein Signal-
10 zu-Rauschverhältnis, SNR, verbessert und damit die
Phasenbestimmung verbessert, beispielsweise beschleunigt
und/oder präzisiert, werden.

Gemäß einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass das
15 Verfahren einen Schritt zum Kalibrieren der Phasenbeziehung
der Wellenlänge λ_1 des Wirklaserlichts und der Wellenlänge
 λ_2 des Kalibrierlaserlichts umfasst. Das Kalibrieren, auch
als Kalibriervorgangs bezeichnet, umfasst das Ermitteln und
gegebenenfalls Einstellen der Phasenbeziehung. Dies erfolgt
20 beispielsweise mittels dem Mittel bzw. den Mitteln zu
Phasenbestimmung, beispielsweise separat für einen
jeweiligen Verstärkerengang oder auch gemeinsam für zwei oder
mehr Verstärkergänge.

25 Zum Kalibrieren der Phasenbeziehung wird mittels einem
Auskoppelement ein Teil der Kalibrierlaserstrahlung und
ein Teil der Wirklaserstrahlung aus dem Verstärkerengang
ausgekoppelt.

Das Auskoppелеlement ist beispielsweise ein schaltbares wellenlängenabhängiges Auskoppелеlement, beispielsweise ein Strahlteiler. Beispielsweise kann das Auskoppелеlement umgeschaltet werden, zwischen einem Schaltzustand in dem
5 nur Kalibrierlaserlicht ausgekoppelt wird und zwischen einem Schaltzustand, in dem Kalibrierlaserlicht und Wirklaserlicht ausgekoppelt wird.

Das ausgekoppelte Kalibrier- und Wirklaserlicht wird dem
10 Mittel zum Bestimmen der Phasenbeziehung zugeführt.

In Abhängigkeit der ermittelten Phasenbeziehung kann, insbesondere mittels einer elektronischen Recheneinrichtung, ein Steuersignal für einen jeweiligen
15 Phasenschieber bestimmt werden und ein jeweiliger Phasenschieber anhand des Steuersignal entsprechend angesteuert werden. Dadurch kann die Phasenbeziehung der Wellenlänge λ_1 des Wirklaserlichts und der Wellenlänge λ_2 für einen jeweiligen Verstärkergang entsprechend
20 eingestellt werden. Die Einstellung der Phasenbeziehung erfolgt vorteilhafterweise derart, dass die Wellenlängen λ_1 des Wirklaserlichts aller Verstärkergänge kohärent überlagert werden.

25 Es kann vorgesehen sein, dass das Kalibrieren zu Beginn des Verfahrens zum Betreiben der Laserstrahlvorrichtung durchgeführt wird.

Vorteilhafterweise ist vorgesehen, dass das Kalibrieren zur Laufzeit des Verfahrens zum Betreiben der Laserstrahlvorrichtung wiederholt durchgeführt wird. Das Kalibrieren kann beispielsweise in vorgebbaren
5 Zeitintervallen wiederholt werden. Es kann auch vorgesehen sein, das Kalibrieren nach einer bestimmten Anzahl von durchgeführten Wellenlängenhüben zu wiederholen.

Beispielsweisen kann ein zulässiger Phasenfehler,
10 beispielsweise $< \frac{\lambda_1}{10}$ festgelegt werden. Der Phasenunterschied Δ wird bestimmt über $\Delta = |n * \lambda_1 - n * \lambda_2|$ in Abhängigkeit von λ_1 und λ_2 , so dass ein zulässige Anzahl n von richtungsabhängigen Wellenlängenhüben bestimmt werden kann. Wird die zulässige Anzahl n der Wellenlängenhübe
15 erreicht oder überschritten, wird die Kalibrierung erneut durchgeführt.

Es kann vorteilhaft sein, wenn die Leistung des Wirklaserlichts während des Kalibriervorgangs reduziert
20 wird. 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
25 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 Laserstrahlvorrichtung gemäß einer ersten
5 Ausführungsform;
- Fig. 2 eine Laserstrahlvorrichtung gemäß einer weiteren
 Ausführungsform;
- 10 Fig. 3 ein Verfahren zum Betreiben einer
 Laserstrahlvorrichtung gemäß den Fig. 1 oder 2
 oder 4 oder 5;
- Fig. 4 eine Laserstrahlvorrichtung gemäß einer weiteren
15 Ausführungsform, und
- Fig. 5 eine Laserstrahlvorrichtung gemäß einer weiteren
 Ausführungsform.

Fig. 1 zeigt eine Laserstrahlvorrichtung, die in ihrer
20 Gesamtheit mit dem Bezugszeichen 10 gekennzeichnet ist. Die
Laserstrahlvorrichtung 10 ist beispielsweise dazu
ausgebildet und kann beispielsweise derart betrieben
werden, dass ein Zielobjekt (in den Figuren nicht
dargestellt), insbesondere ein weit entferntes Zielobjekt,
25 beispielsweise zwischen 10 m, insbesondere 50 m, bis 1000m
oder auch mehr, mit Laserstrahlung, insbesondere
Wirklaserstrahlung bestrahlt werden kann.
Die Laserstrahlvorrichtung ist beispielsweise eine
Laserwaffe bzw. ein Laserwaffensystem.

Laserwaffen bzw. Laserwaffensysteme werden beispielsweise zum Schutz von Objekten, beweglicher oder stationärer Art. Eine Laserwaffe bzw. ein Laserwaffensystem kann einen oder mehrere HEL, Hochenergielaser,-Effektoren umfassen. Mehrere
5 HEL-Effektoren können gleichzeitig auf ein Zielobjekt oder auf mehrere Zielobjekte ausgerichtet werden.

Darunter können statische Zielobjekte, wie Minen, IED (Improvised Explosive Devices) etc., aber auch dynamische
10 Ziele, wie beispielsweise Raketen, Artilleriegeschosse oder RAM-Geschosse etc., fallen. Diese Ziele werden dann im Rahmen der Abwehr der Bedrohung zerstört und/oder vernichtet. Insbesondere kleine Ziele (Low, Slow & Small = LSS Ziele) können durch ein derartiges Waffensystem
15 einfacher zerstört oder vernichtet werden. Unter LSS-Ziele fallen auch so genannte UAV (Unmanned Air Vehicle), wie Drohnen, die häufig missbräuchlich zum Transport von Sprengstoffen genutzt werden.

20

Zu den Schlüsselkomponenten eines HEL-Effektors gehören eine Laserquelle und ein Strahlführungssystem. In dem Strahlführungssystem können Unterbaugruppen wie Feinimagingsystem (FIS), Feintrackingsystem (FTS), Teleskop
25 und, falls notwendig, zumindest eine adaptive Optik (AO) untergebracht sein. Bekannte Laserquellen sind Gaslaser, wie CO₂ Laser, sowie Festkörperlaser, wie Diodenlaser, Faserlaser etc.

HEL-Effektoren können, wie andere Waffensysteme, auf einer festen oder beweglichen Plattform lafettiert werden. Als Plattform werden hierbei auch Waffenstationen bezeichnet. Diese Plattformen können ihrerseits auf stationären
5 Objekten (z.B. Häuser, Bunker, Container, etc.) oder beweglichen Objekten (z.B. Fahrzeuge zu Land, Luft und See, Container, etc.) angebracht sein.

Das Ausrichten eines Hochenergie-Laserstrahls auf ein Ziel
10 im militärischen Umfeld stellt eine große technische Herausforderung dar. Das betrifft die Übertragung von hohen Laserleistungen (hohe Laserdichte) mittels optischen Systemen, wie Spiegel, Linsen. Auch bestehen hohe Anforderungen an die Track-Genauigkeit bzw. Zielverfolgung
15 sowie die Fokussierung auf ein sich bewegendes Ziel z.B. mittels Teleskop. Ein weiteres Problem stellt die Kompensation der Störungen durch die Atmosphäre dar. Zudem stellen hohe Umweltbelastungen, wie Schock, Vibration, Temperatur und EMV für das gesamte Übertragungssystem sowie
20 die Verfolgung der Wirkung im Ziel in Echtzeit den Fachmann vor diverse komplexe Aufgaben.

Die vorliegende Erfindung beschäftigt sich mit der Herausforderung eine kohärente Überlagerung von
25 verschiedenen Verstärkergängen ausgestrahlten Wirklaserstrahlen zu erreichen. Dies wird im Folgenden anhand der Figuren erläutert.

Die Laserstrahlvorrichtung 10 umfasst eine Wirklaserquelle
30 12 zum Erzeugen von Wirklaserstrahlung. Die

Wirklaserstrahlung ist in Figur 1 als gepunktete Linie dargestellt und mit λ_1 bezeichnet. Die Wellenlänge der Wirklaserstrahlung beträgt beispielsweise $\lambda_1 = 1040$ nm. Bei der Wirklaserquelle 12 handelt es sich um einen
5 Hochleistungslaser.

Gemäß der dargestellten Ausführungsform wird die von der Wirklaserquelle 12 erzeugte Wirklaserstrahlung mittels einer Strahlenk- und/oder Strahlteil-Einrichtung 14
10 wenigstens teilweise in einen ersten Verstärkerang 16-1 und wenigstens teilweise in einen zweiten Verstärkerang 16-2 gelenkt und/oder aufgeteilt. Die Darstellung in den Figuren ist lediglich beispielhaft. Es kann beispielsweise vorteilhaft sein mehr als zwei Verstärkergänge,
15 beispielsweise zwischen zwei bis zehn, oder auch zwanzig oder mehr Verstärkerängen zu verwenden.

Ein jeweiliger Verstärkerang 16-1, 16-2 umfasst eine Verstärkereinrichtung 18 zum Verstärken der
20 Wirklaserstrahlung. Die Verstärkereinrichtung 18 verstärkt beispielsweise wellenlängenabhängig in Abhängigkeit der Wellenlänge λ_1 .

Vorteilhafterweise ist die Laserstrahlvorrichtung 10 dazu
25 ausgebildet und kann derart betrieben werden, dass das Zielobjekt zumindest zeitweise gleichzeitig mit einem von dem ersten Verstärkerang 16-1 ausgehenden Wirklaserstrahl und einem von dem zweiten Verstärkerang 16-2 ausgehenden Wirklaserstrahl bestrahlt wird.

Die Laserstrahlvorrichtung 10 kann auch mehr als zwei Verstärkergänge 16-1, 16-2 umfassen.

Um das Zielobjekt möglichst effektiv zu bestrahlen, soll
5 möglichst eine kohärente Überlagerung der von den Verstärkergängen 16-1, 16-2 ausgestrahlten Wirklaserstrahlen erreicht werden. Dies wird im Folgenden erläutert.

10 Gemäß der Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Laserstrahlvorrichtung 10 eine Kalibrierlaserquelle 20 zum Erzeugen von Kalibrierlaserstrahlung umfasst. Die Kalibrierlaserquelle 20 und die Wirklaserquelle 12 sind
15 derart ausgebildet, dass eine Wellenlänge λ_2 der Kalibrierlaserstrahlung von der Wellenlänge λ_1 der Wirklaserstrahlung abweicht. Die Kalibrierlaserstrahlung ist in Figur 1 als durchgezogene Linie dargestellt und mit λ_2 bezeichnet. Die Wellenlänge der Kalibrierlaserstrahlung λ_2 kann größer oder kleiner als λ_1 sein. Vorzugsweise liegt
20 λ_2 außerhalb der Verstärkerbandbreite des jeweiligen Lasersystems, beispielsweise bei λ_1 1040 nm Verstärker ist $\lambda_2 < 1030$ nm bzw. λ_1 1085 nm $\lambda_2 > 1090$ nm).
Gemäß der Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Laserstrahlvorrichtung 10 wenigstens eine
25 Strahlkombinierer-Einrichtung 22 zum Kombinieren der Kalibrierlaserstrahlung mit der Wirklaserstrahlung umfasst. Die Strahlkombinierer-Einrichtung 22 ist derart angeordnet ist, dass das Kombinieren vor dem Aufteilen und/oder Umlenken der kombinierten Wirk- und/oder

Kalibrierlaserstrahlung in die wenigstens zwei Verstärkergänge 16-1, 16-2 erfolgt.

Die kombinierte Wirk- und/oder Kalibrierlaserstrahlung ist
5 in Fig. 1 als strichpunktierte Linie dargestellt und mit λ_1
+ λ_2 bezeichnet.

Mittels der Strahlenk- und/oder Strahlteil-Einrichtung 14
wird schließlich die kombinierte Wirk- und/oder
10 Kalibrierlaserstrahlung, und damit wenigstens ein Teil der
von der Kalibrierlaserquelle erzeugten
Kalibrierlaserstrahlung, jeweils in den ersten und in den
zweiten Verstärkergang 16-1, 16-2 gelenkt.

15 Die Kalibrierlaserstrahlung erfährt durch die
Verstärkereinrichtung 18 keine oder nur eine
verhältnismäßig geringe Verstärkung, da die Verstärkung
wellenlängenabhängig beispielsweise in Abhängigkeit der
Wellenlänge λ_1 , erfolgt.

20 Gemäß der Ausführungsform ist vorgesehen, dass ein
jeweiliger Verstärkergang 16-1, 16-2 ein
wellenlängenabhängiges Auskoppellement 24 zum Auskoppeln
wenigstens eines Teils des Kalibrierlaserlichts umfasst.

25 Gemäß der in Fig. 1 dargestellten Ausführungsform ist das
Auskoppellement 24, auch 24-1 bezeichnet, derart
angeordnet und ausgebildet, dass wenigstens eines Teils der
Kalibrierlaserstrahlung aus dem jeweiligen Verstärkergang

16-1, 16-2 auskoppelbar ist, bevor diese aus dem Verstärkerang in Richtung des Zielobjekts austritt.

Dies kann auch als Auskopplung im Nahfeld oder Nahfeld-
5 Auskopplung, insbesondere zur Phasenbestimmung im Nahfeld, bezeichnet werden.

Die Laserstrahlvorrichtung 10 umfasst Mittel 26 zum Bestimmen einer Phase des Kalibrierlaserlichts des ersten Verstärkerangs 16-1 und/oder des Kalibrierlaserlichts des zweiten Verstärkerangs 16-2. Gemäß der dargestellten Ausführungsform wird sowohl die aus dem ersten als auch die aus dem zweiten Verstärkerang 16-1, 16-2 ausgekoppelte Kalibrierlaserstrahlung einem jeweiligen Mittel 26 zur
15 Phasenbestimmung zugeführt. Eine jeweilige Phase wird beispielsweise relativ zu einem Referenzwert ermittelt. Als Referenzwert wird dem Mittel 26 zu Phasenbestimmung beispielsweise ein Referenzsignal von einem Ausgang an den mit 14 oder 30 beschrifteten Elementen zugeführt.

20 Alternativ könnte auch ein gemeinsames Mittel 26', vergleiche die gepunktete Umrandung in den Figuren 1 und 2, zur Phasenbestimmung verwendet und dementsprechend beispielsweise ein Verhältnis der Phasen der aus dem ersten Verstärkerang 16-1 ausgekoppelten Kalibrierlaserstrahlung und der aus dem zweiten Verstärkerang 16-2 ausgekoppelten Kalibrierlaserstrahlung bestimmt werden.

Gemäß der dargestellten Ausführungsform umfasst ein
30 jeweiliger Verstärkerang 16-1, 16-2 Mittel 28 zum

Verschieben der Phase von Laserstrahlung. Bei einem Mittel 28 zum Verschieben der Phase der Laserstrahlung handelt es sich um einen Phasenschieber.

- 5 Die Phasenschieber 28 sind in Abhängigkeit der Phase des Kalibrierlaserlichts des ersten Verstärkergangs 16-1 und/oder in Abhängigkeit der Phase des Kalibrierlaserlichts des zweiten Verstärkergangs 16-2 ansteuerbar. Beispielsweise ist der Phasenschieber 28 des ersten
- 10 Verstärkergangs 16-1 in Abhängigkeit der Phase des Kalibrierlaserlichts des ersten Verstärkergangs 16-1 und der Phasenschieber 28 des zweiten Verstärkergangs 16-2 in Abhängigkeit der Phase des Kalibrierlaserlichts des zweiten Verstärkergangs 16-2 ansteuerbar.
- 15 Beispielsweise ist anhand der Phase oder der Phasen oder des Verhältnisses der Phasen, insbesondere mittels einer elektronischen Recheneinrichtung, ein Steuersignal für einen jeweiligen Phasenschieber bestimmbar und ein
- 20 jeweiliger Phasenschieber anhand des Steuersignal entsprechend ansteuerbar. Die Recheneinrichtung zum Bestimmen des Steuersignals ist in Fig. 1 nicht explizit dargestellt.
- 25 Durch Modulation der Phasen der Laserstrahlung mittels der Phasenschieber 28, kann die Phasenbeziehung der Laserstrahlung des ersten Verstärkergangs 16-1 und der Laserstrahlung des zweiten Verstärkergangs 16-2 derart aufeinander abgestimmt werden, dass eine kohärente
- 30 Überlagerung der Laserstrahlung erreicht werden kann. Dies

kann auch als Phasenkopplung bezeichnet werden. Gemäß der in Fig. 1 dargestellten Ausführungsform kann mittels der Phasenbestimmung im Nahfeld eine kohärente Überlagerung an einem nahen Ziel erreicht werden.

5

Gemäß der Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Laserstrahlvorrichtung 10 eine Modulationseinrichtung 30 zum Modulieren der Kalibrierlaserstrahlung, insbesondere zum Modulieren einer Amplitude der Kalibrierlaserstrahlung, umfasst. Die Modulationseinrichtung 30 ist beispielsweise vor der Strahlkombinierer-Einrichtung angeordnet. Die Modulationseinrichtung 30 ist beispielsweise steuerbar. Die Kalibrierlaserstrahlung kann moduliert werden, ohne die Dynamik der Wirklaserstrahlung zu beeinflussen. In Kombination mit der Modulation der Kalibrierlaserstrahlung kann ein Signal-zu-Rauschverhältnis, SNR, verbessert und damit die Phasenbestimmung verbessert, beispielsweise beschleunigt und/oder präzisiert, werden.

20 Fig. 2 zeigt eine weitere Ausführungsform eine Laserstrahlvorrichtung 10.

Gemäß der dargestellten Ausführungsform ist vorgesehen, dass das Auskoppellement 24, auch 24-2 bezeichnet, derart ausgebildet ist, dass an dem Zielobjekt reflektierte Kalibrierlaserstrahlung aus dem jeweiligen Verstärkerang 16-1, 16-2 auskoppelbar ist. Dies kann auch als Auskopplung im Fernfeld oder Fernfeld-Auskopplung, insbesondere zur Phasenbestimmung im Fernfeld, bezeichnet werden.

30

- Wenigstens ein Teil der Kalibrierlaserstrahlung wird von einem jeweiligen Verstärker gang 16-1, 16-2, insbesondere über geeignete optische Mittel, beispielsweise ein Teleskop 32 und/oder ein Tip/Tilt-Spiegel 34, auf das Zielobjekt
- 5 ausgerichtet. Aufgrund von Reflexionen am Zielobjekt gelangt zumindest ein kleiner Teil der Kalibrierlaserstrahlung, insbesondere über das Teleskop 32, in den jeweiligen Verstärker gang 16-1, 16-2 zurück.
- 10 Über das Auskoppel element 24, 24-2, insbesondere ein wellenlängenabhängiges Auskoppel element 24, 24-2, wird der reflektierte Teil der Kalibrierlaserstrahlung einer Phasenbestimmung 26 zugeführt.
- 15 Entlang der optischen Achse erfährt die Kalibrierlaserstrahlung den gleichen oder zumindest nahezu den gleichen Einfluss, beispielsweise Phasenänderung, Refraktion, wie die Wirk laserstrahlung. Daher kann die Kalibrierlaserstrahlung auch zur Bestimmung der
- 20 Phasenbeziehung im Fernfeld herangezogen werden.
- Durch geeignete Ansteuerung des Phasenschiebers 28 beziehungsweise der Phasenschieber in Abhängigkeit der Phase des Kalibrierlaserlichts des ersten Verstärker gangs
- 25 16-1 und/oder des Kalibrierlaserlichts des zweiten Verstärker gangs 16-2 kann mittels der Phasenbestimmung im Fernfeld eine kohärente Überlagerung an einem entfernten Ziel erreicht werden.

Es kann weiter vorgesehen sein, dass die optischen Elemente, insbesondere das Teleskop 32 und/oder der Tip/Tilt-Spiegel 34, zusätzlich oder alternativ zum Phasenschieber 28, in Abhängigkeit der Phase des

5 Kalibrierlaserlichts des ersten Verstärkergangs 16-1 und/oder des Kalibrierlaserlichts des zweiten Verstärkergangs 16-2, insbesondere in Abhängigkeit eines Verhältnisses der beiden Phasen, insbesondere zum Erreichen einer kohärenten Überlagerung von Wirklaserstrahlung am

10 Zielobjekt, ansteuerbar sind.

Anhand der Fig. 3 wird ein beispielhaftes Verfahren 300 zum Betreiben einer Laserstrahlvorrichtung 10 erläutert.

15 Das Verfahren 300 umfasst wenigstens die folgenden Schritte:

einen Schritt 310 zum Erzeugen und Aussenden von Kalibrierlaserstrahlung, insbesondere mittels einer

20 Kalibrierlaserquelle 20 und Lenken und/oder Aufteilen wenigstens eines Teils der erzeugten Kalibrierlaserstrahlung in wenigstens einen ersten und in wenigstens einen zweiten Verstärkergang 16-1, 16-2, insbesondere mittels einer Strahlenk- und/oder Strahlteil-

25 Einrichtung 14,

einen Schritt 320 zum Auskoppeln wenigstens eines Teils der Kalibrierlaserstrahlung aus einem jeweiligen Verstärkergang 16-1, 16-2, insbesondere mittels eines

30 wellenlängenabhängigen Auskoppелеlement,

einen Schritt 330 zum Bestimmen einer Phase des
Kalibrierlaserlichts des ersten Verstärkergangs 16-1
und/oder des Kalibrierlaserlichts des zweiten
5 Verstärkergangs 16-2,

und einen Schritt 340 zum Ansteuern von wenigstens einem
Mittel 28 zum Verschieben der Phase von Laserstrahlung in
Abhängigkeit der Phase des Kalibrierlaserlichts des ersten
10 Verstärkergangs 16-1 und/oder des Kalibrierlaserlichts des
zweiten Verstärkergangs 16-2. Der Schritt 340 kann
alternativ oder zusätzlich auch das Ansteuern von optischen
Elementen, insbesondere Teleskop 32 und/oder Tip/Tilt-
Spiegel 34, insbesondere eine Ausrichtung dieser Elemente
15 zusätzlich oder alternativ zum Phasenschieber 28 umfassen.
In diesem Zusammenhang wird insbesondere mittels einer
elektronischen Recheneinrichtung, ein Steuersignal für den
Phasenschieber 28 und/oder für das Teleskop 32 und/oder den
Tip/Tilt-Spiegel 34 bestimmt und der Phasenschieber 28
20 und/oder das Teleskop 32 und/oder der Tip/Tilt-Spiegel 34
anhand des Steuersignal entsprechend angesteuert.

Das Verfahren 300 kann weiter einen Schritt 350 zum
Aussenden von Wirklaserstrahlung, insbesondere mittels
25 einer Wirklaserquelle 12 umfassen. Im Schritt 340 wird das
wenigstens eine Mittel 28 zum Verschieben der Phase der
Laserstrahlung vorteilhafterweise derart angesteuert wird,
dass beim Aussenden 350 von Wirklaserstrahlung eine
kohärente Überlagerung der von den wenigstens zwei

Verstärkergängen 16-1, 16-2 ausgestrahlten
Wirklaserstrahlen erreicht wird.

Gemäß einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass die
5 Laserstrahlvorrichtung 10 zumindest zeitweise so betrieben
wird, dass nur Kalibrierlaserstrahlung ausgesendet wird.
Dabei handelt es sich beispielsweise um einen
Konfigurationsbetrieb 300a. Im Konfigurationsbetrieb 300a
wird noch keine Wirklaserstrahlung, sondern nur
10 Kalibrierlaserstrahlung ausgesendet. Der
Konfigurationsbetrieb 300a umfasst beispielsweise die
Schritte 310, 320, 330, 340.

Die Mittel 28 zum Verschieben der Phase der Laserstrahlung
15 können aber gemäß Schritt 340 bereits derart angesteuert
werden, dass mit einem späteren Einschalten der
Wirklaserquelle 12 unmittelbar eine kohärente Überlagerung
der von den wenigstens zwei Verstärkergängen 16-1, 16-2
ausgestrahlten Wirklaserstrahlen erreicht werden erreicht
20 werden kann.

Gemäß einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass die
Laserstrahlvorrichtung 10 zumindest zeitweise so betrieben
wird, dass Kalibrierlaserstrahlung und Wirklaserstrahlung
25 gleichzeitig ausgesendet wird. Dies ist beispielsweise ein,
insbesondere bestimmungsgemäßer, Normalbetrieb 300b. Der
Normalbetrieb 300b schließt sich beispielsweise an einen
Konfigurationsbetrieb 300a an. Im Normalbetrieb 300b werden
beispielsweise die Schritte 310, 320, 330, 340 und 350
30 ausgeführt.

Gemäß einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass das Verfahren einen Schritt 360 zum Modulieren des Kalibrierlaserlichts umfasst. Der Schritt 360 kann
5 beispielsweise sowohl im Konfigurationsbetrieb 300a als auch im Normalbetrieb 300b durchgeführt werden.

Die dargestellte Reihenfolge der Schritte ist beispielhaft. Die Schritte können auch in einer anderen Reihenfolge
10 und/oder zumindest teilweise auch parallel ausgeführt werden.

Gemäß einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Laservorrichtung 10 zum Ausführen eines Kalibriervorgangs
15 ausgebildet ist.

Dementsprechend kann das Verfahren 300 einen Schritt zum Durchführen des Kalibriervorgangs umfassen. Der Kalibriervorgang ist im Beispiel als Schritt 370
20 dargestellt.

Der Kalibriervorgang kann zu Beginn des Betriebs und während des Betriebes der Laservorrichtung wiederholt durchgeführt werden.
25

Das Kalibrieren wird beispielsweise anhand der Figuren 4 und 5 erläutert.

Der Kalibriervorgang umfasst das Kalibrieren der
Phasenbeziehung der Wellenlänge λ_1 des Wirklaserlichts und
der Wellenlänge λ_2 des Kalibrierlaserlichts. Das
Kalibrieren umfasst das Ermitteln und gegebenenfalls
5 Einstellen der Phasenbeziehung.

Zum Kalibrieren der Phasenbeziehung wird mittels einem
Auskoppelement ein Teil der Kalibrierlaserstrahlung und
ein Teil der Wirklaserstrahlung aus dem Verstärkerang
10 ausgekoppelt. Bei dem Auskoppelement handelt es sich
beispielsweise um das wellenlängenabhängiges
Auskoppelement 24, 24-1, 24-2. Das Auskoppelement 24,
24-1, 24-2 ist beispielsweise ein schaltbares
wellenlängenabhängiges Auskoppelement ausgebildet.
15 Beispielsweise kann das Auskoppelement umgeschaltet
werden, zwischen einem Schaltzustand in dem nur
Kalibrierlaserlicht ausgekoppelt wird und zwischen einem
Schaltzustand, in dem Kalibrierlaserlicht und
Wirklaserlicht ausgekoppelt wird.

20 Zum Ermitteln der Phasenbeziehung wird Kalibrierlaserlicht
und Wirklaserlicht aus einem jeweiligen Verstärkerang
ausgekoppelt und dem Mittel 26, 26' bzw. den Mitteln 26 zu
Phasenbestimmung zugeführt. Das Ermitteln der
25 Phasenbeziehung von Kalibrierlaserlicht und Wirklaserlicht
kann erfolgt beispielsweise separat für einen jeweiligen
Verstärkerang oder auch gemeinsam für zwei oder mehr
Verstärkergänge.

In Abhängigkeit der ermittelten Phasenbeziehung kann, insbesondere mittels einer elektronischen Recheneinrichtung, ein Steuersignal für einen jeweiligen Phasenschieber 28 bestimmt werden und ein jeweiliger
5 Phasenschieber 28 anhand des Steuersignal entsprechend angesteuert werden. Dadurch kann die Phasenbeziehung der Wellenlänge λ_1 des Wirklaserlichts und der Wellenlänge λ_2 für einen jeweiligen Verstärkerangang entsprechend eingestellt werden. Die Einstellung der Phasenbeziehung
10 erfolgt vorteilhafterweise derart, dass die Wellenlängen λ_1 des Wirklaserlichts aller Verstärkergänge kohärent überlagert werden.

Es kann vorgesehen sein, dass das Kalibrieren zu Beginn des
15 Verfahrens zum Betreiben der Laserstrahlvorrichtung durchgeführt wird.

Vorteilhafterweise ist vorgesehen, dass das Kalibrieren zur Laufzeit des Verfahrens zum Betreiben der
20 Laserstrahlvorrichtung wiederholt durchgeführt wird. Das Kalibrieren kann beispielsweise in vorgebbaren Zeitintervallen wiederholt werden. Es kann auch vorgesehen sein, das Kalibrieren in eine bestimmten Anzahl von durchgeführten Wellenlängenhüben zu wiederholen.

25

Beispielsweisen kann ein zulässiger Phasenfehler, beispielsweise $< \frac{\lambda_1}{10}$ festgelegt werden. Der Phasenunterschied Δ wird bestimmt über $\Delta = |n * \lambda_1 - n * \lambda_2|$ in Abhängigkeit von λ_1 und λ_2 , so dass ein zulässige Anzahl n

von richtungsabhängigen Wellenlängenhuben bestimmt werden kann. Wird die zulässige Anzahl n der Wellenlängenhuben erreicht oder überschritten, kann die Kalibrierung erneut durchgeführt.

5

Es kann vorteilhaft sein, wenn die Leistung des Wirklaserlichts während des Kalibriervorgangs reduziert wird.

Patentansprüche

1. Laserstrahlvorrichtung (10) zum Bestrahlen eines
5 Zielobjekts mit Wirklaserstrahlung, wobei die
Laserstrahlvorrichtung (10) eine Strahlenk- und/oder
Strahlteil-Einrichtung (14) zum Lenken und/oder
Aufteilen wenigstens eines Teils von einer
Wirklaserquelle (12) erzeugten Wirklaserstrahlung in
10 wenigstens einen ersten und in wenigstens einen
zweiten Verstärkerang (16-1, 16-2) umfasst, und
wobei ein jeweiliger Verstärkerang (16-1, 16-2) eine
Verstärkereinrichtung (18) zum Verstärken der
Wirklaserstrahlung umfasst, und die
15 Laserstrahlvorrichtung (10) dazu ausgebildet ist, das
Zielobjekt zumindest zeitweise gleichzeitig mit einem
von dem ersten Verstärkerang (16-1) ausgehenden
Wirklaserstrahl und einem von dem zweiten
Verstärkerang (16-2) ausgehenden Wirklaserstrahls zu
20 bestrahlen, **dadurch gekennzeichnet**, dass die
Laserstrahlvorrichtung (10) eine Kalibrierlaserquelle
(20) zum Erzeugen von Kalibrierlaserstrahlung
umfasst, wobei eine Wellenlänge (λ_2) der
Kalibrierlaserstrahlung von einer Wellenlänge (λ_1)
25 der Wirklaserstrahlung abweicht, wobei die
Laserstrahlvorrichtung (10) derart ausgebildet ist,
dass an der Strahlenk-und/oder Strahlteil-
Einrichtung (14) wenigstens ein Teil der von der
Kalibrierlaserquelle (20) erzeugten
30 Kalibrierlaserstrahlung in den ersten und in den

- zweiten Verstärker gang (16-1, 16-2) aufteilbar und/oder umlenkbar ist, und ein jeweiliger Verstärker gang (16-1, 16-2) ein wellenlängenabhängiges Auskoppелеlement (24, 24-1, 24-2) zum Auskoppeln wenigstens eines Teils des Kalibrierlaserlichts umfasst, und wobei die Laserstrahlvorrichtung (10) Mittel (26) zum Bestimmen einer Phase des Kalibrierlaserlichts des ersten Verstärker gangs (16-1) und/oder des Kalibrierlaserlichts des zweiten Verstärker gangs (16-2) umfasst und wobei wenigstens ein Verstärker gang (16-1) wenigstens ein Mittel (28) zum Verschieben der Phase von Laserstrahlung umfasst, und das wenigstens eine Mittel (28) zum Verschieben der Phase in Abhängigkeit der Phase des Kalibrierlaserlichts des ersten Verstärker gangs (16-1) und/oder des Kalibrierlaserlichts des zweiten Verstärker gangs (16-2) ansteuerbar ist.
2. Laserstrahlvorrichtung (10) nach Anspruch 1, wobei ein jeweiliger Verstärker gang (16-1, 16-2) wenigstens ein Mittel (28) zum Verschieben der Phase der Laserstrahlung umfasst, und ein jeweiliges Mittel (28) in Abhängigkeit der Phase des Kalibrierlaserlichts des ersten Verstärker gangs (16-1) und/oder des Kalibrierlaserlichts des zweiten Verstärker gangs (16-2) ansteuerbar ist.
3. Laserstrahlvorrichtung (10) nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das wenigstens eine

- Mittel (28) zum Verschieben der Phase der Laserstrahlung eine Modulationseinrichtung, insbesondere eine elektrooptische Modulationseinrichtung, EOM, insbesondere zum
- 5 Modulieren einer Phase, ist oder umfasst.
4. Laserstrahlvorrichtung (10) nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Auskoppellement (24, 24-1) derart angeordnet und ausgebildet ist, dass wenigstens eines Teils der
- 10 Kalibrierlaserstrahlung aus dem Verstärkerang (16-1, 16-2) auskoppelbar ist, bevor diese aus dem Verstärkerang (16-1, 16-2) in Richtung des Zielobjekts austritt.
5. Laserstrahlvorrichtung (10) nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Auskoppellement (24, 24-2) derart ausgebildet ist, dass an dem
- 15 Zielobjekt reflektierte Kalibrierlaserstrahlung aus dem Verstärkerang (16-1, 16-2) auskoppelbar ist.
6. Laserstrahlvorrichtung (10) nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein jeweiliger
- 20 Verstärkerang (16-1, 16-2), wenigstens ein optisches Element, insbesondere ein Teleskop (32) und/oder einen Tip/Tilt-Spiegel (34), zum Ausrichten von Laserstrahlung auf das Zielobjekt, umfasst.
- 25 7. Laserstrahlvorrichtung (10) nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Laserstrahlvorrichtung wenigstens eine

- Strahlkombinierer-Einrichtung (22) zum Kombinieren der Kalibrierlaserstrahlung mit der Wirklaserstrahlung umfasst, wobei die Strahlkombinierer-Einrichtung (22) derart angeordnet ist, dass das Kombinieren vor dem Aufteilen und/oder Umlenken der Wirk- und/oder Kalibrierlaserstrahlung in die wenigstens zwei Verstärkergänge (16-1, 16-2) erfolgt.
- 5
8. Laserstrahlvorrichtung (10) nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Laserstrahlvorrichtung (10) eine Modulationseinrichtung (30) zum Modulieren des Kalibrierlaserlichts, insbesondere zum Modulieren einer Amplitude, umfasst.
- 10
- 15 9. Verfahren (300) zum Betreiben einer Laserstrahlvorrichtung (10) nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren (300) wenigstens die folgenden Schritte umfasst:
- 20 Erzeugen (310) von Kalibrierlaserstrahlung und Lenken und/oder Aufteilen wenigstens eines Teils der erzeugten Kalibrierlaserstrahlung in wenigstens einen ersten und in wenigstens einen zweiten Verstärkergang, wobei in einem jeweiligen
- 25 Verstärkergang wenigstens ein Teil der Kalibrierlaserstrahlung mittels eines wellenlängenabhängigen Auskoppелеlement ausgekoppelt (320) wird;

- Bestimmen (330) einer Phase des Kalibrierlaserlichts des ersten Verstärkergangs und/oder des Kalibrierlaserlichts des zweiten Verstärkergangs, und in Abhängigkeit der Phase des
- 5 Kalibrierlaserlichts des ersten Verstärkergangs und/oder des Kalibrierlaserlichts des zweiten Verstärkergangs Ansteuern (340) von wenigstens einem Mittel zum Modulieren von Laserstrahlung.
10. Verfahren (300) nach Anspruch 9, wobei das Verfahren
- 10 (300) das Aussenden von Wirklaserstrahlung umfasst und das wenigstens eine Mittel (28) zum Verschieben der Phase der Laserstrahlung derart angesteuert wird, dass beim Aussenden von Wirklaserstrahlung eine kohärente Überlagerung der Wirklaserstrahlung
- 15 erreicht wird.
11. Verfahren (300) nach einem der Ansprüche 8 oder 9, wobei die Laserstrahlvorrichtung (10) zumindest zeitweise so betrieben wird, dass nur Kalibrierlaserstrahlung ausgesendet wird (300a).
- 20 12. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 11, wobei die Laserstrahlvorrichtung (10) zumindest zeitweise so betrieben wird, dass Kalibrierlaserstrahlung und Wirklaserstrahlung gleichzeitig ausgesendet wird (300b).
- 25 13. Verfahren (300) nach einem der Ansprüche 8 bis 12, wobei das Verfahren einen Schritt (360) zum Modulieren des Kalibrierlaserlichts umfasst.

14. Verfahren (300) nach Anspruch 13, wobei das Modulieren eine Modulation der Amplitude umfasst, und die Modulation als cw- Modulation und/oder gepulst erfolgt.