

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: **A 723/2003**  
(22) Anmeldetag: **12.05.2003**  
(43) Veröffentlicht am: **15.03.2007**

(51) Int. Cl.<sup>8</sup>: **B23K 26/04** (2006.01)

(30) Priorität:

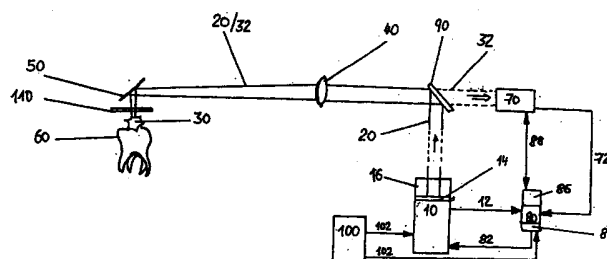
17.05.2002 DE 10222117 beansprucht.

(73) Patentanmelder:

W & H DENTALWERK BÜRMOOS GMBH  
A-5111 BÜRMOOS (AT)

(54) **LASERBEARBEITUNGSGERÄT ZUR PLASMAINDUZIERTEN ABLATION**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Laserbearbeitungsgerät zur plasmainduzierten Ablation mit einer Laserlichtquelle zur Erzeugung eines Bearbeitungslaserstrahls, einem Fokussiermittel zur Fokussierung des Bearbeitungslaserstrahls, und einer optischen Erfassungsvorrichtung zur Erfassung der bei einer Ablation erzeugten Plasmastrahlung, wobei das Laserbearbeitungsgerät eine Auswerte- und/oder Steuereinheit umfasst, wobei die optische Erfassungsvorrichtung so ausgebildet ist, dass von ihr ein von der Intensität der erfassten Plasmastrahlung abhängiges Signal an die Auswerte- und/oder Steuereinheit ausgebar ist, und das Laserbearbeitungsgerät so ausgelegt ist, dass es in Abhängigkeit dieses Signals automatisch von einem Bearbeitungsmodus in einen Ruhemodus und/oder von dem Ruhemodus in den Bearbeitungsmodus schaltbar ist.



015305

- 29 -

### Zusammenfassung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Laserbearbeitungsgerät zur plasmainduzierten Ablation mit einer Laserlichtquelle zur Erzeugung eines Bearbeitungslaserstrahls, einem Fokussiermittel zur Fokussierung des Bearbeitungslaserstrahls, und einer optischen Erfassungsvorrichtung zur Erfassung der bei einer Ablation erzeugten Plasmastrahlung, wobei das Laserbearbeitungsgerät eine Auswerte- und/oder Steuereinheit umfaßt, wobei die optische Erfassungsvorrichtung so ausgebildet ist, daß von ihr ein von der Intensität der erfaßten Plasmastrahlung abhängiges Signal an die Auswerte- und/oder Steuereinheit ausgebar ist, und das Laserbearbeitungsgerät so ausgelegt ist, daß es in Abhängigkeit dieses Signals automatisch von einem Bearbeitungsmodus in einen Ruhemodus und/oder von dem Ruhemodus in den Bearbeitungsmodus schaltbar ist.

Fig. 1

Anmelderin  
vertreten durch:

Wien, am 12. Mai 2003

Puchberger, Berger & Partner

## Laserbearbeitungsgerät zur plasmainduzierten Ablation

5 Die Erfindung betrifft ein Laserbearbeitungsgerät, insbesondere ein medizinisches Laserbearbeitungsgerät, zur plasmainduzierten Ablation, das eine Laserlichtquelle zur Erzeugung eines Bearbeitungslaserstrahls, ein Fokussiermittel zum Fokussieren des Bearbeitungslaserstrahls und eine optische Erfassungsvorrichtung zur Erfassung der bei einer Ablation erzeugten  
10 Plasmastrahlung umfaßt.

Solche Laserbearbeitungsgeräte werden in unterschiedlichen Bereichen und zu unterschiedlichen Zwecken in mannigfaltigen Formen eingesetzt. Sie werden insbesondere im medizinischen Bereich, vor allem im Dentalbereich verwendet, wo sie anstelle eines mechanischen Bohrers zur Ablation bzw. Abtragung von Zahnmaterial, insbesondere kariösem Zahnmaterial,  
15 al, verwendet werden.

Im Gegensatz zu mechanischen Bohrvorrichtungen, bei denen zur Abtragung immer ein Kontakt der Bearbeitungsvorrichtung mit dem zu arbeitenden Bereich vorgegeben ist, ist bei den Laserbearbeitungsgeräten, die eine kontaktlose Bearbeitung und Abtragung ermöglichen, die korrekte Positionierung bzw. der korrekte Bearbeitungsabstand zu dem zu bearbeitenden  
20 Material von hoher Bedeutung.

Es wurde daher im Stand der Technik vorgeschlagen, solche Laserbearbeitungsgeräte, insbesondere Handstücke für solche Laserbearbeitungsgeräte, mit einer Vorrichtung zur Abstandsmessung auszustatten.

In der deutschen Patentanmeldung (amtliches Aktenzeichen 100 42 220.9) wird ein Handstück für ein Laserbearbeitungsgerät beschrieben, das mit einer Abstandsmessvorrichtung versehen ist, die den Abstand eines Handstücks zu dem zu bearbeitenden Material überwacht.  
25 Als Abstandsmessvorrichtung werden ein Abstandssensor, beispielsweise ein Ultraschallsensor, zur berührungslosen Messung des erforderlichen Abstandes oder ein mechanischer Abstandsstift vorgeschlagen, der an dem Handstück in der Nähe des zu bearbeitenden Bereichs  
30 und an dem Handstück bevorzugt in Richtung des austretenden Laserlichts angebracht ist.

Solche Abstandsmessvorrichtungen sind jedoch zum Teil komplex und aufwendig, teilweise fehleranfällig und führen zu einer Verteuerung des Laserbearbeitungsgeräts.

Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Laserbearbeitungsgerät zur Verfügung zu stellen, das eine kostengünstige und weitgehend fehlerunanfällige Ablation eines Materials ermöglicht und insbesondere höchste Sicherheitsanforderungen beim Betrieb des Geräts erfüllt und eine Gefährdung der Patienten und/oder auch des Benutzers bzw. des Anwenders eines solchen Laserbearbeitungsgerätes oder ggf. auch Dritter ausschließt.

Diese Aufgabe wird durch ein Laserbearbeitungsgerät nach Anspruch 1 gelöst, die Ansprüche 2 bis 13 betreffen besonders vorteilhafte Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Laserbearbeitungsgeräts.

Das Laserbearbeitungsgerät umfaßt erfindungsgemäß eine Laserlichtquelle zur Erzeugung eines Bearbeitungslaserstrahls, ein Fokussiermittel zum Fokussieren des Bearbeitungslaserstrahls und eine optische Erfassungsvorrichtung zum Erfassen der bei der Ablation des Materials erzeugten Plasmastrahlung, wobei das Laserbearbeitungsgerät ferner eine Auswert- und/oder eine Steuereinheit umfaßt, die so ausgelegt sind, daß sie das Laserbearbeitungsgerät in Abhängigkeit der von der Erfassungsvorrichtung ermittelten Werte für die Intensität der Plasmastrahlung automatisch von einem Bearbeitungsmodus in einen Ruhemodus des Laserbearbeitungsgeräts bzw. der Laserlichtquelle und/oder umgekehrt schaltet.

Die Erfindung hat den Vorteil, daß eine Messung des Abstandes mittels einer zusätzlichen Abstandsmessvorrichtung nicht erforderlich ist, die Einhaltung des korrekten Abstands bzw. des gewünschten Abstandsbereichs hingegen lediglich durch eine Überwachung der Plasmastrahlung sichergestellt werden kann, die bei der Ablation bzw. der Abtragung des zu bearbeitenden Materials entsteht. Wird beispielsweise das Laserbearbeitungsgerät von dem Bediener nicht korrekt bedient, indem z.B. ein dentales Handstück eines solchen Laserbearbeitungsgeräts so gehalten wird, daß der Abstand des Handstücks zu dem zu bearbeitenden Material zu groß oder zu klein wird, entsteht aufgrund der zu geringen Leistungsdichte bzw. der zu geringen Fluenz an dem zu bearbeitenden Material keine plasmainduzierte Ablation und daher keine Plasmastrahlung oder die Intensität des Plasmas nimmt zumindest sehr stark ab, so daß über die Überwachung der Plasmastrahlung alleine die gewünschten Rückschlüsse

bezüglich dem korrekten Abstand zu dem zu bearbeitenden Material gezogen werden können. Auch in dem Fall, daß ein Bediener das Laserbearbeitungsgerät bzw. ein entsprechendes Handstück so hält, daß ein emittierter Laserbearbeitungsstrahl das zu bearbeitende Material nicht trifft, was zu einer Gefährdung des Patienten führen kann, wird keine Plasmastrahlung  
5 erfaßt und das Laserbearbeitungsgerät automatisch in einen Ruhemodus versetzt, so daß eine sichere und gefährdungsfreie Behandlung ermöglicht wird.

Es soll an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, daß die Intensität des Plasmas im wesentlichen wellenlängenunabhängig gemessen werden kann, insbesondere über den gesamten Wellenlängenbereich gemessen werden kann. Es ist jedoch auch möglich, daß die Intensität  
10 nur in einem bestimmten ausgewählten Wellenlängenbereich oder in mehreren Wellenlängenbereichen, die bevorzugt je nach Anwendungsbereich wählbar sind, oder auch nur bei einer oder mehreren spezifischen Wellenlängen gemessen wird.

Die von der optischen Erfassungsvorrichtung ermittelten Werte werden bevorzugt in Form eines Signals an die Auswerte- und/oder Steuereinheit weitergegeben, wobei die Auswerte-  
15 einheit einen starken Abfall der Intensität der Plasmastrahlung, ggf. einen Abfall bis auf 0, als Indikator dafür ansieht, daß sich das zu bearbeitende Material nicht mehr im Bereich des Fokus oder eines vorgegebenen Tiefenschärfebereichs befindet, die gewünschten Abstände beispielsweise eines Handstücks zu der zu bearbeitenden Fläche bzw. dem zu bearbeitenden Material daher nicht eingehalten werden, so daß eine effektive oder sichere Bearbeitung nicht  
20 mehr gewährleistet ist.

Die Auswerte- und/oder Steuereinheit sind dabei erfindungsgemäß so ausgelegt, daß sie in Abhängigkeit von den von der optischen Erfassungsvorrichtung ermittelten Werten und dem entsprechenden, von der Erfassungsvorrichtung erzeugten Signal das Laserbearbeitungsgerät oder die Laserlichtquelle automatisch zwischen einem Bearbeitungsmodus und einem Ruhe-  
25 modus hin- und herschalten. So kann sichergestellt werden, daß bei einer Bearbeitung bzw. Behandlung, bei der die erforderlichen Abstände nicht eingehalten werden, was zu einer Änderung der Intensität der Plasmastrahlung bzw. einem vollständigen Erlöschen des Plasmas führt, das Laserbearbeitungsgerät in einen Ruhemodus geschaltet wird.

Das erfindungsgemäße Laserbearbeitungsgerät stellt damit auf einfache und kostengünstige Weise sicher, daß sich das Laserbearbeitungsgerät nur dann in einem Bearbeitungsmodus befinden und ein Laserbearbeitungsstrahl emittiert werden kann, wenn die korrekten und gewünschten Abstände zur Bearbeitung bzw. zu Behandlung eingehalten sind, eine effektive und sichere Bearbeitung bzw. Behandlung daher sichergestellt ist. Bei einem erfindungsgemäßen Laserbearbeitungsgerät kann daher auf eine Abstandsüberwachungsvorrichtung verzichtet werden, wobei jedoch gleichzeitig sichergestellt wird, daß das Laserbearbeitungsgerät bzw. die Laserlichtquelle keinen Bearbeitungslaserstrahl emittiert, wenn nicht durch diesen auch eine plasmainduzierte Ablation hervorgerufen wird.

Ein Emittieren eines Bearbeitungslaserstrahls ohne eine plasmainduzierte Ablation muß insbesondere deshalb vermieden werden, weil die von dem Laser eingestrahlte Energie, wenn sie nicht zur gewünschten Ablation führt, insbesondere zu Erwärmungen des Materials, auf das eingestrahlt wird, führen kann, was zu ungewollten Beschädigungen des Materials oder zu Verletzungen führen kann. Das erfindungsgemäße Laserbearbeitungsgerät stellt auf einfache und kostengünstige sowie auf sehr zuverlässige Weise daher sicher, daß eine Laserleistung nur dann abgegeben wird, wenn diese auch, wie gewünscht, tatsächlich zur plasmainduzierten Ablation führt.

Bei der optischen Erfassungsvorrichtung kann es sich um einen Photodetektor oder auch um ein Spektrometer handeln, es können aber auch sonstige Sensoren vorgesehen sein, die die Intensität einer Beleuchtung auswerten können, entweder in einem festgelegten Wellenlängenbereich, wellenlängenspezifisch oder wellenlängenspezifisch.

Die Auswerte- und/oder die Steuereinheit sind bei einer bevorzugten Ausführungsform als integrales Bauteil ausgebildet, wobei die Auswerte- und/oder die Steuereinheit insbesondere durch einen Mikrocomputer realisiert werden. Es ist jedoch auch möglich, daß Auswerteeinheit und Steuereinheit voneinander getrennte Einheiten bzw. Bauteile sind.

Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform des Laserbearbeitungsgerät sind die Auswerteeinheit und/oder die Steuereinheit so ausgelegt, daß das Laserbearbeitungsgerät automatisch von einem Bearbeitungsmodus in einen Ruhemodus geschaltet wird, wenn die von der Erfassungsvorrichtung erfaßte Intensität der Plasmastrahlung unter einen festgesetzten ersten

Schwellwert fällt. Bevorzugt ist dieser erste Schwellwert ein sehr geringer Wert, der erste Schwellwert kann insbesondere bei 0 liegen oder knapp oberhalb eines Wertes von 0 liegen, so daß ein eventuelles „Rauschen“ der optischen Erfassungsvorrichtung und/oder der Auswerteeinheit und/oder der Steuereinheit umfaßt wird. Bevorzugt liegt ein erster Schwellwert bei 10% bis 50% über dem Wert einer sogenannten „Dunkelmessung“, d.h. einer Messung der Lichtintensität des zu bearbeitenden Bereiches ohne Emission eines Bearbeitungslaserstrahls. Eine solche Dunkelmessung wird bevorzugt automatisch von dem Laserbearbeitungsgerät vor dem Schalten in einen Betriebsmodus durchgeführt, so daß bei Vorgabe der entsprechenden relativen Werte (des ersten Schwellwerts im Hinblick auf den "Dunkelwert") automatisch ein absoluter Wert für den ersten Schwellwert festgelegt werden kann.

Die relativen Werte für den ersten Schwellwert sind bevorzugt einstellbar, insbesondere kann der erste Schwellwert auch deutlich höher liegen, beispielsweise zwischen 100% bis 300% über dem Wert der entsprechenden Dunkelmessung.

Es kann vorgesehen sein, daß eine Dunkelmessung in regelmäßigen Abständen durchgeführt wird und der erste Schwellwert dadurch regelmäßig aktualisiert wird, auch ist es möglich, daß das Laserbearbeitungsgerät so ausgebildet ist, daß als Referenzwert für den ersten Schwellwert, also als Wert für die Dunkelmessung, jeweils ein Mittelwert der letzten drei Dunkelmessungen eingesetzt wird.

Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Laserbearbeitungsgeräts sind die Auswerteeinheit und/oder die Steuereinheit so ausgebildet, daß das Laserbearbeitungsgerät ferner in einem sogenannten Probemodus, bevorzugt in einem zeitlich sehr eng begrenzten Probemodus, betreibbar ist, der als Teil des Ruhemodus angesehen werden kann bzw. innerhalb dieses Ruhemodus liegt. Während des Probemodus wird, obwohl sich das Laserbearbeitungsgerät nicht in dem eigentlichen Betriebsmodus befindet, probeweise und zeitlich beschränkt ein Bearbeitungslaserstrahl emittiert, insbesondere um zu überprüfen, ob sich das medizinische Laserbehandlungsgerät bzw. ein Hand- oder Winkelstück in der richtigen Position zur Bearbeitung befindet. Erzeugt der während des Ruhemodus emittierte Bearbeitungslaserstrahl ein Plasma und liegt die von der optischen Erfassungsvorrichtung zu einer bestimmten Meßzeit erfaßte Intensität dieser Plasmastrahlung über einem festlegbaren, zweiten Schwellwert, so wird das Laserbearbeitungsgerät bevorzugt automatisch in den Bearbei-

5 tungsmodus geschaltet. Ein solcher Probemodus kann beim erstmaligen Starten einer Bearbeitung vorgesehen sein, es ist jedoch auch möglich, daß das Laserbearbeitungsgerät einen Probemodus durchläuft, nachdem während des Bearbeitens das Laserbearbeitungsgerät von dem Bearbeitungsmodus automatisch in einen Ruhemodus geschaltet worden ist, weil die erfaßte Intensität der Plasmastrahlung zu gering gewesen ist.

Bei einer speziellen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Laserbearbeitungsgeräts ist es möglich, daß der zweite Schwellwert dem ersten Schwellwert entspricht, bevorzugt liegt jedoch der zweite Schwellwert oberhalb des ersten Schwellwertes (bevorzugt 10% bis 30%, ggf. auch 50% bis 80% über dem ersten Schwellwert), so daß eine Hysterese erzeugt wird.

10 Bevorzugt umfaßt das Laserbearbeitungsgerät ferner eine von einem Benutzer betätigbare Aktivierungsvorrichtung, die so ausgelegt ist, daß sie das Laserbearbeitungsgerät in den Ruhemodus versetzt, wenn sie nicht von dem Benutzer betätigt wird. Dadurch wird sichergestellt, daß ein Bearbeitungslaserstrahl nur dann emittiert wird, wenn der Benutzer aktiv eine Bearbeitung wünscht. Ein Bearbeitungslaserstrahl wird daher nur dann emittiert, wenn zum  
15 einen die Aktivierungsvorrichtung von dem Benutzer betätigt wird, zum anderen von der optischen Erfassungsvorrichtung Werte für die Intensität der Plasmastrahlung geliefert werden, die innerhalb eines vorher festgelegten Bereichs liegen. Trifft eine dieser Bedingungen nicht zu, befindet sich das Laserbearbeitungsgerät oder die Laserlichtquelle in einem Ruhemodus.

20 Insbesondere beim Vorsehen einer vom Benutzer betätigbaren Aktivierungsvorrichtung ist das Laserbearbeitungsgerät bevorzugt so ausgebildet, daß bei jedem erneuten Betätigen der Aktivierungsvorrichtung durch den Benutzer zuerst automatisch eine Dunkelmessung durchgeführt wird, so daß automatisch der erste und ggf. der zweite Schwellwert festgelegt werden.

25 Es soll an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, daß der Begriff „Ruhemodus“ des Laserbearbeitungsgeräts oder die Laserlichtquelle zum einen bedeuten kann, daß die Laserlichtquelle abgeschaltet wird, also überhaupt kein Bearbeitungslaserstrahl erzeugt wird, es ist jedoch auch möglich, daß die Laserlichtquelle selbst nicht abgeschaltet wird, der von der Laserlichtquelle erzeugte Bearbeitungslaserstrahl jedoch abgeschirmt wird, beispielsweise mittels eines Shutters. Im „Bearbeitungsmodus“ wird der Bearbeitungslaserstrahl in jedem Falle erzeugt und auch nicht abgeschirmt, so daß ein Laserstrahl emittiert wird.



Eine Abschirmung der Laserlichtquelle, beispielsweise mittels eines Shutters, ist insbesondere dann bevorzugt, wenn eine Laserlichtquelle verwendet wird, die einen gewissen Zeitraum benötigt, um eine stabile Emission eines Laserlichts sicherzustellen, was insbesondere bei gepulsten Laserlichtquellen mit kurzen und hochenergetischen Laserpulsen im Femtosekundenbereich der Fall ist.

Bevorzugt umfaßt das Laserbearbeitungsgerät eine Verzögerungsvorrichtung, die unterschiedlich ausgelegt bzw. eingestellt werden kann.

Bevorzugt ist die Verzögerungsvorrichtung so ausgebildet bzw. eingestellt, daß in dem Fall, daß die Intensität der Plasmastrahlung unter einem festgelegten ersten Schwellwert fällt (oder beim Einschalten des Laserbearbeitungsgeräts bzw. beim Betätigen einer Aktivierungsvorrichtung), der Ruhemodus erst nach einer festgelegten Verzögerungszeit  $t_1$  oder nach einer festgelegten Anzahl  $x$  von Pulsen abgeschaltet wird. Dadurch wird ermöglicht, daß bei ggf. sehr kurzen Abweichungen von den gewünschten Bearbeitungsbedingungen der Bearbeitungsmodus des Laserbearbeitungsgeräts beibehalten wird, so daß eine kontinuierliche Bearbeitung ermöglicht wird, wenn die sehr kurzen Abweichungen von den gewünschten Bedingungen beispielsweise keine Gefährdung des zu behandelnden Patienten erwarten lassen.

Die Verzögerungsvorrichtung kann in einer zweiten Realisierung alternativ oder zusätzlich so ausgebildet bzw. eingestellt sein, daß nach einem automatischen Umschalten des Laserbearbeitungsgeräts von einem Bearbeitungsmodus in einen Ruhemodus das Laserbearbeitungsgerät nach einer festgelegten Zeitperiode  $t_2$  automatisch wieder, zumindest für einen kurzen Zeitraum, in den Bearbeitungsmodus geschaltet wird. Dadurch wird ermöglicht, daß die Bearbeitung fortgesetzt bzw. wieder aufgenommen wird, wenn die gewünschten Bedingungen nur für einen bestimmten Zeitraum nicht eingehalten worden sind, ohne daß ein Benutzer des Laserbearbeitungsgerätes, beispielsweise ein behandelnder Arzt, weitere Maßnahmen treffen muß. Eine Bearbeitung wird jedoch nur dann fortgesetzt bzw. wiederaufgenommen, wenn die Aktivierungsvorrichtung von dem Benutzer betätigt ist oder durch eine andere Maßnahme das Laserbearbeitungsgerät aktiv von dem Benutzer eingeschaltet bzw. betätigt wird.

Anstelle der festgelegten Zeit  $t_2$  können auch hier eine bestimmte Anzahl  $y$  von Pulsen festgelegt werden, wenn beispielsweise die Laserlichtquelle nicht abgeschaltet sondern lediglich abgeschirmt wird.

5 Bei einer weiteren alternativen oder zusätzlichen Ausgestaltung ist es vorgesehen, daß die Verzögerungsvorrichtung so ausgebildet bzw. eingestellt ist, daß das Laserbearbeitungsgerät nur für einen festgelegten Zeitraum  $t_3$  oder eine festgelegte Anzahl  $z$  von Pulsen wieder in den Betriebsmodus geschaltet wird, wobei es nach dieser Zeit  $t_3$  oder nach den  $z$  Pulsen wieder in den Ruhemodus umgeschaltet wird, wenn nicht die optische Erfassungsvorrichtung eine Intensität einer Plasmastrahlung bzw. entsprechende Singale an die Auswerte- und/oder Steuer-  
10 einheit weitergibt, die darauf schließen lassen, daß die gewünschten Bedingungen wieder hergestellt sind.

Wird diese festgelegte Intensität der Plasmastrahlung innerhalb des Zeitraums  $t_3$  oder innerhalb der erzeugten  $z$  Pulse nicht erreicht, wird wieder in den Ruhemodus umgeschaltet.

Bei einer weiteren Ausführungsform kann dann erneut, beispielsweise nach einer Zeit  $t_2$  oder  
15 nach  $y$  Pulsen, dieses Verfahren durchgeführt werden. Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform wird dieses Verfahren jedoch nur über eine festgelegte Anzahl von Wiederholungen durchgeführt, wobei beispielsweise nach einer Anzahl von 3 bis 5 Wiederholungen ein automatisches Umschalten in den Bearbeitungsmodus nicht mehr erfolgt, insbesondere die Bearbeitung erst wieder durch beispielsweise ein Deaktivieren und erneutes Betätigen der  
20 Aktivierungsvorrichtung durch den Benutzer gestartet werden kann.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform sind sowohl die Schwellwerte als auch die Fluenz des Laserbearbeitungsstrahls einstellbar, so daß das Laserbearbeitungsgerät flexibel auf die gewünschte Situation eingestellt werden kann. Die vorgegebenen Zeiträume  $t_1$ ,  $t_2$  und  $t_3$  liegen bevorzugt in einem Bereich zwischen 20  $\mu$ s bis 100 ms, insbesondere in einem Bereich  
25 von 0,1 bis 10 ms, bevorzugt in einem Bereich von 1 ms bis 5 ms. Insbesondere für den Zeitraum  $t_3$  werden bevorzugt sehr geringe Zeiträume festgelegt, insbesondere in einem Bereich unterhalb 1 ms. Bevorzugt wird ein Zeitraum  $t_3 \leq 500 \mu$ s gewählt, insbesondere in einem Bereich zwischen 10  $\mu$ s und 300  $\mu$ s, insbesondere bei circa 100  $\mu$ s.

Anstelle der Zeiträume  $t_1$ ,  $t_2$  und  $t_3$  können auch eine bestimmte Anzahl  $x$ ,  $y$  und  $z$  von Pulsen festgelegt werden, wobei bevorzugte Werte für die Anzahl  $x$ ,  $y$  und  $z$  von Pulsen zwischen 1 und 100 liegen, insbesondere im Bereich 5 bis 30. Ein besonders bevorzugter Wert liegt bei 10 Pulsen. Auch bei der Festlegung der Zahl der Pulse kann bei einer bevorzugten Ausführungsform insbesondere die Anzahl  $z$  der Pulse sehr gering gewählt werden, bevorzugt wird für  $z$  ein Wert gewählt, der 10 nicht übersteigt, insbesondere liegt  $z$  zwischen 1 und 5 Pulsen.

Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform umfaßt das Laserbearbeitungsgerät ferner eine Synchronisiervorrichtung, mittels der die optische Erfassungsvorrichtung zur Erfassung der bei einer Ablation erzeugten Plasmastrahlung einerseits und die Auswerte- und/oder Steuereinheit und die Laserlichtquelle andererseits aufeinander angepaßt werden. Eine solche Synchronisiervorrichtung ist insbesondere bei Laserlichtquellen von Bedeutung, die auch einen gepulsten Bearbeitungslaserstrahl emittieren können, wobei an dieser Stelle darauf hingewiesen werden soll, daß das Laserbearbeitungsgerät insbesondere gerade für solche Puls- laserlichtquellen geeignet ist und das erfindungsgemäße System gerade bei solchen Puls- laserlichtquellen seine bedeutenden Vorteile zeigt. In diesem Zusammenhang soll auch nochmals darauf hingewiesen werden, daß das Vorsehen der erfindungsgemäßen Auswerte- und/oder Steuereinheit und die dadurch ermöglichte Steuerung des Laserbearbeitungsgeräts insbesondere bei hochenergetischen gepulsten Lasersystemen von extremer Bedeutung ist, da in dem Fall, daß Laserpulse auf Material eingestrahlt werden, ohne ein Plasma zu zünden, was, wie erläutert, insbesondere auftritt, wenn ein Handstück oder ein ähnliches Element des Laserbearbeitungsgeräts falsch positioniert wird, die hochenergetischen Laserpulse ungewollt tief, beispielsweise in ein Zahnmaterial, eindringen können und dort zu Erwärmung des Materials führen können. So kann z.B. ein derartiger Laserpuls, wenn kein Plasmazünden stattfindet, mehrere Millimeter in die Zahnhartsubstanz eindringen, wodurch die Pulpa durch Erwärmung irreversibel geschädigt werden kann.

Durch das automatische Versetzen des Laserbearbeitungsgeräts in den Ruhemodus wird ein solches "Fehlbedienen" des Geräts automatisch vermieden, so daß eine sichere und gefahrlose Behandlung mit solchen hochenergetischen Lasersystemen sichergestellt wird.

Da im Falle eines gepulsten Bearbeitungslaserstrahls auch das durch die Ablation erzeugte Plasma "pulsiert", müssen auch die Zeitpunkte bzw. Zeitbereiche berücksichtigt werden, zu

denen das Plasma tatsächlich nur auftreten kann, wobei die Synchronisier-  
 Abstimmung vornimmt. Die entstehende ebenfalls pulsierende Plasmastrahlung, auch Plas-  
 mafackel genannt, pulsiert im wesentlichen mit einer Repetitionsrate, die einer Pulsrepetiti-  
 onsrate  $f$  des Bearbeitungslaserstrahls bzw. der Laserlichtquelle entspricht, wobei die Plasma-  
 5 strahlung je nach Pulsdauer  $t$  des pulsierenden Bearbeitungslaserstrahls unterschiedlich lange  
 erzeugt wird.

Zwischen den emittierten Pulsen des Bearbeitungslaserstrahls treten daher sogenannte  
 „dunkle Pausen“ auf, in denen kein Plasmalicht auftreten kann, da auch keine Laserenergie  
 abgestrahlt wird. Die Synchronisier-  
 10 Hinblick auf die Pulsrepetitionsrate  $f$  und ggf. auch auf die Pulsdauer  $t$  der Laserlichtquelle  
 bzw. des Bearbeitungslaserstrahls ab, so daß die Pulsrepetitionsrate  $f$  und die Pulsdauer  $t$  als  
 Kenngrößen für die Synchronisier- und damit für die Steuerung und Abstimmung  
 des Laserbearbeitungsgeräts verwendet werden.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform werden die Pulsrepetitionsfrequenz  $f$  und die Puls-  
 15 dauer  $t$  und/oder der zeitliche Verlauf der Pulse der Synchronisier- direkt von der  
 Laserlichtquelle, einschließlich einem sogenannten „Startpunkt“, also einem ersten Auftreten  
 bzw. einem Starten des Pulsbetriebs, zur Verfügung gestellt. Bei einer weiteren Ausführungs-  
 form ist es jedoch auch möglich, daß das erste Auftreten eines Plasmaereignisses als Start-  
 punkt der Zeitmessung gewählt wird, ferner ist es auch möglich, daß die ersten zwei oder drei  
 20 Plasmaereignisse dazu verwendet werden, um automatisch neben dem Startpunkt auch die  
 Pulsdauern  $t$  und die Pulsfolgefrequenz bzw. die Repetitionsrate  $f$  zu bestimmen. Auch ist es  
 möglich, daß bestimmte charakteristische Werte der Laserlichtquelle abgespeichert werden  
 und mit den ersten Plasmaereignissen zur weiteren Abstimmung der Synchronisier-  
 und des Laserbearbeitungsgeräts verwendet werden.

25 In einer weiteren Ausführungsform ist es möglich, daß jeder abgegebene Puls an der Laser-  
 lichtquelle abgegriffen und als Trigger für die optische Erfassungsvorrichtung verwendet  
 wird, wodurch in Echtzeit das Auftreten von Plasma in folge eines Pulses registriert werden  
 kann.

Auf diese Weise kann auf einfache und kostengünstige Weise sichergestellt werden, daß auch bei einem Laserbearbeitungsgerät, das einen gepulsten Bearbeitungslaserstrahl erzeugen kann, eine korrekte Überwachung und Steuerung des Betriebes möglich ist.

Es soll an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, daß es prinzipiell möglich ist, daß die erzeugte Plasmastrahlung im wesentlichen über die gesamte Pulsperiode  $\Delta t = 1/f$  gemessen wird, wobei selbstverständlich die Zeitbereiche, in den aufgrund mangelnder Energieeinstrahlung kein Plasma entstehen kann, bei der Signalerzeugung und zur Steuerung des Laserbearbeitungsgeräts nicht berücksichtigt werden bzw. im Falle einer Ermittlung eines Durchschnittswertes für die erfaßte Intensität über einen bestimmten Meßzeitraum, was ebenfalls im Rahmen der Erfindung möglich ist, entsprechend mit berücksichtigt werden bzw. der oder die Schwellwerte für den Durchschnittswert der Intensität in Abhängigkeit von den sogenannten „Dunkelphasen“ entsprechend gesenkt werden müssen. Bei einer besonderen Ausführungsform wird jedoch die erzeugte Plasmastrahlung lediglich in einem Zeitraum berücksichtigt, der kleiner ist als die Pulsperiode  $\Delta t$ , wobei insbesondere die Zeiträume, in denen die Plasmafackel erzeugt wird, bzw. in denen die Plasmafackel erlischt, und in denen daher besondere Intensitätsschwankungen auftreten, nicht berücksichtigt werden. Bei einer besonderen Ausführungsform wird die erzeugte Plasmastrahlung nur über einen Zeitraum  $\tau$  gemessen, der geringer ist als die Pulsperiode  $\Delta t$ , wobei  $\tau$  in Abhängigkeit von der Pulsdauer  $t$  bevorzugt zwischen 50 ps bis 100  $\mu$ s; bevorzugt über 50 ps bis 100 ns betragen kann, die Pulsperiode  $\Delta t$  je nach Repetitionsrate  $f$  dabei aber bevorzugt zwischen 20  $\mu$ s und 1ms liegen kann, in einer weiteren bevorzugten Ausführungsform zwischen 2  $\mu$ s und 50  $\mu$ s, bevorzugt unter 35  $\mu$ s liegt. Insbesondere bei ultrakurzen Laserpulsen ist die Pulsdauer  $t$  des Bearbeitungslaserstrahls in der Regel kürzer als die Gesamtlebensdauer des durch die eingestrahlte Energie erzeugten Plasmas, das Plasma kann dabei sogar eine Gesamtdauer aufweisen, die bis zu 100 mal oder sogar noch länger als die Pulsdauer selbst ist.

Bei einer Ausführungsform erfaßt die optische Erfassungsvorrichtung lediglich während der gewünschten Zeitbereiche die erzeugte Plasmastrahlung, es ist jedoch bevorzugt, daß die optische Erfassungsvorrichtung die Intensität einer eventuell erzeugten Plasmastrahlung kontinuierlich überwacht, die von der optischen Erfassungsvorrichtung ermittelten Intensitäten jedoch lediglich in den gewünschten Zeiträumen für die weitere Steuerung des Laserbearbeitungsgeräts verwendet werden.

Bevorzugt umfaßt das Laserbearbeitungsgerät ferner eine Vorrichtung zur Erzeugung eines Pilotlaserstrahls, der insbesondere der Positionierung eines Handstücks des Laserbearbeitungsgeräts oder einer entsprechenden Vorrichtung dienen kann. Der Pilotlaser erzeugt bevorzugt einen sichtbaren Laserstrahl, insbesondere werden bevorzugt Halbleiterdioden zur Erzeugung eines Pilotlaserstrahls verwendet.

Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist die Vorrichtung zur Erzeugung eines Pilotlaserstrahls so ausgebildet, daß der Pilotlaserstrahl unterschiedliche Emissionswellenlängen aufweist, so daß der Pilotlaserstrahl beispielsweise von rot auf grün umschaltbar ist.

Es ist bevorzugt, daß das Laserbearbeitungsgerät ferner eine Vorrichtung zur optischen, akustischen und/oder taktilen Anzeige des Modus des Laserbearbeitungsgeräts umfaßt, so daß dem Bediener, insbesondere einem behandelnden Arzt, während der Behandlung zusätzliche Informationen gegeben werden können. Eine solche Vorrichtung kann insbesondere mit der oben genannten Vorrichtung zur Erzeugung eines Pilotlaserstrahls gekoppelt oder durch diese realisiert sein, wobei beispielsweise ein Pilotlaserstrahl einer ersten Wellenlänge (beispielsweise im roten Bereich) emittiert wird, wenn sich das Laserbearbeitungsgerät in dem Ruhemodus befindet, und ein Pilotlaserstrahl einer zweiten Wellenlänge (beispielsweise im grünen Bereich) emittiert wird, wenn sich das Laserbearbeitungsgerät in einem Bearbeitungsmodus befindet.

Neben den oben lediglich beispielhaft genannten Wellenlängen im roten und im grünen Wellenlängenbereich sind selbstverständlich auch alle anderen Wellenlängen denkbar. Es ist bevorzugt, daß die Wellenlänge für den Pilotlaserstrahl so gewählt wird, daß sie die Messung der Intensität der Plasmastrahlung möglichst nicht beeinflußt. Auch ist es umgekehrt möglich, die Wellenlängen bzw. den oder die Wellenlängenbereiche, die für die Messung der Intensität des Plasmas herangezogen werden, entsprechend auf die Wellenlänge bzw. die Wellenlängen des Pilotlaserstrahls angepaßt werden. Es können beispielsweise lediglich solche Wellenlängenbereiche für die Messung der Intensität ausgewählt werden, die außerhalb der Wellenlänge des Pilotlaserstrahls liegen. Da die Wellenlänge eines Pilotlaserstrahls sehr stark begrenzt ist, ist es auch möglich, im wesentlichen über den gesamten Wellenlängenbereich die Intensität der Plasmastrahlung zu messen, lediglich jedoch den engen Wellenlängenbereich, in dem der Pilotlaser abstrahlt bzw. abstrahlen, für die Messung nicht zu berücksichtigen. Dies

kann beispielsweise auch einfach dadurch geschehen, indem vor die optische Erfassungseinrichtung ein Wellenlängenfilter gesetzt wird, der grade die Wellenlänge des Pilotlaserstrahls herausfiltert.

Bei einer Laserlichtquelle, die ein gepulstes Laserlicht erzeugt, liegen typische Pulsrepetitionsraten  $f$  typischerweise in einem Bereich zwischen 1 kHz und 50 kHz, während typische Pulsdauern  $t$  im Pikosekunden- oder Femtosekundenbereich liegen.

Arbeitet die Laserlichtquelle mit einer Pulsrepetitionsrate  $f$ , so kann die optische Erfassungsvorrichtung jeweils zu Zeitpunkten bzw. Zeitbereichen mit einem Abstand  $\Delta t_{\text{mess}} = 1/f$  eine Plasmastrahlung detektieren. Es sei in diesem Zusammenhang nochmals darauf hingewiesen, daß die Plasma-Lebensdauer bei Laserpulsen  $\leq 1\text{ps}$  zwischen 100ps und 1ns liegen kann. Wird der Plasmadetektor auf ein Ausgangssignal des Lasers getriggert, so kann bereits nach einer einzigen ausbleibenden Plasmafackel das Laserbearbeitungsgerät in den Ruhemodus gesetzt werden. Das Zeitintervall  $\Delta t_{\text{mess}}$  liegt dabei zwischen 10s und  $1\mu\text{s}$ , insbesondere bei einer Wiederholrate von 50kHz bei  $20\mu\text{s}$ , bei einer Repetitionsrate von 1kHz insbesondere bei 1 ms, bei einer Repetitionsrate von 30kHz insbesondere bei  $33\mu\text{s}$ , bei einer Repetitionsrate von 10kHz insbesondere bei  $100\mu\text{s}$  und bei einer Repetitionsrate von 15kHz insbesondere bei  $67\mu\text{s}$ .

Wie auch schon in den handschriftlichen Unterlagen angedeutet, soll an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, daß es zwar, wie oben beschrieben, bevorzugt ist, daß die optische Erfassungsvorrichtung jeweils zu Zeitpunkten bzw. Zeitbereichen mit einem Abstand mißt, der auf die Pulsrepetitionsfrequenz einer gepulsten Laserlichtquelle direkt abgestimmt ist, es ist jedoch auch möglich, daß der Zeitabstand  $\Delta t_{\text{mess}}$  größer ist als  $1/f$  und der Abstand zwischen zwei Zeitpunkten bzw. Zeitbereichen größer ist als der Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Pulsen. Insbesondere kann der Abstand ein Mehrfaches der Abstände der Laserpulse betragen, so daß nur jeder zweite, dritte oder, allgemeiner ausgedrückt, jeder  $n$ . Puls erst berücksichtigt wird. Dies ermöglicht es, auch billige und nicht so schnelle Regelsysteme einzusetzen. Eine weitere Möglichkeit, den Zeitabstand  $\Delta t_{\text{mess}}$  auf eine gepulste Laserlichtquelle mit einer Pulsrepetitionsfrequenz  $f$  anzupassen, wäre daher gemäß der Formel  $\Delta t_{\text{mess}} = a \cdot 1/f$ , wobei  $a$  eine natürliche Zahl ist.

Eine Erfassungsrepetitionsrate bzw. Steuerungsrepetitionsrate  $f^*$  kann daher der Pulsrepetitionsrate  $f$  entsprechen, aber auch von der Pulsrepetitionsrate  $f$  verschieden sein, insbesondere kann die Pulsrepetitionsrate  $f$  ein Vielfaches der Erfassungsrepetitionsrate  $f^*$  sein, so daß gilt  $f = a \cdot f^*$ .

- 5 Zur Auswertung wird somit in der Auswerteeinheit neben dem detektierten Helligkeitswert auch die zeitliche Abfolge der eintreffenden Signale mit der am Laser abgegriffenen Pulsrepetitionsrate  $f$  verglichen, wobei der Startpunkt der Messung aber nicht mit dem Startpunkt des Pulses zusammenfallen muß, sondern im wesentlichen frei im Pulsintervall  $\Delta t$  wählbar ist. Bevorzugt wird der Startpunkt der Messung dabei so gewählt, daß das bereits formierte Plasma optimal erfaßt wird. Der Startpunkt der Messung liegt bevorzugt in dem Zeitraum, in dem ein Laserpuls auf das zu bearbeitende Material trifft, oder kurz danach, also während noch ein Plasma besteht, es ist jedoch im Prinzip auch möglich, daß der Startpunkt der Messung innerhalb einer sogenannten Dunkelphase liegt. Damit kann auf äußerst einfache Weise festgestellt werden, ob pro Puls tatsächlich ein Plasma gezündet wurde oder nicht.
- 15 In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist es auch möglich, das erste Auftreten eines Plasmaereignisses als Startpunkt der Zeitmessung zu wählen und über eine in der Auswerteeinheit gespeicherten Tabelle die Pulspausen abzufragen und mit den auftretenden Helligkeitswerten nach diesen Zeiten zu vergleichen. In einer noch weiteren bevorzugten Ausführungsform wird jeder abgegebene Puls am Laser abgegriffen und als Trigger für die Helligkeitmessung verwendet, wodurch in Echtzeit das Auftreten von Plasma infolge eines Pulses registriert werden kann.
- 20

- 25 Gemäß einem weiteren Aspekt umfaßt das Laserbearbeitungsgerät eine Vorrichtung zur Erzeugung eines Abstandsindikators als optisches Hilfsmittel für den Benutzer. Eine solche Vorrichtung zur Erzeugung eines Abstandsindikators ist nicht mit einer Entfernungsmessung zu vergleichen, da lediglich, beispielsweise über optische Projektionen, dem Benutzer angezeigt bzw. angegeben wird, ob er sich im richtigen Abstand befindet oder nicht. Eine solche Vorrichtung zur Erzeugung eines Abstandsindikators dient insbesondere dazu, dem Benutzer des Laserbearbeitungsgeräts weitere sinnvolle Informationen für die Handhabung beispielsweise eines Handstücks eines Laserbehandlungsgerätes zu geben.



Bevorzugt umfaßt eine solche Vorrichtung zur Erzeugung eines Abstandssindikators eine Projektionsvorrichtung zur Projektion eines Fadenkreuzes im Fokusbereich des Bearbeitungslaserstrahls, wobei bei einer Abweichung des Bearbeitungsabstandes, d.h. in dem Falle, daß der Fokus des Bearbeitungslaserstrahls nicht auf Höhe des zu bearbeitenden Materials liegt, die Balken des Fadenkreuzes aufgrund der Projektion auseinander wandern bzw. sich verschieben.

Eine solche Projektionsvorrichtung kann auch mit der oben genannten Vorrichtung zur Erzeugung eines Pilotlaserstrahls bzw. einer Vorrichtung zur optischen, akustischen und/oder taktilen Anzeige des Modus des Laserbearbeitungsgeräts kombiniert werden.

10 Diese und weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung werden anhand der nachfolgenden, schematischen Abbildungen noch deutlicher werden. Es zeigen:

Figur 1 einen Aufbau einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Laserbearbeitungsgeräts;

15 Figur 2 eine Grafik, die die Fluenz des Bearbeitungslaserstrahls in Abhängigkeit vom Abstand der Fokusebene darstellt;

Figur 3 eine zu Figur 2 analoge Grafik, der jedoch ein Bearbeitungslaserstrahl mit geringerer Leistung zugrunde liegt; und

Figur 4 eine Ausführungsform einer Vorrichtung zur Erzeugung eines Abstandsindikators.

20 Figur 1 zeigt schematisch und zur Erläuterung des Prinzips einige Bauteile einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Laserbearbeitungsgeräts, mit dem eine plasmainduzierte Ablation, hier an einem Zahn, durchgeführt wird.

Die in Figur 1 gezeigte Ausführungsform umfaßt eine Laserlichtquelle 10, in diesem Falle eine Laserlichtquelle, die einen Bearbeitungslaserstrahl 20 erzeugen kann, der gepulst ist. Die

Laserlichtquelle 10 dieser Ausführungsform ist so ausgebildet, daß sie zwischen einem Pulsbetriebsmodus und einem cw-Betriebsmodus (continuous wave-Betriebsmodus) schaltbar ist.

In der hier gezeigten Ausführungsform wird ein Yb:KGW-Laser eingesetzt, es können aber auch z.B. ein Yb:YAG-Laser, Nd:YAG-Laser, ein Faserlaser oder sonstige bekannte Laserlichtquellen eingesetzt werden. Bevorzugt werden Laserlichtquellen eingesetzt, die ultrakurze Laserpulse (UKLP) erzeugen können, da diese für die plasmainduzierte Ablation besonders gut geeignet sind. Die Pulslängen  $t$  können im Pikosekundenbereich liegen und liegen bevorzugt sogar im Femtosekundenbereich.

Der von der Laserlichtquelle 10 emittierte Bearbeitungslaserstrahl 20 trifft in seinem Strahlenverlauf bei der in Figur 1 gezeigten Ausführungsform zuerst auf einen Strahlteiler 90, der für die Wellenlänge des Bearbeitungslaserstrahls 20 als reflektierender Spiegel wirkt, so daß der Bearbeitungslaserstrahl 20 circa um  $90^\circ$  umgelenkt wird und eine Fokussierlinse 40 durchläuft. In Figur 1 ist lediglich eine Fokussierlinse 40 dargestellt, es soll jedoch verstanden werden, daß in der Regel mehrere optische Elemente zur Fokussierung und/oder auch teilweisen Aufweitung oder allgemein zur Beeinflussung des Bearbeitungslaserstrahls 20 vorgesehen sind. Auf die Darstellung weiterer optischer Elemente wurde in Figur 1 aus Gründen der Übersichtlichkeit jedoch verzichtet.

Der Bearbeitungslaserstrahl 20 trifft nachfolgend auf einen reflektierenden Spiegel 50, der den Bearbeitungslaserstrahl 20 auf ein zu bearbeitendes Material, hier einen Zahn 60, lenkt.

Es soll an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, daß insbesondere die Fokussierlinse 40, und ggf. weitere optische Elemente, wie oben erläutert, und der Spiegel 50 in einem (nicht gezeigten) bearbeitungsseitig vorgesehenen Handstück des Laserbearbeitungsgeräts vorgesehen sind. Die in Figur 1 gezeigte Anordnung mit dem reflektierenden Spiegel 50 eignet sich insbesondere für Hand- und Winkelstücke, bei den der Bearbeitungslaserstrahl 20 in einem Winkel von etwa  $90^\circ$  zu einer Längsachse eines Winkelstücks emittiert wird, da dies insbesondere für den dentalen Bereich eine bessere Handhabung und Zugänglichkeit ermöglicht.

Der Bearbeitungslaserstrahl 20 trifft auf den zu bearbeitenden Zahn 60, so daß die plasmainduzierte Ablation des Zahnmaterials stattfindet und ein Plasma 30 erzeugt wird.

Die von dem Plasma 30 erzeugte Plasmastrahlung 32 bzw. das Plasmalicht durchläuft zumindest teilweise im wesentlichen den Strahlengang des Bearbeitungslaserstrahls 20, wie er oben beschrieben worden ist, wird also von dem Spiegel 50 reflektiert, durchläuft die Fokussierlinse 40 und ggf. weitere, hier nicht gezeigte, optische Elemente und trifft auf den Strahlteiler 90, der jedoch für den Wellenlängenbereich der Plasmastrahlung 32 durchlässig ist, so daß die Plasmastrahlung 32 einer optischen Erfassungseinrichtung 70 zugeführt wird. Als optische Erfassungseinrichtung 70 ist bei dieser Ausführungsform ein einfacher Photodetektor vorgesehen, der die Intensität der Plasmastrahlung mißt. Es ist jedoch auch möglich, als optische Erfassungseinrichtung komplexere Systeme einzusetzen, insbesondere optische Erfassungseinrichtungen, die wellenlängenselektiv die Plasmastrahlung 32 auswerten. Beispielsweise kann als optische Erfassungseinrichtung ein Spektrometer verwendet werden. Es ist prinzipiell auch möglich, beispielsweise eine CCD-Kamera (Charge-Coupled-Device Kamera) oder ein CMOS-Bildsensor (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor Bildsensor) als optische Erfassungseinrichtung oder als Teil einer optischen Erfassungseinrichtung einzusetzen.

Die von der optischen Erfassungseinrichtung 70, die auch als Sensor bezeichnet werden kann, ermittelten Werte für die Plasmastrahlung 32 werden in ein Signal 72 umgewandelt und einer kombinierten Auswerte- und Steuereinheit 80 zugeführt, wobei es sich bei der Auswerte- und Steuereinheit 80 bei dieser Ausführungsform um ein Computersystem handelt. Es sind aber auch prinzipiell alle anderen Steuer- und Regelsysteme denkbar, wie z. B. SPS (speicherprogrammierbare Steuerungen), Mikrocontroller oder analoge Regelkreise.

Der Auswerte- und Steuereinheit 80 wird darüber hinaus ein Signal 12 von der Laserlichtquelle 10 zugeführt, das Daten über den Betriebszustand der Laserlichtquelle 10 an die Auswerte- und Steuereinheit 80 ausgibt. Die Auswerte- und Steuereinheit 80 gibt, in Abhängigkeit der von der optischen Erfassungseinrichtung 70 ermittelten Werte und dem Signal 72, ein Steuersignal 82 aus, das der Laserlichtquelle 10 zugeführt wird und so die Laserlichtquelle 10 steuert, insbesondere die Laserlichtquelle 10 von einem Ruhemodus in einen Bearbeitungsmodus und umgekehrt schaltet. Es ist jedoch auch möglich, daß die Auswerte- und Steuereinheit 80 die Laserlichtquelle nicht nur in einen Ruhemodus oder in einen Bearbeitungsmodus

schaltet, sondern auch darüber hinaus Steuerungen der Laserlichtquelle in Abhängigkeit von den ihr zugeführten Informationen vornimmt, beispielsweise eine Pulsdauer  $t$  oder eine Pulsrepetitionsfrequenz  $f$  steuert, oder auch die abgestrahlte Leistung der Laserlichtquelle oder andere charakteristische Werte steuert.

- 5 In der Auswerte- und Steuereinheit 80 ist bei dieser Ausführungsform eine Verzögerungsvorrichtung 84 integriert. Ferner umfaßt die in Figur 1 gezeigte Ausführungsform des Laserbearbeitungsgeräts eine Aktivierungsvorrichtung 100, mittels der ein Benutzer, insbesondere ein behandelnder Arzt, angeben kann, wann er prinzipiell eine Bearbeitung, d.h. das Emittieren eines Bearbeitungslaserstrahls 20, wünscht. Vorteilhafterweise ist diese Aktivierungsvorrichtung 100 in Form eines Fußschalters ausgebildet, der von dem Bediener der Bearbeitungslaser-  
10 servorrichtung betätigbar ist. Ein Signal 102, das angibt, ob die Aktivierungsvorrichtung von dem Benutzer aktiviert oder deaktiviert bzw. betätigt oder nicht betätigt ist, wird an die Laserlichtquelle 10 und/oder die Auswerte- und Steuereinheit 80 weitergegeben, bevorzugt, wie in dieser Ausführungsform, sowohl an die Laserlichtquelle 10 als auch an die kombinierte  
15 Auswerte- und Steuereinheit 80, die mit einer Verzögerungsvorrichtung 84 versehen ist.

- Ferner umfaßt die Auswerte- und Steuereinheit 80 eine Synchronisiervorrichtung 86, mit der das Laserbearbeitungsgerät und insbesondere die optische Erfassungseinrichtung sowie die Auswerte- und Steuereinheit 80 auf die besondere Charakteristik des Bearbeitungslaserstrahls abgestimmt wird, wobei bei der Abstimmung insbesondere eine Pulsrepetitionsfrequenz  $f$  und  
20 ein vom Pulsintervall  $1/f$  abhängiges Meßintervall  $\Delta t_{\text{mess}}$  eines gepulsten Bearbeitungslaserstrahls berücksichtigt werden. Durch das Vorsehen dieser Synchronisiervorrichtung 86 wird sichergestellt, daß die von der optischen Erfassungseinrichtung 70 erfaßte bzw. ermittelte Intensität der Plasmastrahlung 32 nur dann in Betracht gezogen wird, wenn tatsächlich Energie von der Laserlichtquelle auf den hier zu behandelnden Zahn 60 abgegeben wird, also in den  
25 Zeiträumen, in denen ein Puls auf den zu bearbeitenden Bereich des Materials trifft, so daß überhaupt eine Ablation stattfinden und ein Plasmalicht bzw. eine Plasmafackel erzeugt werden kann, während in den Zeitbereichen zwischen zwei aufeinander folgenden Pulsen keine Energie auf den Zahn 60 übertragen wird, so daß auch keine Plasmafackel erzeugt werden kann.

Ein typischer Betrieb des in Figur 1 gezeigten Laserbearbeitungsgeräts kann beispielsweise wie folgt ablaufen: Ein Bediener des Laserbehandlungsgeräts, insbesondere ein behandelnder Arzt, führt ein (hier nicht gezeigtes) Handstück, das, wie oben erläutert, insbesondere die Fokussierlinse 40 und den Spiegel 50 umfaßt, in die Nähe eines Zahns 60, so daß das Handstück in eine gewünschte Position zur Bearbeitung gebracht wird. Danach betätigt der Bediener die Aktivierungsvorrichtung 100, ein entsprechendes Signal 102 wird an die Auswerte- und Steuereinheit 80 und an die Laserlichtquelle 10 gegeben. Die Auswerte- und Steuereinheit 80, die von der optischen Erfassungseinrichtung 70 ferner das Signal 72 erhält, das anzeigt, daß, da die Bearbeitung noch nicht gestartet ist, die Intensität der Plasmastrahlung gleich 0 ist, da kein Plasma gezündet wird, erzeugt daher ein Steuersignal 82, das der Laserlichtquelle 10 zugeführt wird.

Das Steuersignal 82 bewirkt, daß für einen vorgegebenen Zeitraum  $t_2$  ein Bearbeitungslaserstrahl 20 erzeugt wird. Dieser festgelegte Zeitraum  $t_2$  ist variabel und kann über die Auswerte- und Steuereinheit 80 eingegeben werden. Bevorzugt liegt der Zeitraum  $t_2$  in einem Bereich von  $20\mu\text{s}$  bis  $100\text{ms}$ , in dem hier geschilderten Fall bei  $1\text{ms}$ .

Anstelle eines festgelegten Zeitraums  $t_2$  kann auch bei einem gepulsten Bearbeitungslaserstrahl 20 eine feste Anzahl  $y$  von Pulsen ausgewählt werden, wobei die Anzahl  $y$  ebenfalls über die Auswerte- und Steuereinheit 80 regelbar ist. Eine bevorzugte Anzahl von Pulsen  $y$  liegt zwischen 1 und 100, insbesondere bei 10, sie ist jedoch natürlich abhängig von der gewählten Pulsrepetitionsfrequenz und/oder der gewählten Pulslänge.

Zündet aufgrund der Einstrahlung des Bearbeitungslaserstrahls 20 auf den Zahn 60 das Plasma 30, was nur dann geschieht, wenn sich das System in einem korrekten Bearbeitungszustand befindet, insbesondere beispielsweise ein Handstück so gehalten wird, daß sich die Oberfläche des Zahns 60, auf den der Bearbeitungslaserstrahl 20 trifft, im gewünschten Tiefschärfenbereich befindet, so wird die erzeugte Plasmastrahlung 32 von der optischen Erfassungseinrichtung 70 detektiert, ein entsprechendes Signal 72 wird generiert und der Auswerte- und Steuereinheit 80 zugeführt. Nur wenn das Signal 72 innerhalb der oben genannten Zeit  $t_2$  oder der festgelegten Anzahl  $y$  von Pulsen der Auswerte- und Steuereinheit 80 angibt, daß ein Plasma 30 erzeugt wird, gibt die Auswerte- und Steuereinheit 80 über das Steuersignal 82 der Laserlichtquelle 10 den Befehl, weiterhin einen Bearbeitungslaserstrahl 20 zu

emittieren, solange die Aktivierungsvorrichtung 100 von dem behandelnden Arzt betätigt wird.

5 Für den Fall, daß innerhalb der festgesetzten Zeit  $t_2$  oder innerhalb der festgelegten Anzahl  $y$  von Pulsen kein Plasma erzeugt wird und die optische Erfassungseinrichtung 70 daher keine Plasmastrahlung detektieren kann, wird die Auswerte- und Steuereinheit 80 ein Steuersignal 82 generieren, das die Laserlichtquelle 10 in einen Ruhemodus versetzt, d.h. die Laserlichtquelle 10 wird abgeschaltet oder abgeschirmt. Zur Abschirmung kann ein Shutter 14 dienen, das bei der in Figur 1 gezeigten Ausführungsform integriert mit der Laserlichtquelle 10 ausgebildet ist.

10 Ähnlich kann das Verfahren während des kontinuierlichen Betriebs, bei dem eine plasmainduzierte Ablation des Zahnmaterials stattfindet, verlaufen. Sollten sich während der Ablation die Bedingungen ändern, beispielsweise der behandelnde Arzt das Handstück so halten, daß sich das zu bearbeitende Material nicht mehr im Tiefenschärfenbereich befindet, so wird kein Plasma induziert werden. Die optische Erfassungseinrichtung detektiert dies und gibt ein entsprechendes Signal 72 an die Auswerte- und Steuereinheit 80 weiter, die entweder sofort oder  
15 aber, was bevorzugt ist, nach einer Verzögerungszeit  $t_1$  oder einer festgelegten Anzahl  $x$  von Pulsen, über ein Steuersignal 82 den Befehl gibt, die Laserlichtquelle 10 abzuschalten, beispielsweise mittels des Shutters 14 abzuschirmen, wobei eine Abschirmung bevorzugt ist, da insbesondere bei komplexeren Laserlichtquellen sichergestellt werden soll, daß diese in einem  
20 gleichmäßigen Betrieb ohne Unterbrechungen laufen.

Befindet sich nun die Laserlichtquelle 10 in einem Ruhemodus, beispielsweise weil beim Beginn der Bearbeitung nach dem Zeitraum  $t_2$  oder nach  $y$  Pulsen noch kein Plasma gezündet worden ist, oder weil während des plasmainduzierten Ablatierens eine Unterbrechung des Plasmas für einen Zeitraum  $t_1$  oder für  $x$  Pulse detektiert worden ist, ist aber gleichzeitig die  
25 Aktivierungsvorrichtung 100 noch in ihrem aktivierten bzw. betätigten Zustand, so ist es bei einer Betriebsart des Laserbehandlungsgeräts möglich, daß beispielsweise nach einem Zeitraum  $t_3$  oder nach einer festgelegten Anzahl  $z$  von Pulsen die Laserlichtquelle 10 wieder automatisch von der Auswerte- und Steuereinheit 80 in den Bearbeitungsmodus geschaltet wird. Nun kann erneut das oben beschriebene Verfahren durchgeführt werden, d.h. es kann bei-

spielsweise über einen Zeitraum  $t_2$  oder über eine Anzahl  $y$  von Pulsen geprüft werden, ob das Plasma 30 wieder gezündet wird.

Die oben beschriebenen Verfahren können sich abwechseln und/oder mehrfach wiederholt werden, die Auswerte- und Steuereinheit 80 ist bei einer bevorzugten Ausführungsform jedoch so ausgebildet, daß beispielsweise nach einer festgelegten Anzahl von Wiederholungen des automatischen Versetzens der Laserlichtquelle 10 in den Bearbeitungsmodus, wenn in dem darauffolgenden Zeitraum  $t_1$  kein Plasma detektiert wird, die Laserlichtquelle 10 abschließend in einen Ruhemodus versetzt wird, und beispielsweise lediglich durch ein Deaktivieren und erneutes Aktivieren der Aktivierungsvorrichtung 100 ein neuer Zyklus gestartet werden kann, wie oben beschrieben worden ist.

Die Auswerte- und Steuereinheit 80 ist bei dieser Ausführungsform regelbar ausgestaltet, so daß insbesondere gewünschte Parameter, insbesondere die gewünschten Zeiträume  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$  bzw. die gewünschte Anzahl  $x$ ,  $y$ ,  $z$  von Pulsen oder auch eine gewünschte Anzahl von Repetitionen der einzelnen Zyklen, wie oben erläutert, eingestellt werden kann. Auch ist die Auswerte- und Steuereinheit 80 dahingehend regelbar, daß die Signale 72 der optischen Erfassungseinrichtung 70 unterschiedlich ausgewählt werden, insbesondere festgesetzte Schwellwerte variiert und festgesetzt werden können.

Üblicherweise wird mindestens ein Schwellwert festgelegt, wobei die Auswerte- und Steuereinheit 80 davon ausgeht, daß kein Plasma gezündet wird, wenn das Signal 72 unter diesen Schwellwert fällt.

Die Auswerte- und Steuereinheit 80 ist jedoch bei der gezeigten Ausführungsform so ausgelegt, daß mehrere Schwellwerte, insbesondere ein erster Schwellwert und ein zweiter Schwellwert, variabel festgelegt und abgespeichert werden können, wobei die Auswerte- und Steuereinheit 80 so ausgelegt ist, daß sie die Laserlichtquelle 10 von einem Bearbeitungsmodus in einen Ruhemodus schaltet, wenn das Signal 72 unter einem ersten Schwellwert fällt, während sie die Laserlichtquelle 10 von einem Ruhemodus in einen Bearbeitungsmodus schaltet, wenn das Signal 72 der optischen Erfassungseinrichtung 70 einen zweiten Schwellwert übersteigt, so daß eine Hystereseschaltung verwirklicht wird.

Figur 2 zeigt einen Graphen, auf dem die Fluenz eines Bearbeitungslaserstrahls in Abhängigkeit vom Abstand des Fokus dargestellt ist. Diesem Graphen liegt ein hochenergetischer, gepulster Bearbeitungslaserstrahl zugrunde, wobei Laserlicht mit einer Wellenlänge von 780 nm emittiert wird. Der Bearbeitungslaserstrahl hat einen Fokusdurchmesser von 100 µm und emittiert ein gepulstes Laserlicht mit einer Pulslänge von 700 fs, wobei die Laserpulse mit einer Pulsfrequenz von 10 kHz emittiert werden. Die emittierte Laserenergie beträgt 150 µJ.

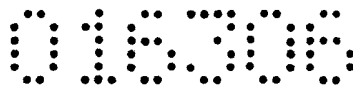
Eine plasmainduzierte Ablation startet, in Abhängigkeit von dem zu ablatierenden Material, erst ab einer gewissen minimalen Fluenz, wobei Dentin bereits bei etwa 0,5 J/cm<sup>2</sup> ablatiert wird, Schmelz erst ab einem Fluenzwert von knapp 1,4 J/cm<sup>2</sup>. Die entsprechenden Ablationsschwellen sind in Figur 2 dargestellt.

Zum Vergleich wurde auch die Ablationsschwelle von Glas dargestellt, die bei etwa 3,0 J/cm<sup>2</sup> liegt. Die Ablationsschwelle von Glas ist deshalb von Bedeutung, da bei einem Einsatz von einem Handstück, wie oben beschrieben, der Bearbeitungslaserstrahl (20, s. Figur 1) aus einem Handstück in der Regel durch ein abschließendes Schutzglas (110, s. Figur 1), das den Handstückinnenraum abschließt, abgestrahlt wird. Da sich dieses Schutzglas in der Nähe des Fokus befindet, treten bereits auf dem Schutzglas unter Umständen hohe Fluenzen auf.

Wie der Figur 2 zu entnehmen ist, ist ein Schutzglas in einem Abstand von 8 mm von dem Fokus angeordnet, so daß am Schutzglas eine Fluenz von etwa 0,9 J/cm<sup>2</sup> auftritt. Da eine Ablation des Schutzglases jedoch erst ab einer Fluenz von ca. 3 J/cm<sup>2</sup> auftritt, ist ein Sicherheitsfaktor von ca. 3,5 für das Schutzglas (110, s. Figur 1) vorgesehen.

Bei einem sehr hochenergetischen, gepulsten Bearbeitungslaserstrahl, wie er Grundlage für die in Figur 2 gezeigte Grafik ist, tritt eine plasmainduzierte Ablation von Schmelz und Dentin auch dann auf, wenn sich das zu bearbeitende Material nicht exakt oder in unmittelbarer Nähe des Fokus befindet. Wie aus Figur 2 ersichtlich ist, tritt eine plasmainduzierte Ablation von Schmelz auch dann auf, wenn sich das zu bearbeitenden Material in einem Abstand von ca. ± 6 mm von dem Fokus befindet, während eine plasmainduzierte Ablation von Dentin auch dann auftritt, wenn sich das Material in einem Abstand von ca. ± 12 mm von dem Fokus befindet.





Wird daher beispielsweise Zahnschmelz ablatiert bzw. bearbeitet, tritt ein Plasma immer dann auf, wenn der zu bearbeitende Zahnschmelz maximal  $\pm 6$  mm von dem Fokus entfernt ist. Solange dieser Bereich eingehalten wird, findet Ablation statt und das Laserbearbeitungsgerät befindet sich in einem Betriebsmodus.

- 5 Wird nun beispielsweise ein Handstück von einem behandelnden Arzt so geführt, daß der Abstand des zu bearbeitenden Zahnschmelzes von dem Fokus mehr als  $\pm 6$  mm beträgt, wirkt auf den zu bearbeitenden Zahnschmelz eine Fluenz, die unter der Fluenzschwelle liegt, so daß keine plasmainduzierte Ablation stattfindet und kein Plasma erzeugt wird. In diesem Falle schaltet das Laserbearbeitungsgerät die Laserlichtquelle automatisch in einen Ruhemodus,  
10 wie oben erläutert.

- Die Ablationsschwellen sind materialabhängig, so daß sich je nach zu bearbeitendem Material und je nach Leistung der Laserlichtquelle ganz unterschiedliche Bereiche ergeben können, in denen eine plasmainduzierte Ablation des zu bearbeitenden Materials stattfindet. Wird beispielsweise eine schwächere Laserlichtquelle verwendet, würde sich die Fluenzkurve in Figur  
15 2 nach unten verschieben, so daß die Bereiche, in denen eine plasmainduzierte Ablation stattfindet, geringer werden, so daß eine genauere Positionierung beispielsweise eines Handstücks erforderlich wird.

- Figur 3 zeigt eine zu Figur 2 analoge Grafik, bei der jedoch eine Laserlichtquelle verwendet wurde, die eine geringere Leistung aufweist. Die maximal erzielbare Fluenz im Fokus liegt,  
20 wie aus der Figur ersichtlich ist, bei circa  $1,4 \text{ J/cm}^2$ , so daß bei einer solchen Laserlichtquelle eine plasmainduzierte Ablation von Zahnschmelz nur dann auftritt, wenn sich das zu bearbeitende Material in einem Abstand von circa  $\pm 1 \text{ mm}$  von dem Fokus befindet, während eine plasmainduzierte Ablation von Dentin auch dann auftritt, wenn sich das Material in einem Abstand von circa  $\pm 6 \text{ mm}$  von dem Fokus befindet.

- 25 Bei einer Laserlichtquelle, wie sie der Grafik der Figur 3 zugrunde liegt, ist daher die Einhaltung der erforderlichen Abstände zu dem zu bearbeitenden Material wesentlich kritischer als bei einer Ausführungsform mit einer Laserlichtquelle, die der Grafik aus Figur 2 zugrunde liegt.

Bei dem Laserbearbeitungsgerät, das zu dem in Figur 2 gezeigten Werten für die Fluenz geführt hat, befindet sich das Schutzglas ebenfalls 8 mm vor dem Fokus, die relevanten Laserparameter betragen  $56\mu\text{J}$ , 700 fs bei einem Fokus von  $100\mu\text{m}$ .

5 In Figur 4 schließlich ist schematisch das Prinzip einer optionalen Vorrichtung zur Erzeugung eines Abstandsindikators dargestellt. Bei der in Figur 4 gezeigten Ausführungsform handelt es sich um eine Vorrichtung zur Erzeugung eines Licht-Fadenkreuzes 200, das durch die Überlagerung zweier Lichtlinien 210, 220 gebildet wird. Die Lichtlinien 210, 220 werden von Lichtquellen 310, 320 erzeugt, die so angeordnet sind, daß die Lichtlinien 210 und 220 schräg zueinander verlaufen und sich so überschneiden, daß sie im Fokus ein gleichmäßiges Fadenkreuz 200 bilden, wie es im Schnitt B-B in Figur 4 dargestellt ist.

Befindet sich daher das zu bearbeitende Material im Fokus des Bearbeitungslaserstrahls 20, der hier nur schematisch angedeutet ist, so ist daher auf dem zu bearbeitenden Material ein gleichmäßiges, aus den Lichtlinien 210, 220 gebildetes Fadenkreuz sichtbar.

15 Befindet sich dagegen die zu bearbeitende Fläche bzw. das zu bearbeitende Material beispielsweise zu nahe an einem Handstück, also zwischen Fokus und Laserlichtquelle bzw. zwischen Fokus und einem hier schematisch dargestellten Schutzglas 110 eines Handstücks, oder zu weit entfernt, also hinter dem Fokus, so wandern die projizierten Lichtlinien 210 und 220 auseinander, wie in der Schnittdarstellung A-A bzw. in der Schnittdarstellung C-C in Figur 4 gezeigt ist.

20 Eine solche Abstandsindikatorvorrichtung gibt daher dem Bediener eines Laserbearbeitungsgeräts einen Indikator, ob er beispielsweise ein Handstück so hält, daß sich der zu bearbeitende Bereich im wesentlichen im Fokus des Bearbeitungslaserstrahls befindet oder aber außerhalb des Fokus. Eine solche Vorrichtung ist eine sehr vorteilhafte, optionale Ergänzung zu einem erfindungsgemäßen Laserbearbeitungsgerät und unterstützt eine komfortable Bedienung des Geräts.

In Verbindung mit einem Pilotlaser, der ebenfalls optional vorgesehen sein kann und der einen Pilotlaserstrahl 18 erzeugt, wird die Indikatorvorrichtung noch vorteilhafter für den Be-

nutzer. Wie in Fig. 4 ebenfalls gezeigt ist, ist für den Benutzer neben den Lichtlinien 210 und 220 auf der zu bearbeitenden Fläche oder dem zu bearbeitendem Material ferner der von dem Pilotlaserstrahl 18 erzeugte Lichtpunkt sichtbar, wie es insbesondere in den Schnittdarstellungen A-A, B-B und C-C in Fig. 4 ersichtlich ist.

- 5 Bei der „Idealpositionierung“ überschneidet sich daher, wie in der Schnittdarstellung B-B gezeigt, der Schnittpunkt des Fadenkreuzes genau mit dem Lichtpunkt des Pilotlaserstrahls 18, so daß für den Benutzer auch gegebenenfalls sehr leichte Verschiebungen der Lichtlinien 210 und 220 aufgrund der relativen Positionierung zu dem vom Pilotlaserstrahl 18 erzeugten Lichtpunkt deutlich werden.
- 10 Eine Kombination einer optionalen Abstandsindikatorvorrichtung mit dem, ebenfalls optionalen, Pilotlaser, ermöglicht daher dem Benutzer eine besonders vorteilhafte und effektive Hilfe zur Handhabung und korrekten Positionierung beispielsweise eines Hand- oder Winkelstückes.

- Die in der vorstehenden Beschreibung, den Ansprüchen und der Zeichnung offenbarten
- 15 Merkmale können sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination für die Realisierung der Erfindung in ihren verschiedenen Ausgestaltungen von Bedeutung sein.

### Patentansprüche

#### 1. Laserbearbeitungsgerät zur plasmainduzierten Ablation mit

- 10       - einer Laserlichtquelle (10) zur Erzeugung eines Bearbeitungslaserstrahls (20),
- einem Fokussiermittel (40) zur Fokussierung des Bearbeitungslaserstrahls (20), und
- einer optischen Erfassungsvorrichtung (70) zur Erfassung der bei einer Ablation erzeugten Plasmastrahlung (32),

dadurch gekennzeichnet, daß

- 15       das Laserbearbeitungsgerät eine Auswerte- und/oder Steuereinheit (80) umfaßt, wobei die optische Erfassungsvorrichtung (70) so ausgebildet ist, daß von ihr ein von der Intensität der erfaßten Plasmastrahlung abhängiges Signal (72) an die Auswerte- und/oder Steuereinheit (80) ausgebar ist, und das Laserbearbeitungsgerät so ausgelegt ist, daß es in Ab-
- 20       hängigkeit dieses Signals (72) automatisch von einem Bearbeitungsmodus in einen Ruhemodus und/oder von dem Ruhemodus in den Bearbeitungsmodus schaltbar ist.

2. Laserbearbeitungsgerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß es so ausgelegt ist, daß es automatisch von einem Bearbeitungsmodus in einen Ruhemodus geschaltet wird, wenn die von der optischen Erfassungsvorrichtung (70) zu einer bestimmten Meßzeit erfaßte Intensität der Plasmastrahlung (32) unter einem festlegbaren, ersten Schwellwert
- 25       fällt.

3. Laserbearbeitungsgerät nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß es so ausgelegt ist, daß der Ruhemodus einen zeitlich beschränkten Probemodus umfaßt, während dem ein Bearbeitungslaserstrahl (20) emittiert wird und das Laserbearbeitungsgerät automatisch in einen Bearbeitungsmodus geschaltet wird, wenn die von der optischen Erfassungsvorrichtung (70) zu einer bestimmten Meßzeit erfaßte Intensität der Plasmastrahlung
- 30

(32) aufgrund des im Probemodus emittierten Bearbeitungslaserstrahls (10) über einen festlegbaren, zweiten Schwellwert steigt.

4. Laserbearbeitungsgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Laserbearbeitungsgerät ferner eine von einem Benutzer betätigbare Aktivierungsvorrichtung (100) umfaßt, die so ausgelegt ist, daß sich das Laserbearbeitungs-  
5     gerät in dem Ruhemodus befindet, wenn sie nicht von dem Benutzer betätigt ist.
5. Laserbearbeitungsgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es ferner eine Verzögerungsvorrichtung (84) umfaßt.
6. Laserbearbeitungsgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Laserbearbeitungsgerät so ausgebildet ist, daß der oder die Schwellwerte  
10     und/oder die Fluenz des Bearbeitungslaserstrahls (20) einstellbar sind.
7. Laserbearbeitungsgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es ferner eine Synchronisiervorrichtung (86) umfaßt, die die optische Erfassungseinrichtung (70) und/oder die Auswerte- und/oder Steuereinheit (80) an die Ab-  
15     strahlcharakteristik der Laserlichtquelle (10) anpaßt.
8. Laserbearbeitungsgerät nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Laserlicht-  
   quelle (10) so ausgebildet ist, daß sie einen gepulsten Bearbeitungslaserstrahl (20) emit-  
   tiert, und die Synchronisiervorrichtung (86) so ausgebildet ist, daß sie die optische Erfas-  
   sungseinrichtung (70) und/oder die Auswerte- und/oder Steuereinheit (80) so an eine Puls-  
20     repetitionsrate  $f$  des Bearbeitungslaserstrahls (20) anpaßt, daß die erfaßte Intensität der  
   Plasmastrahlung (32) mit einer entsprechenden Erfassungsrepetitionsrate  $f'$  zur Steuerung  
   des medizinischen Laserbearbeitungsgeräts verwendet wird.
9. Laserbearbeitungsgerät nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Laser-  
   lichtquelle (10) und die Synchronisiervorrichtung (86) so ausgelegt sind, daß die Intensität  
25     der Plasmastrahlung (32) nur maximal in den Zeiträumen ausgewertet wird, in denen eine  
   im Pulsbetrieb arbeitenden Laserlichtquelle (10) einen Laserpuls mit einer Pulsdauer  $t$   
   emittiert.

10. Laserbearbeitungsgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es ferner eine Vorrichtung zur Erzeugung eines Pilotlaserstrahls umfaßt.
11. Laserbearbeitungsgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es ferner eine Vorrichtung zur optischen, akustischen und/oder taktilen Anzeige des Modus des Laserbearbeitungsgeräts umfaßt.
- 5 12. Laserbearbeitungsgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es ferner eine Vorrichtung zur Erzeugung eines Abstandsindikators umfaßt.
- 10 13. Laserbearbeitungsgerät nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung zur Erzeugung eines Abstandsindikators eine Projektionsvorrichtung (310, 320) zur Projektion eines Fadenkreuzes (200) in der Fokusebene des Bearbeitungslaserstrahls (20) umfaßt.

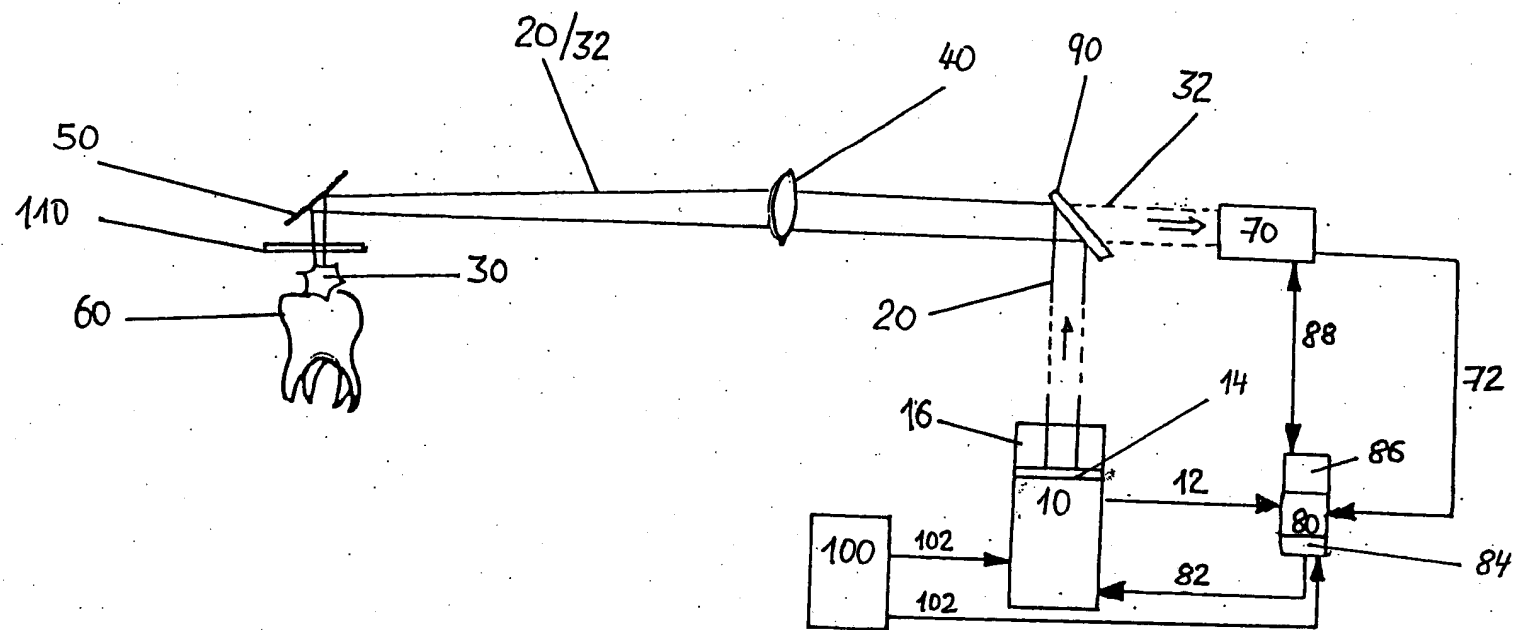


Fig. 1

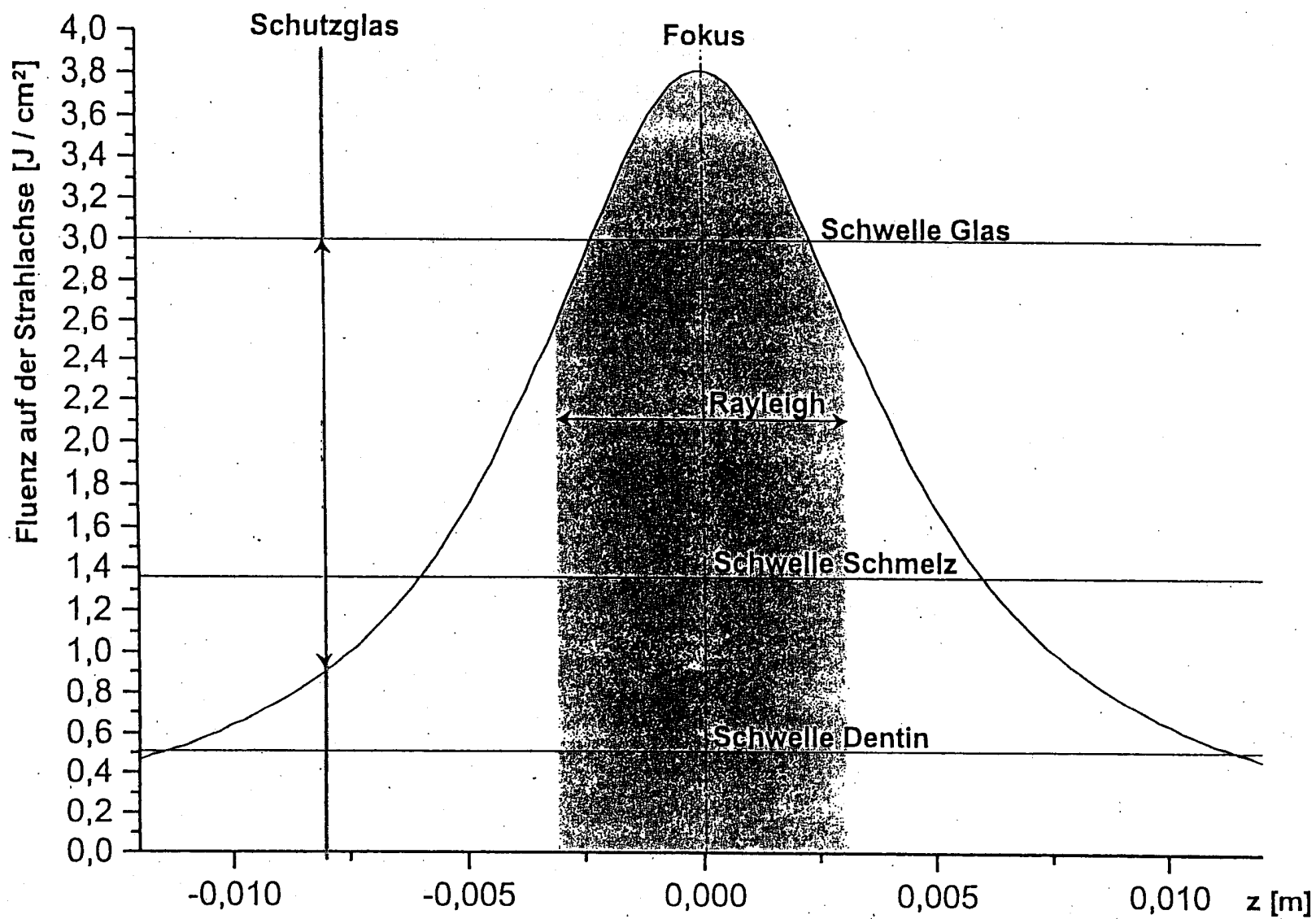
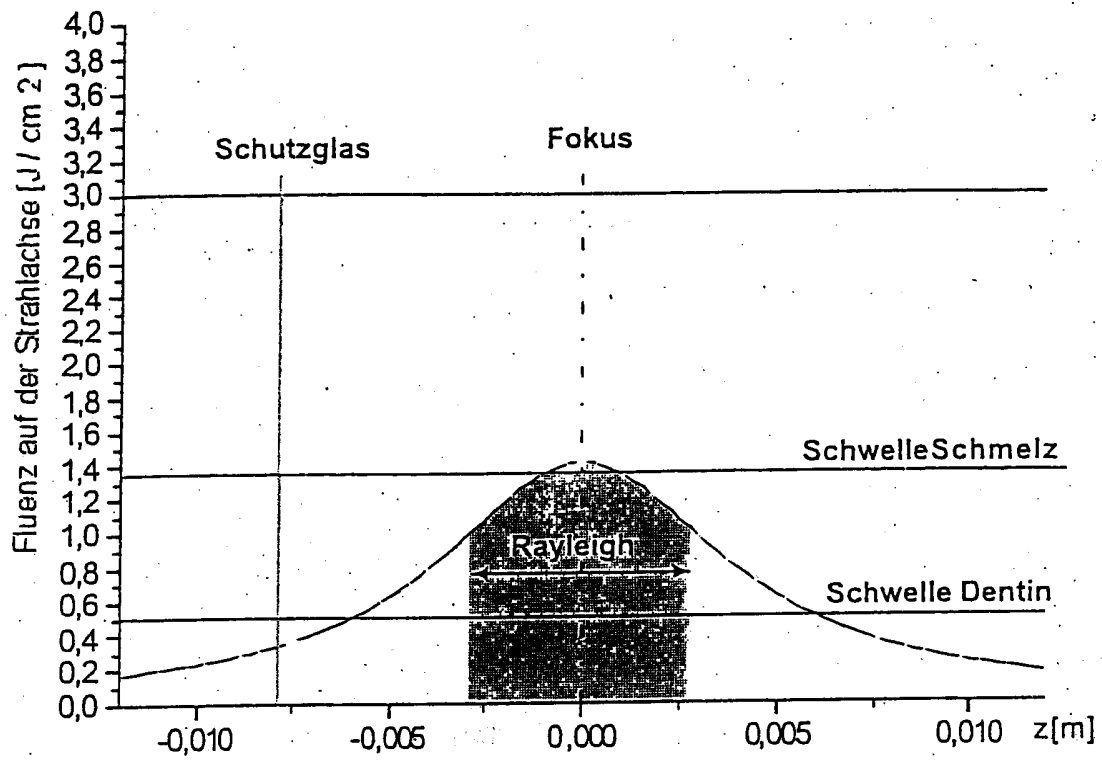
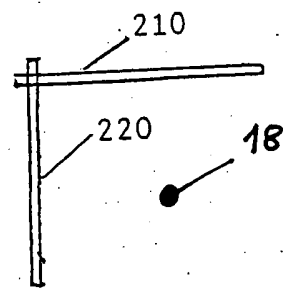
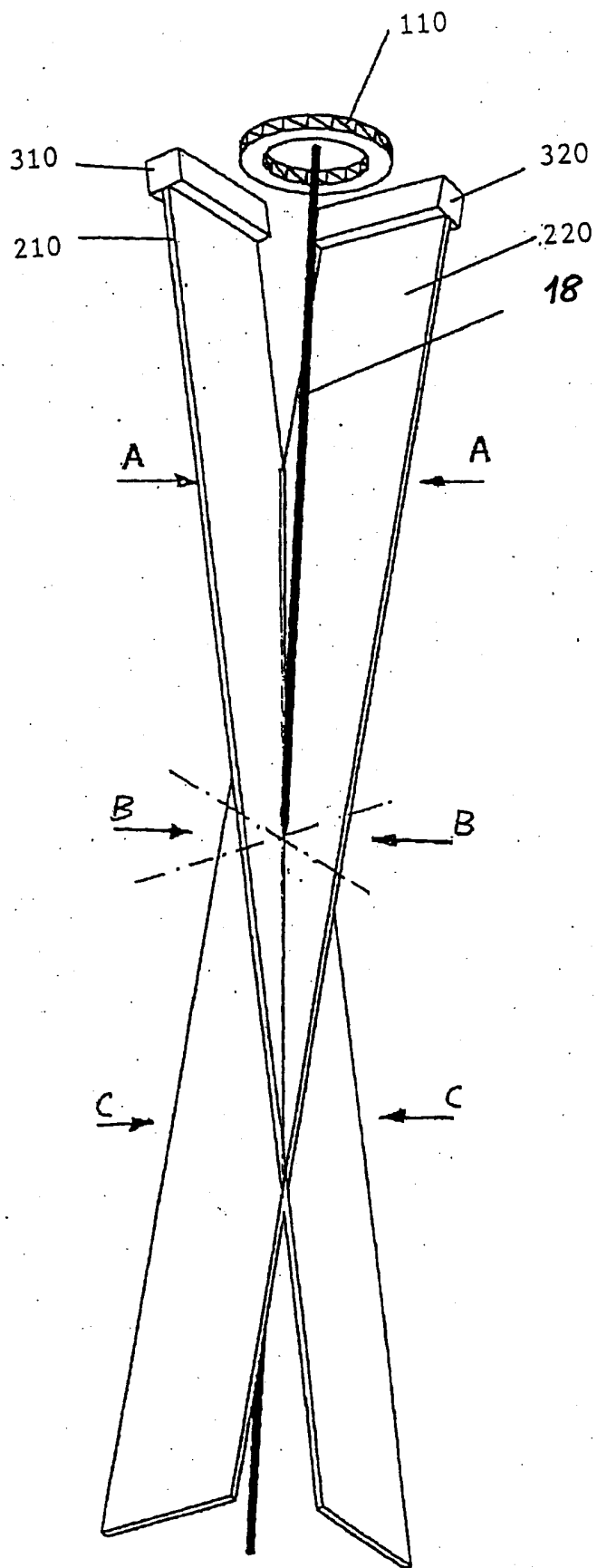


Fig. 2

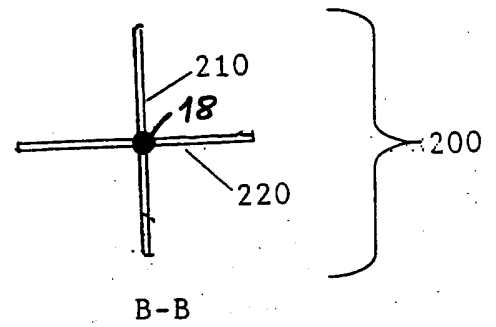
024



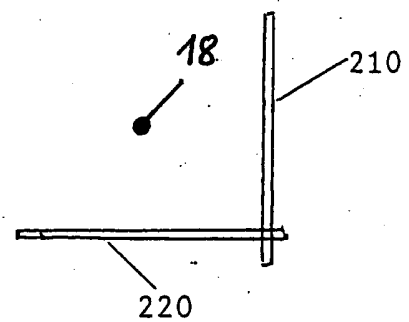
Fig. 3



A-A



B-B



C-C

Fig. 4

5

**Patentansprüche**

10

1. Laserbearbeitungsgerät zur plasmainduzierten Ablation mit
- einer Laserlichtquelle (10) zur Erzeugung eines Bearbeitungslaserstrahls (20),
  - einem Fokussiermittel (40) zur Fokussierung des Bearbeitungslaserstrahls (20), und
  - 15 - einer optischen Erfassungsvorrichtung (70) zur Erfassung der bei einer Ablation erzeugten Plasmastrahlung (32),

dadurch gekennzeichnet, dass

20

das Laserbearbeitungsgerät eine Auswerte- und/oder Steuereinheit (80) für eine von der optischen Erfassungsvorrichtung (70) ausgebbares, von der Intensität der erfassten Plasmastrahlung abhängiges Signal (72) umfasst, um das Laserbearbeitungsgerät in Abhängigkeit dieses Signals (72) automatisch von einem Bearbeitungsmodus in einen Ruhemodus und/oder von dem Ruhemodus in den Bearbeitungsmodus zu schalten.

25

2. Laserbearbeitungsgerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass es automatisch von einem Bearbeitungsmodus in einen Ruhemodus schaltbar ist, wenn die von der optischen Erfassungsvorrichtung (70) zu einer bestimmten
- 30 Messzeit erfasste Intensität der Plasmastrahlung (32) unter einem festlegbaren, ersten Schwellwert fällt.

30

3. Laserbearbeitungsgerät nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Ruhemodus einen zeitlich beschränkten Probemodus umfasst, während dem
- 35 ein Bearbeitungslaserstrahl (20) emittiert wird und das Laserbearbeitungsgerät

35

NACHGEREICHT
--------------

automatisch in einen Bearbeitungsmodus geschaltet wird, wenn die von der optischen Erfassungsvorrichtung (70) zu einer bestimmten Messzeit erfasste Intensität der Plasmastrahlung (32) aufgrund des im Probemodus emittierten Bearbeitungslaserstrahls (10) über einen festlegbaren, zweiten Schwellwert steigt.

5

4. Laserbearbeitungsgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Laserbearbeitungsgerät ferner eine von einem Benutzer betätigbare Aktivierungsvorrichtung (100) umfasst, wobei sich das Laserbearbeitungsgerät in dem Ruhemodus befindet, wenn dieselbe nicht von dem Benutzer betätigt ist.

10

5. Laserbearbeitungsgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass es ferner eine Verzögerungsvorrichtung (84) umfasst.

15

6. Laserbearbeitungsgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei dem Laserbearbeitungsgerät der oder die Schwellwerte und/oder die Fluenz des Bearbeitungslaserstrahls (20) einstellbar sind.

20

7. Laserbearbeitungsgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass es ferner eine Synchronisiervorrichtung (86) umfasst, die die optische Erfassungseinrichtung (70) und/oder die Auswerte- und/oder Steuereinheit (80) an die Abstrahlcharakteristik der Laserlichtquelle (10) anpasst.

25

8. Laserbearbeitungsgerät nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Laserlichtquelle (10) einen gepulsten Bearbeitungslaserstrahl (20) emittiert, und die Synchronisiervorrichtung (86) die optische Erfassungseinrichtung (70) und/oder die Auswerte- und/oder Steuereinheit (80) so an eine Pulsrepetitionsrate  $f$  des Bearbeitungslaserstrahls (20) anpasst, dass die erfasste Intensität der Plasmastrahlung (32) mit einer entsprechenden Erfassungsrepetitionsrate  $f'$  zur Steuerung des medizinischen Laserbearbeitungsgeräts verwendet wird.

30

9. Laserbearbeitungsgerät nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass von der Laserlichtquelle (10) und der Synchronisiervorrichtung (86) die Intensität der Plasmastrahlung (32) nur maximal in den Zeiträumen ausgewertet wird, in

denen eine im Pulsbetrieb arbeitenden Laserlichtquelle (10) einen Laserpuls mit einer Pulsdauer  $t$  emittiert.

5 10. Laserbearbeitungsgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass es ferner eine Vorrichtung zur Erzeugung eines Pilotlaserstrahls umfasst.

10 11. Laserbearbeitungsgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass es ferner eine Vorrichtung zur optischen, akustischen und/oder taktilen Anzeige des Modus des Laserbearbeitungsgeräts umfasst.

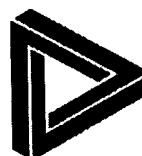
15 12. Laserbearbeitungsgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass es ferner eine Vorrichtung zur Erzeugung eines Abstandsindikators umfasst.

20 13. Laserbearbeitungsgerät nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung zur Erzeugung eines Abstandsindikators eine Projektionsvorrichtung (310, 320) zur Projektion eines Fadenkreuzes (200) in der Fokusebene des Bearbeitungslaserstrahls (20) umfasst.

Wien, am 16.10.2006

25 Anmelder(in) vertreten durch:  
Patentanwälte  
Puchberger, Berger & Partner  
Reichsratsstraße 18, A-1010 Wien

NACHGEREICHT



Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß IPC<sup>8</sup>:  
**B23K 26/04 (2006.01)**  
Recherchierter Prüfstoff (Klassifikation):  
**A61C, A61B, B23K**  
Konsultierte Online-Datenbank:  
**WPI, EPODOC, Volltext-Datenbanken**  
Dieser Recherchenbericht wurde zu den am **12. Mai 2003** eingereichten Ansprüchen erstellt.

Kategorie <sup>7)</sup>	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
A	DE 4106007 A1 (FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZU FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG), 3. September 1992 (03.09.1992) <i>Ansprüche</i> --	1 - 13
A	DE 3908187 A1 (JURCA MARIUS CHRISTIAN), 20. September 1990 (20.09.1990) <i>Spalten 2 - 4</i> --	1 - 13
A	DE 3813918 A1 (HOHLA KRISTIAN), 24. November 1988 (24.11.1988) <i>Spalten 1 - 2</i> ----	1 - 13

Datum der Beendigung der Recherche:  
**25. Juli 2006**

☐ Fortsetzung siehe Folgeblatt

Prüfer(in):  
**Mag. PAVDI**

<sup>7)</sup> Kategorien der angeführten Dokumente:

- X** Veröffentlichung von **besonderer Bedeutung**: der Anmeldungsgegenstand kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu bzw. auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden.
- Y** Veröffentlichung von **Bedeutung**: der Anmeldungsgegenstand kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren weiteren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist.

- A** Veröffentlichung, die den **allgemeinen Stand der Technik** definiert.
- P** Dokument, das **von Bedeutung** ist (Kategorien X oder Y), jedoch **nach dem Prioritätstag** der Anmeldung veröffentlicht wurde.
- E** Dokument, das **von besonderer Bedeutung** ist (Kategorie X), aus dem ein **älteres Recht** hervorgehen könnte (früheres Anmeldedatum, jedoch nachveröffentlicht, Schutz ist in Österreich möglich, würde Neuheit in Frage stellen).
- &** Veröffentlichung, die Mitglied der selben **Patentfamilie** ist.