

12

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

21 Anmeldenummer: 88115714.3

51 Int. Cl.⁵: G10K 15/04

22 Anmeldetag: 23.09.88

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:
28.03.90 Patentblatt 90/13

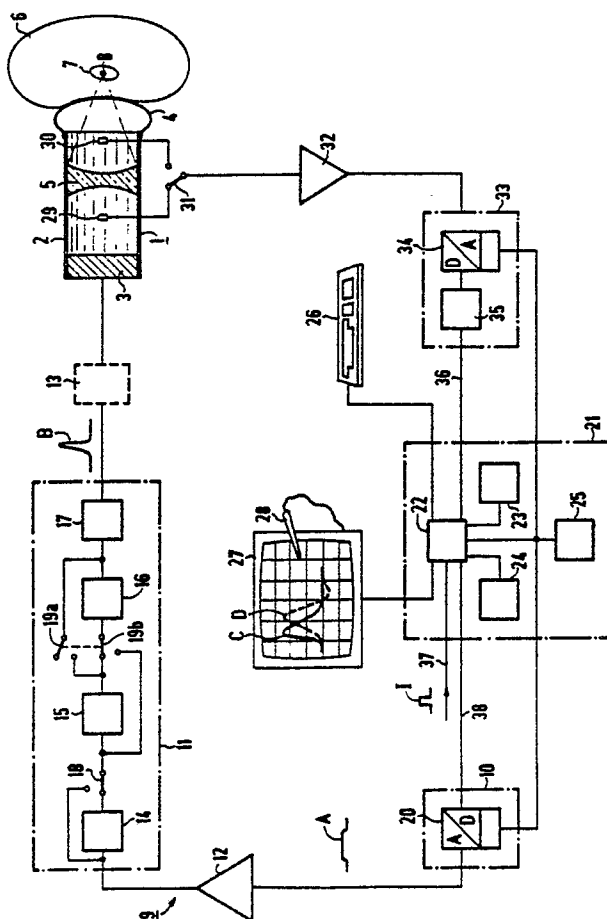
94 Benannte Vertragsstaaten:
DE FR GB NL

71 Anmelder: **Siemens Aktiengesellschaft**
Wittelsbacherplatz 2
D-8000 München 2(DE)

72 Erfinder: **Ermert, Helmut, Prof.,Dr.-Ing.**
Eichenring 15
D-8551 Röttenbach(DE)
Erfinder: **Pfeiler, Manfred, Dr.-Ing.**
Ludwig-Thoma-Strasse 25
D- 8520 Erlangen(DE)

54 **Hochspannungsgenerator und Verfahren zur Erzeugung eines Hochspannungsimpulses hoher Stromstärke zum Antrieb einer Stoßwellenquelle.**

57 Die Erfindung betrifft einen Hochspannungsgenerator zur Erzeugung eines Hochspannungsimpulses (B) hoher Stromstärke zum Antrieb einer Stoßwellenquelle (1), welche zur Erzeugung einer Stoßwelle in einem akustischen Übertragungsmedium dient. Der Hochspannungsgenerator weist einen Signalgenerator (10) zur Erzeugung eines Niederspannungssignales (A), dessen Energiegehalt zur Erzeugung der Stoßwelle ausreicht, und ein zwischen den Signalgenerator (10) und die Stoßwellenquelle (1) geschaltetes impulsformendes Netzwerk (11) auf, das eine solche Übertragungsfunktion besitzt, daß es das von dem Signalgenerator (10) stammende Niederspannungssignal (A) unter Verkürzung von dessen Signaldauer in einen zum Antrieb der Stoßwellenquelle (1) geeigneten Hochspannungsimpuls (B) überführt, dessen Energiegehalt im wesentlichen dem des Niederspannungssignales (A) entspricht. Die Erfindung betrifft außerdem ein Verfahren zur Erzeugung eines Hochspannungsimpulses zum Antrieb einer Stoßwellenquelle.



EP 0 359 863 A1

Hochspannungsgenerator und Verfahren zur Erzeugung eines Hochspannungsimpulses hoher Stromstärke zum Antrieb einer Stoßwellenquelle

Die Erfindung betrifft einen Hochspannungsgenerator zur Erzeugung eines Hochspannungsimpulses hoher Stromstärke zum Antrieb einer Stoßwellenquelle, welche zur Erzeugung einer Stoßwelle in einem akustischen Übertragungsmedium dient. Die Erfindung betrifft außerdem ein Verfahren zur Erzeugung eines solchen Hochspannungsimpulses.

Akustische Stoßwellen werden in der Technik für die unterschiedlichsten Zwecke, beispielsweise in der Materialforschung, eingesetzt. In der medizinischen Technik dienen sie zur nichtinvasiven Behandlung von Steinleiden. Dabei werden auf einen im Körper eines Patienten befindlichen Stein, z.B. einen Nierenstein, fokussierte Stoßwellen in den Körper des Patienten eingeleitet, unter deren Wirkung der Stein in Fragmente zerfällt, die auf natürlichem Wege abgehen oder durch zusätzliche chemotherapeutische Maßnahmen aufgelöst werden können. Außerdem ist daran gedacht, krankhafte Gewebeveränderungen, z.B. Tumore, mit Stoßwellen zu behandeln.

Zur Erzeugung der Stoßwellen finden Stoßwellenquellen unterschiedlicher Bauart Verwendung, z.B. Stoßwellenquellen mit Unterwasserfunkenstrecke (DE-OS 26 50 624), Stoßwellenquellen nach dem elektrodynamischen Prinzip (DE-OS 33 28 051) und Stoßwellenquellen nach dem piezoelektrischen Prinzip (DE-OS 33 19 871). All diesen Stoßwellenquellen ist gemeinsam, daß ihnen zur Erzeugung einer Stoßwelle ein Hochspannungsimpuls hoher Stromstärke zugeführt werden muß. Dieser wird gewöhnlich mittels eines Hochspannungsgenerators erzeugt, der eine Hochspannungsversorgung, einen mittels der Hochspannungsversorgung auf Hochspannung aufladbaren Hochspannungskondensator und einen Hochspannungs-Schalter, z.B. eine triggerbare Schaltfunkenstrecke, enthält. Dabei dient der Hochspannungs-Schalter dazu, den aufgeladenen Hochspannungskondensator an die Stoßwellenquelle anzuschalten, so daß sich die in dem Hochspannungskondensator gespeicherte elektrische Energie zur Erzeugung einer Stoßwelle schlagartig in die Stoßwellenquelle entlädt (siehe z.B. DE-OS 33 28 051). Dabei ist von Nachteil, daß eine teure und relativ störanfällige Hochspannungsversorgung erforderlich ist und der Hochspannungs-Schalter relativ rasch verschleiben kann und dann ausgetauscht werden muß. Außerdem läßt sich die Wellenform (zeitlicher Amplitudenverlauf und Impulsdauer) der unter Zuhilfenahme des bekannten Hochspannungsgenerators erzeugten Stoßwellen an die Bedürfnisse des jeweiligen Therapiefalles nur schwer anpassen. Die kapazitiven, induktiven und ohm'schen Widerstands-

komponenten der Stoßwellenquelle bilden nämlich gemeinsam mit den Bauelementen des Hochspannungsgenerators ein Netzwerk, in dem bei der Entladung des Hochspannungskondensators impulsartige Spannungs- und/oder Stromverläufe hoher Energie auftreten. Deren zeitlicher Verlauf bestimmt zusammen mit den akustischen Eigenschaften der Stoßwellenquelle und des Überlagerungsmediums (Wasser, Körpergewebe) die Wellenform der erzeugten Stoßwelle. Eine Einflußnahme auf die Wellenform der erzeugten Stoßwelle ist somit nur durch Veränderung des durch den Hochspannungsgenerator und die Stoßwellenquelle gebildeten elektrischen Netzwerkes oder der akustischen Eigenschaften der Stoßwellenquelle möglich, sehr was umständlich und in der klinischen Praxis nicht durchführbar ist. Üblicherweise stellt daher die Wellenform der erzeugten Stoßwellen einen Kompromiß dar, der allen, nämlich den heute zur Routine gehörenden und in klinischer Forschung angegangenen als auch den zukünftig möglichen Therapiefällen mit Sicherheit nicht gerecht werden kann.

Außerdem ist bei den bekannten Hochspannungsgeneratoren infolge des Umstandes, daß die zur Aufladung des Hochspannungskondensators vorgesehene Hochspannungsversorgung nur einen relativ geringen Ladestrom liefern kann, die zur Aufladung des Hochspannungskondensators erforderliche Zeit relativ groß und die maximale Wiederholfrequenz der Stoßwellenerzeugung entsprechend gering.

Es ist zwar denkbar, als Hochspannungs-Schalter als Schalter betriebene Halbleiter-Elemente vorzusehen, jedoch scheitert dies an den für den Betrieb mit Hochspannung und hohen Strömen nicht geeigneten technischen Eigenschaften der Halbleiter-Elemente.

Außerdem wurde bereits in Betracht gezogen, die Stoßwellenquelle mittels eines Generators anzutreiben, der ähnlich wie ein Ultraschallsender aufgebaut ist und mittels dessen die Stoßwellenquelle zur Anpassung der Wellenform der Stoßwelle an den jeweiligen Therapiefall mit Impulsen unterschiedlichen zeitlichen Verlaufes beaufschlagbar ist (DE-OS 31 19 295). Solche Lösungen sind jedoch nur für vergleichsweise geringe Spannungen und Ströme geeignet, die allenfalls zum Antrieb bestimmter piezoelektrischer Stoßwellenquellen ausreichen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Hochspannungsgenerator der eingangs genannten Art so auszubilden, daß eine Hochspannungsversorgung und Hochspannungs-Schalter

vermieden sind und im Zusammenwirken mit einer Stoßwellenquelle beliebiger Bauart auf einfache Weise eine Einflußnahme auf die Wellenform der erzeugten Stoßwelle möglich ist. Außerdem liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren anzugeben, daß es gestattet, einen zum Antrieb von Stoßwellenquellen geeigneten Hochspannungsimpuls hoher Stromstärke ohne Hochspannungsversorgung und Hochspannungs-Schalter zu erzeugen.

Nach der Erfindung wird diese Aufgabe dadurch gelöst, daß der Hochspannungsgenerator einen Signalgenerator zur Erzeugung eines Niederspannungssignales, dessen Energiegehalt zur Erzeugung einer Stoßwelle ausreicht, und ein zwischen den Signalgenerator und die Stoßwellenquelle geschaltetes impulsformendes Netzwerk aufweist, das eine solche Übertragungsfunktion besitzt, daß es das von dem Signalgenerator stammende Niederspannungssignal unter Verkürzung von dessen Impulsdauer in einen zum Antrieb der Stoßwellenquelle geeigneten Hochspannungsimpuls überführt, dessen Energiegehalt im wesentlichen dem des Niederspannungssignales entspricht. Im Falle des erfindungsgemäßen Hochspannungsgenerators wird also der Hochspannungsimpuls nicht unter Zuhilfenahme von Hochspannungsschaltern erzeugt, sondern mittels des impulsformenden Netzwerkes, das aus passiven verlustarmen Bauelementen, z.B. Spulen und Kondensatoren, aufgebaut ist. Außerdem ist im Gegensatz zu Hochspannungsgeneratoren nach dem Stand der Technik keine Hochspannungsversorgung erforderlich. An deren Stelle tritt im Falle der Erfindung der Signalgenerator, der lediglich Niederspannungssignale erzeugt. Ein solcher Signalgenerator kann in konventioneller Technik kostengünstig aufgebaut werden. Außerdem kann mit geringem technischen Aufwand allein durch Maßnahmen am Signalgenerator die Signaldauer und/oder der Amplitudenverlauf des erzeugten Niederspannungssignales und damit die Gestalt des hinter dem impulsformenden Netzwerk vorliegenden Hochspannungsimpulses beeinflußt werden, dessen zeitlicher Verlauf für die Wellenform der erzeugten Stoßwelle von entscheidender Bedeutung ist, so daß auf einfache Weise Stoßwellen unterschiedlicher Wellenform erzeugt werden können. Die maximale Wiederholfrequenz der Stoßwellenerzeugung ist gegenüber dem Stand der Technik erheblich gesteigert, da der Signalgenerator die Niederspannungssignale mit hoher Folgefrequenz abgeben kann. Die Funktion des impulsformenden Netzwerkes beruht auf der Tatsache, daß Signale beliebiger Gestalt durch Überlagerung von harmonischen Schwingungen unterschiedlicher Frequenz darstellbar sind. Durchläuft ein Signal somit ein Netzwerk, dessen Übertragungsfunktion so gewählt ist, daß für unterschiedli-

che Frequenzen unterschiedliche Laufzeiten vorliegen, tritt bei geeigneter Wahl der Übertragungsfunktion infolge der unterschiedlichen Laufzeiten der einzelnen Frequenzkomponenten des Niederspannungssignales eine Steigerung der Amplitude des Signales bei gleichzeitiger Verringerung der Signaldauer auf. Es wird somit deutlich, daß mittels eines impulsformenden Netzwerkes auf einfache Weise ein Niederspannungssignal in einen Hochspannungsimpuls überführt werden kann, dessen Impulsdauer wesentlich kürzer als die Signaldauer des Niederspannungssignales ist. Dabei bleibt nicht nur die Bandbreite des Niederspannungssignales, sondern bei Aufbau des Netzwerkes aus verlustarmen Bauelementen auch der Energiegehalt des Niederspannungssignales im wesentlichen erhalten. Der erfindungsgemäße Hochspannungsgenerator kann mit Stoßwellenquellen beliebiger Bauart zusammenwirken, sofern zu deren Antrieb Hochspannungsimpulse erforderlich sind.

Impulsformende Netzwerke, die eine solche Übertragungsfunktion besitzen, daß ein dem Netzwerk zugeführtes Signal unter Verkürzung seiner Signaldauer in einen Impuls hoher Amplitude überführt wird, sind im Zusammenhang mit dem sogenannten Pulskompressionsradar übrigens bereits bekannt.

Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, daß als impulsformendes Netzwerk ein mehrstufiges aus LC-Allpaßnetzwerken gebildetes Filter vorgesehen ist. Ein derartiges Filter kann aus hochspannungsfesten Kondensatoren und Induktivitäten auf einfache Weise und nahezu verlustfrei aufgebaut werden. Dabei kann gemäß einer Ausführungsform der Erfindung vorgesehen sein, daß das impulsformende Netzwerk eine umschaltbare Übertragungsfunktion aufweist, was durch Umschaltung der Verbindungen der Bauelemente des impulsformenden Netzwerkes leicht realisierbar ist. Durch Umschalten der Übertragungsfunktion besteht die Möglichkeit, bei identischem Niederspannungssignal die Wellenform der erzeugten Stoßwelle zu verändern, da der Stoßwellenquelle dann in Abhängigkeit von der gewählten Übertragungsfunktion unterschiedliche Hochspannungsimpulse zuführbar sind.

Die Wellenform der erzeugten Stoßwelle kann auf besonders vielfältige und besonders einfache Weise beeinflußt werden, wenn der Signalgenerator gemäß einer Variante der Erfindung derart ausgebildet ist, daß die Signaldauer und/oder der Amplitudenverlauf des erzeugten Niederspannungssignales einstellbar sind.

Da der Signalgenerator als Niederspannungsschaltung ausgeführt ist, sind die hierzu erforderlichen schaltungstechnischen Maßnahmen mit keinerlei Schwierigkeiten verbunden. Auf besonders einfache Weise kann ein derartiger Signalgenerator

realisiert werden, wenn er gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung einen Digital/Analog-Wandler enthält und eine elektronische Recheneinrichtung vorgesehen ist, mittels derer dem Digital/Analog-Wandler des Signalgenerators eine zeitliche Folge von der Signaldauer und dem Amplitudenverlauf des Niederspannungssignales entsprechenden Amplitudenwerten zuführbar ist, die der Digital/Analog-Wandler in das Niederspannungssignal wandelt. Durch Veränderung der zeitlichen Folge von Amplitudenwerten können im Rahmen der durch die Auflösung und die Wandlungszeit des Digital/Analog-Wandlers gegebenen Grenzen Niederspannungssignale beliebiger Signalform realisiert werden. Dabei kann vorgesehen sein, daß mittels der elektronischen Recheneinrichtung eine dem jeweiligen Behandlungsfall angepaßte zeitliche Folge von Amplitudenwerten errechnet wird, die in einem Speicher der elektronischen Recheneinrichtung gespeichert wird und jedesmal dann, wenn eine entsprechende Stoßwelle erzeugt werden soll, dem Digital/Analog-Wandler zugeführt wird. Es besteht außerdem die Möglichkeit, eine Anzahl von vorgegebenen zeitlichen Folgen von Amplitudenwerten, wobei jede Folge einer bestimmten Wellenform der erzeugten Stoßwelle entspricht, in dem Speicher abzulegen und bei Bedarf dem Digital/Analog-Wandler zuzuführen.

Die Recheneinrichtung kann im einfachsten Fall durch einen Taktgenerator, einen Funktionsspeicher, in dem eine oder mehrere zeitliche Folgen von Amplitudenwerten gespeichert sind, und eine Adressierungseinrichtung für den Funktionsspeicher gebildet sein, wobei der Taktgenerator sowohl den Digital/Analog-Wandler als auch die Adressierungseinrichtung steuert, die derart ausgebildet ist, daß jeweils nur derjenige Bereich des Funktionsspeichers adressierbar ist, in dem die der jeweils gewünschten Wellenform der Stoßwelle entsprechende zeitliche Folge von Amplitudenwerten gespeichert ist. Gemäß einer besonders vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist jedoch vorgesehen, daß die elektronische Recheneinrichtung derart ausgebildet ist, daß sie unter Berücksichtigung der Übertragungsfunktion des impulsformenden Netzwerkes, der elektro-akustischen Eigenschaften der Stoßwellenquelle und der akustischen Eigenschaften des Übertragungsmediums ausgehend von einer vorgebbaren gewünschten Wellenform der Stoßwelle die dem Niederspannungssignal entsprechende zeitliche Folge von Amplitudenwerten errechnet. Für den Arzt besteht dann die Möglichkeit, unter Zuhilfenahme einer Eingabeeinrichtung, z.B. eines Datensichtgerätes mit Lichtgriffel, eine dem jeweiligen Therapiefall angepaßte Wellenform der Stoßwelle vorzugeben, die dann selbsttätig erzeugt wird.

Um überprüfen zu können, inwieweit die Wel-

lenform einer erzeugten Stoßwelle der gewünschten Wellenform entspricht, ist gemäß einer Variante der Erfindung ein in dem Übertragungsmedium angeordneter breitbandiger, linearer Drucksensor vorgesehen, der ein der Wellenform der erzeugten Stoßwelle entsprechendes Signal liefert und mit einem Analog/Digital-Wandler verbunden ist, wobei der Analog/Digital-Wandler eine der Wellenform der erzeugten Stoßwelle entsprechende zeitliche Folge von Amplitudenwerten abgibt, die der elektronischen Recheneinrichtung zuführbar ist, die derart ausgebildet ist, daß sie einen Vergleich der erzeugten Wellenform mit der gewünschten Wellenform der Stoßwelle vornimmt und das Ergebnis des Vergleiches anzeigt. Dabei kann gemäß einer Ausführungsform der Erfindung außerdem vorgesehen sein, daß die elektronische Recheneinrichtung derart ausgebildet ist, daß sie ausgehend von dem Ergebnis des Vergleiches im Falle von Abweichungen der Wellenform der erzeugten Stoßwelle von der gewünschten Wellenform eine Korrektur der dem Digital/Analog-Wandler zuführbaren zeitlichen Folge von Amplitudenwerten vornimmt. Abweichungen der erzeugten Wellenform von der gewünschten Wellenform, die z.B. durch nichtlineare akustische Übertragungseigenschaften des Übertragungsmediums verursacht sein können, werden also selbsttätig beseitigt.

Gemäß einer Variante der Erfindung ist ein Taktgenerator vorgesehen, der Taktimpulse für die elektronische Recheneinrichtung, den Digital/Analog-Wandler und den Analog/Digital-Wandler erzeugt. Durch diese Maßnahme sind die genannten Komponenten synchronisiert, so daß eine genaue Bestimmung der Laufzeiten in dem aus dem Hochspannungsgenerator und der Stoßwellenquelle gebildeten System möglich ist, was insbesondere dann von Bedeutung ist, wenn nichtlineare akustische Übertragungseigenschaften des Übertragungsmediums korrigiert werden sollen.

Soweit dies erforderlich ist, kann gemäß einer Ausführungsform der Erfindung zwischen das impulsformende Netzwerk und die Stoßwellenquelle ein im wesentlichen verlustloses Anpaßnetzwerk zur breitbandigen impedanzmäßigen Anpassung des impulsformenden Netzwerkes an die Stoßwellenquelle geschaltet sein, um wirkungsgradmindernde Reflexionen des Hochspannungsimpulses am Eingang der Stoßwellenquelle zu vermeiden.

Die Aufgabe, ein Verfahren zur Erzeugung eines zum Antrieb von Stoßwellenquellen geeigneten Hochspannungsimpulses hoher Stromstärke anzugeben, wird nach der Erfindung durch ein Verfahren gelöst, bei dem ein Niederspannungssignal, dessen Energiegehalt zur Erzeugung einer Stoßwelle ausreicht, erzeugt wird und das Niederspannungssignal unter Verkürzung seiner Signaldauer in einem zum Antrieb der Stoßwellenquelle geeigneten

ten Hochspannungsimpuls überführt wird, dessen Energiegehalt im wesentlichen dem des Niederspannungsimpulses entspricht. Das erfindungsgemäße Verfahren kann ohne Hochspannungsversorgung und ohne Hochspannungs-Schalter durchgeführt werden. Außerdem können dann, wenn das Niederspannungssignal mittels eines impulsformenden Netzwerkes in den Hochspannungsimpuls überführt wird, gemäß einer Variante der Erfindung ausgehend von einer vorgegebenen Wellenform der Stoßwelle die Signaldauer und der Amplitudenverlauf des Niederspannungssignales unter Berücksichtigung der Übertragungsfunktion des impulsformenden Netzwerkes, der elektro-akustischen Eigenschaften der Stoßwellenquelle und der akustischen Eigenschaften des akustischen Übertragungsmediums derart gewählt werden, daß die Stoßwellenquelle mittels des erzeugten Hochspannungsimpulses zur Erzeugung einer Stoßwelle der gewünschten Wellenform angetrieben wird. Gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren wird also ein Niederspannungssignal mit frei wählbarem Zeitverlauf, hoher Energie, großer Signaldauer und niedriger Momentanleistung erzeugt und dann mittels des impulsformenden Netzwerkes in einen Hochspannungsimpuls mit etwa gleicher Energie, geringerer Signaldauer und hoher Momentanleistung umgewandelt. Dabei kann der zeitliche Verlauf der Momentanamplituden des Niederspannungssignales, z.B. mittels einer elektronischen Recheneinrichtung, so berechnet werden, daß der im Zusammenwirken mit dem impulsformenden Netzwerk entstehende Hochspannungsimpuls die Stoßwellenquelle zur Erzeugung einer nach bestimmten Kriterien optimierten Stoßwelle antreibt.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der beigefügten Fig. schematisch dargestellt.

In der Fig. ist eine Einrichtung zur Erzeugung von Stoßwellen dargestellt, wie sie in der Medizin zur Zertrümmerung von Konkrementen im Körper eines Patienten Verwendung findet. Eine solche Einrichtung weist eine insgesamt mit 1 bezeichnete Stoßwellenquelle auf, wie sie z.B. aus der DE-OS 33 28 051 bekannt ist. Diese besitzt ein mit Wasser als akustisches Übertragungsmedium gefülltes rohrförmiges Gehäuse 2, das an seinem einen Ende mit einem elektro-dynamischen Stoßwellengenerator 3 versehen und an seinem anderen Ende durch einen flexiblen Sack 4 verschlossen ist. Zwischen dem Stoßwellengenerator 3 und dem Sack 4 ist in dem Gehäuse 2 eine akustische Sammellinse 5 angeordnet, die zur Fokussierung der von dem Stoßwellengenerator 3 abgegebenen ebenen Stoßwelle dient, die im Fokus der Sammellinse 5 zusammenläuft.

Die Stoßwellenquelle 1 ist mittels des Sackes 4 an den im Querschnitt dargestellten Körper 6 eines Patienten angepreßt, und zwar derart, daß sich ein

in einer Niere 7 des Lebewesens befindlicher Nierenstein 8 im Brennpunkt der Sammellinse 5 befindet. Die von der Stoßwellenquelle 1 abgegebenen fokussierten Stoßwellen, die sich in dem ebenfalls als akustisches Übertragungsmedium dienenden Körpergewebe des Patienten ausbreiten, wirken auf den im Fokus der Sammellinse 5 befindlichen Nierenstein 8 ein und üben mechanische Beanspruchungen auf diesen aus, so daß er in kleine Bruchstücke zerfällt, die auf natürlichem Wege abgehen können.

Zum Antrieb der Stoßwellenquelle 1 ist ein insgesamt mit 9 bezeichneter Hochspannungsgenerator vorgesehen, mittels dessen zur Erzeugung einer Stoßwelle Hochspannungsimpulse hoher Stromstärke erzeugbar sind. Als wesentliche Komponenten enthält der Hochspannungsgenerator 9 einen Signalgenerator 10 und ein impulsformendes Netzwerk 11. Der Signalgenerator 10 erzeugt ein Niederspannungssignal relativ geringer Amplitude (1 bis 20 Volt) und relativ langer Signaldauer. Bei A ist ein derartiges Niederspannungssignal angedeutet, das vom Ausgang des Signalgenerators 10 unter Zwischenschaltung eines Leistungsverstärkers 12 zum Eingang des impulsformenden Netzwerkes 11 gelangt. Dieses besitzt eine solche Übertragungsfunktion, daß es das von dem Signalgenerator 10 stammende Niederspannungssignal A, dessen Energiegehalt zur Erzeugung einer Stoßwelle ausreicht, unter Verkürzung von dessen Signaldauer in einen zur Erzeugung der Stoßwelle geeigneten Hochspannungsimpuls überführt, dessen Energiegehalt im wesentlichen dem des Niederspannungssignales A entspricht. Der Hochspannungsimpuls erscheint am Ausgang des impulsformenden Netzwerkes 11 und ist bei B schematisch angedeutet. Er wird der Stoßwellenquelle 1 zur Erzeugung einer Stoßwelle zugeführt. Erforderlichenfalls kann zwischen den Ausgang des impulsformenden Netzwerkes 11 und die Stoßwellenquelle 1 ein in der Fig. strichliert angedeutetes Anpaßnetzwerk 13 zur verlustlosen breitbandigen impedanzmäßigen Anpassung des Ausgangs des impulsformenden Netzwerkes 11 an die Stoßwellenquelle 1 geschaltet sein.

Bei dem impulsformenden Netzwerk 11 handelt es sich um ein mehrstufiges aus in der Fig. schematisch angedeuteten LC-Allpaßnetzwerken 14, 15, 16, 17 gebildetes Filter, das eine solche Übertragungsfunktion besitzt, daß für die einzelnen in dem Signalspannungssignal A enthaltenen Frequenzanteile derart unterschiedliche Laufzeiten in dem Filter auftreten, daß die Impulsdauer des Niederspannungssignales A verkürzt und die Amplitude des Niederspannungsimpulses in den Hochspannungsbereich erhöht wird. Die Allpaßnetzwerke 14, 15, 16, 17 sind aus im wesentlichen verlustfreien Bauelementen aufgebaut, so daß der am

Ausgang des impulsformenden Netzwerkes 11 zur Verfügung stehende Hochspannungsimpuls B im wesentlichen den gleichen Energiegehalt wie das Niederspannungssignal A aufweist. Um die Übertragungsfunktion des impulsformenden Netzwerkes 11 verändern und somit Stoßwellen unterschiedlicher Wellenform erzeugen zu können, besteht die Möglichkeit, einzelne Allpaßnetzwerke zu überbrücken, so wie dies beispielsweise bei dem Allpaßnetzwerk 14 mittels des Schalters 18 möglich ist. Außerdem besteht die Möglichkeit, Allpaßnetzwerke wahlweise parallel oder in Serie zu schalten, so wie dies mittels der miteinander gekoppelten Umschalter 19a und 19b beispielsweise für die Allpaßnetzwerke 15 und 16 möglich ist.

Eine weitere Möglichkeit, die Wellenform der erzeugten Stoßwelle zu beeinflussen, besteht darin, dem impulsformenden Netzwerk 11 Niederspannungssignale A unterschiedlichen zeitlichen Verlaufes zuzuführen. Zu diesem Zweck ist der Signalgenerator 10 derart ausgebildet, daß die Signaldauer und/oder der Amplitudenverlauf des erzeugten Niederspannungssignales A einstellbar sind. Im Falle des dargestellten Hochspannungsgenerators 9 wird dies dadurch erreicht, daß der Signalgenerator 10 einen Digital/Analog-Wandler 20 enthält, dem eine zeitliche Folge von der Impulsdauer und dem Amplitudenverlauf des Niederspannungssignales A entsprechenden Amplitudenwerten zugeführt wird, die der Digital/Analog-Wandler 20 in das Niederspannungssignal wandelt. Die zeitliche Folge von Amplitudenwerten erhält der Digital/Analog-Wandler 20 des Signalgenerators 10 über einen Daten-Bus 38, von dem nur eine Leitung dargestellt ist, von einer elektronischen Recheneinrichtung 21, in der eine Anzahl von unterschiedlichen Wellenformen der Stoßwelle entsprechenden zeitlichen Folgen von Amplitudenwerten gespeichert ist.

Die elektronische Recheneinrichtung 21 umfaßt eine Zentraleinheit 22, einen Programmspeicher 23, der die erforderlichen Programme für die im folgenden beschriebenen Funktionen des Hochspannungsgenerators 9 enthält, einen Datenspeicher 24, in dem die unterschiedlichen Wellenformen der Stoßwelle entsprechenden zeitlichen Folgen von Amplitudenwerten gespeichert sind, und einen Taktgenerator 25. An die elektronische Recheneinrichtung 21 sind eine Tastatur 26 und ein Datensichtgerät 27 mit Lichtgriffel 28 angeschlossen. Durch geeignetes Betätigen der Tastatur 26 kann die elektronische Recheneinrichtung 21 veranlaßt werden, die der jeweils gewünschten Wellenform der Stoßwelle entsprechende zeitliche Folge von Amplitudenwerten aus dem Datenspeicher 24 abzurufen, die dem Signalgenerator 10 jedesmal, wenn eine Stoßwelle erzeugt werden soll, zur Erzeugung des zugehörigen Niederspannungssignales A zugeführt wird. Dabei besteht die Mög-

lichkeit, die jeweilige Wellenform der Stoßwelle auf dem Datensichtgerät 27 graphisch darzustellen. Die elektronische Recheneinrichtung 21, der Signalgenerator 10 und der Leistungsverstärker 12 bilden somit gemeinsam einen Wellenformgenerator, mittels dessen innerhalb der durch die Amplitudenauflösung und die Wandlungszeit des Digital/Analog-Wandlers 20 gesetzten Grenzen Niederspannungssignale A beliebiger Signalform erzeugt werden können, wobei in dieser Betriebsart die elektronische Recheneinrichtung 21 im wesentlichen als Funktionsspeicher wirkt und mittels ihres Taktgenerators 25 dem Digital/Analog-Wandler 20 die erforderlichen Taktimpulse liefert.

Es besteht jedoch auch die Möglichkeit, durch geeignetes Betätigen der Tastatur 26 oder durch Zeichnen mit dem Lichtgriffel 28 auf dem Schirm des Datensichtgerätes 27 eine gewünschte Wellenform der Stoßwelle vorzugeben. Ausgehend von der vorgegebenen gewünschten Wellenform der Stoßwelle errechnet die elektronische Recheneinrichtung 21 unter Berücksichtigung der Übertragungsfunktion des impulsformenden Netzwerkes 11, der elektro-akustischen Eigenschaften der Stoßwellenquelle 1 und der akustischen Eigenschaften des Übertragungsmediums, diesbezügliche Daten sind in dem Datenspeicher 24 gespeichert, die zeitliche Folge von Amplitudenwerten eines Niederspannungssignales A, das zur Erzeugung einer Stoßwelle der gewünschten Wellenform geeignet ist. Die zeitliche Folge von Amplitudenwerten wird in dem Datenspeicher 24 gespeichert und jedesmal, wenn eine Stoßwelle erzeugt werden soll, dem Digital/Analog-Wandler 20 des Signalgenerators 10 zugeführt werden. Es besteht somit die Möglichkeit, eine dem jeweiligen Therapiefall optimal angepaßte Wellenform der Stoßwelle zu realisieren.

Darüber hinaus bietet der erfindungsgemäße Hochspannungsgenerator 9 die Möglichkeit, zu überprüfen, inwieweit die Wellenform der erzeugten Stoßwelle mit der vorgegebenen gewünschten Wellenform der Stoßwelle übereinstimmt. Zu diesem Zweck sind in dem in der Stoßwellenquelle 1 befindlichen Übertragungsmedium zwei lineare breitbandige Drucksensoren 29 und 30 angeordnet, von denen einer vor der akustischen Sammellinse 5 und einer hinter dieser angeordnet ist. Die Drucksensoren 29 und 30, von denen jeweils einer mittels eines Schalters 31 an einen Empfangsverstärker 32 anschaltbar ist, liefern elektrische Signale, die der Wellenform der erzeugten Stoßwelle entsprechen. Der Ausgang des Empfangsverstärkers 32 ist mit dem Eingang eines Transienten-Recorders 33 verbunden, der einen Analog/Digital-Wandler 34 und einen Schreib/Lese-Speicher 35 enthält. Die dem Analog/Digital-Wandler 34 zugeführten Signale des Drucksensors 29 bzw. 30 werden mittels des Analog/Digital-Wandlers 34, der seine Taktim-

pulse von dem Taktgenerator 25 der elektronischen Recheneinrichtung 21 erhält, in eine zeitliche Folge von Amplitudenwerten gewandelt, die in dem Schreib/Lese-Speicher 35 gespeichert wird. Dabei wird der Schreib/Lese-Speicher 35 über einen Daten/Adreß-Bus 36, von dem nur eine einzige Leitung dargestellt ist, mittels der elektronischen Recheneinrichtung 21 adressiert. Auf eine geeignete Betätigung der Tastatur 26 hin liest die elektronische Recheneinrichtung 21 die in dem Schreib/Lese-Speicher 35 gespeicherte zeitliche Folge von Amplitudenwerten, die der Wellenform der erzeugten Stoßwelle entspricht und führt einen Vergleich mit der gewünschten Wellenform der Stoßwelle aus. Das Ergebnis des Vergleiches wird mittels des Datensichtgerätes, beispielsweise graphisch, angezeigt. Dies ist in der Fig. verdeutlicht, indem auf dem Bildschirm des Datensichtgerätes 27 eine z.B. mittels des Lichtgriffels 28 vorgegebene gewünschte Wellenform C der Stoßwelle ausgezogen und die Wellenform D der erzeugten Stoßwelle strichliert dargestellt ist. Der behandelnde Arzt kann nun anhand des dargestellten Ergebnisses des Vergleiches entscheiden, ob die erzeugte Wellenform hinreichend mit der gewünschten übereinstimmt oder Korrekturen erforderlich sind. Wird eine Korrektur für erforderlich gehalten, nimmt die elektronische Recheneinrichtung 21 auf eine geeignete Betätigung der Tastatur 26 hin ausgehend von dem Ergebnis des Vergleiches eine Korrektur der dem Digital/Analog-Wandler 20 zuführbaren zeitlichen Folge von Amplitudenwerten vor, die unter Berücksichtigung der Übertragungsfunktion des impulsformenden Netzwerkes 11, der elektro-akustischen Eigenschaften der Stoßwellenquelle 1 und der akustischen Eigenschaften des Übertragungsmediums erfolgt. Dabei kann der Hochspannungsgenerator 9 als "lernendes System" wirken, indem die elektronische Recheneinrichtung 21 die Resultate vorgenommener Korrekturen auswertet und eine Korrektur-Strategie entwickelt. In diesem Zusammenhang ist es von wesentlicher Bedeutung, daß die Taktsignale sowohl für die elektronische Recheneinrichtung 21 als auch für den Digital/Analog-Wandler 20 und den Analog/Digital-Wandler 34 von dem gleichen Taktgenerator 25 stammen, so daß die genannten Komponenten synchronisiert sind. Dies gestattet eine genaue Bestimmung der Laufzeiten der Signale in dem aus dem Hochspannungsgenerator 9 und der Stoßwellenquelle 1 gebildeten System, so daß nicht-lineare akustische Übertragungseigenschaften des Übertragungsmediums untersucht und korrigiert werden können.

Wie bereits erwähnt, ist die Recheneinrichtung 21 in der Lage, dem Signalgenerator 10 die jeweilige zeitliche Folge von Amplitudenwerten wiederholt zuzuführen, so daß eine Folge von Stoßwellen

erzeugt werden kann. Außerdem besteht die Möglichkeit, der elektronischen Recheneinrichtung 21 über eine Leitung 37 Triggerimpulse I zuzuleiten, die in nicht dargestellter Weise aus einer periodischen Körperfunktion, z.B. der Atemtätigkeit, des Patienten abgeleitet sind, wobei die elektronische Recheneinrichtung 21 jeweils beim Eintreffen eines Triggerimpulses I dem Signalgenerator 10 die zeitliche Folge von Amplitudenwerten zuführt, so daß die Erzeugung von Stoßwellen synchron mit der periodischen Körperfunktion erfolgt.

Ein wesentlicher Vorteil des erfindungsgemäßen Hochspannungsgenerators 9 besteht darin, daß im Gegensatz zum Stand der Technik weder eine Hochspannungsversorgung noch Hochspannungsschalter erforderlich sind. Ein weiterer wesentlicher Vorteil besteht darin, daß Stoßwellen beliebiger Wellenform erzeugt werden können und die Wellenform der Stoßwellen optimiert werden kann. Da das mittels des Signalgenerators 10 erzeugte Niederspannungssignal A mittels der Recheneinrichtung 21 in feinen Zeit- und Amplitudenstufen variiert werden kann, besteht die Möglichkeit, lineare Verzerrungen im Übertragungsverhalten des Leistungsverstärkers 12, des Anpaßnetzwerkes 13 und der Stoßwellenquelle 1 sowie Toleranzen des impulsformenden Netzwerkes 11 bei der Erzeugung der Niederspannungssignale A zu berücksichtigen bzw. zu kompensieren. Die durch den Signalgenerator 10, den Leistungsverstärker 12, das impulsformende Netzwerk 11 und das Anpaßnetzwerk 13 gebildete Übertragungskette wirkt als inverses Filter, das eine maximale Kompression der mittels des Signalgenerators 10 erzeugten Niederspannungssignale bewirkt, wobei die Übertragungskette einen elektrischen Eingang, nämlich den Eingang des Leistungsverstärkers 12, und einen akustischen Ausgang, nämlich das mittels der Stoßwellenquelle 1 erzeugte Schallfeld, aufweist. Weiterhin besteht anhand der mittels der Drucksensoren 29, 30 und des Transienten-Recorders 33 ermittelbaren Wellenformen der erzeugten Stoßwellen die Möglichkeit, die Wellenformen der erzeugbaren Stoßwellen mit Hilfe der elektronischen Recheneinrichtung 21 auf spezielle Ergebnisse hin zu optimieren, mit den Zielen, eine optimale Wirkung der Therapie zu gewährleisten, Kavitationerscheinungen im Gewebe des Patienten zu unterdrücken und die Schmerzbelastung des Patienten zu verringern.

Auch können elektro-akustische Eigenschaften des Stoßwellengenerators 3, akustische Eigenschaften des Übertragungsmediums und elektrische Eigenschaften des Hochspannungsgenerators 9, welche die Stoßwellenerzeugung ungünstig beeinflussen, weitgehend kompensiert werden.

Ansprüche

1. Hochspannungsgenerator zur Erzeugung eines Hochspannungsimpulses (B) hoher Stromstärke zum Antrieb einer Stoßwellenquelle (1), welche zur Erzeugung einer Stoßwelle in einem akustischen Übertragungsmedium dient, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Hochspannungsgenerator einen Signalgenerator (10) zur Erzeugung eines Niederspannungssignales (A), dessen Energiegehalt zur Erzeugung der Stoßwelle ausreicht, und ein zwischen den Signalgenerator (10) und die Stoßwellenquelle (1) geschaltetes impulsformendes Netzwerk (11) aufweist, das eine solche Übertragungsfunktion besitzt, daß es das von dem Signalgenerator (10) stammenden Niederspannungssignal (A) unter Verkürzung von dessen Signaldauer in einen zum Antrieb der Stoßwellenquelle (1) geeigneten Hochspannungsimpuls (B) überführt, dessen Energiegehalt im wesentlichen dem des Niederspannungsimpulses (A) entspricht.

2. Hochspannungsgenerator nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß als impulsformendes Netzwerk (11) ein mehrstufiges aus LC-Allpaßnetzwerken (14, 15, 16, 17) gebildetes Filter vorgesehen ist.

3. Hochspannungsgenerator nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß das impulsformende Netzwerk (11) eine umschaltbare Übertragungsfunktion aufweist.

4. Hochspannungsgenerator nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Signalgenerator (10) derart ausgebildet ist, daß die Signaldauer und/oder der Amplitudenverlauf des erzeugten Niederspannungssignales (A) einstellbar sind.

5. Hochspannungsgenerator nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Signalgenerator (10) einen Digital/Analog-Wandler (20) enthält und daß eine elektronische Recheneinrichtung (21) vorgesehen ist, mittels derer dem Digital/Analog-Wandler (20) des Signalgenerators (10) eine zeitliche Folge von der Signaldauer und dem Amplitudenverlauf des Niederspannungssignales (A) entsprechenden Amplitudenwerten zuführbar ist, die der Digital/Analog-Wandler (20) in das Niederspannungssignal (A) wandelt.

6. Hochspannungsgenerator nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß die elektronische Recheneinrichtung (21) derart ausgebildet ist, daß sie unter Berücksichtigung der Übertragungsfunktion des impulsformenden Netzwerkes (11), der elektro-akustischen Eigenschaften der Stoßwellenquelle (1) und der akustischen Eigenschaften des Übertragungsmediums ausgehend von einer vorgebbaren gewünschten Wellenform (C) der Stoßwelle die dem Niederspannungssignal (A) entsprechende zeitliche Folge von Amplitudenwerten errechnet.

7. Hochspannungsgenerator nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein in dem Übertragungsmedium angeordneter breitbandiger, linearer Drucksensor (29, 30) vorgesehen ist, der ein der Wellenform (D) der erzeugten Stoßwelle entsprechendes Signal liefert und mit einem Analog/Digital-Wandler (34) verbunden ist, wobei der Analog/Digital-Wandler (34) eine der Wellenform (D) der erzeugten Stoßwelle entsprechende zeitliche Folge von Amplitudenwerten abgibt, die der elektronischen Recheneinrichtung (21) zuführbar ist, die derart ausgebildet ist, daß sie einen Vergleich der erzeugten Wellenform (D) mit der gewünschten Wellenform (C) der Stoßwelle vornimmt und das Ergebnis des Vergleiches anzeigt.

8. Hochspannungsgenerator nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß die elektronische Recheneinrichtung (21) derart ausgebildet ist, daß sie ausgehend von dem Ergebnis des Vergleiches im Falle von Abweichungen der Wellenform (D) der erzeugten Stoßwelle von der gewünschten Wellenform (C) eine Korrektur der dem Digital-Analog-Wandler (20) zuführbaren zeitlichen Folge von Amplitudenwerten vornimmt.

9. Hochspannungsgenerator nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Taktgenerator (25) vorgesehen ist, der Taktimpulse für die elektronische Recheneinrichtung (21), den Digital/Analog-Wandler (20) und Analog/Digital-Wandler (34) erzeugt.

10. Hochspannungsgenerator nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß zwischen das impulsformende Netzwerk (11) und die Stoßwellenquelle (1) ein im wesentlichen verlustloses Anpaßnetzwerk (13) zur breitbandigen impedanzmäßigen Anpassung des impulsformenden Netzwerkes (11) an die Stoßwellenquelle (1) geschaltet ist.

11. Verfahren zur Erzeugung eines Hochspannungsimpulses (B) hoher Stromstärke zum Antrieb einer Stoßwellenquelle (1), welche zur Erzeugung einer Stoßwelle in einem akustischen Übertragungsmedium dient, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Niederspannungssignal (A) erzeugt wird, dessen Energiegehalt zur Erzeugung einer Stoßwelle ausreicht, und das Niederspannungssignal (A) unter Verkürzung seiner Signaldauer in einen zum Antrieb der Stoßwellenquelle (1) geeigneten Hochspannungsimpuls (B) überführt wird, dessen Energiegehalt im wesentlichen dem des Niederspannungssignales (A) entspricht.

12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Niederspannungssignal (A) mittels eines impulsformenden Netzwerkes (11) in den Hochspannungsimpuls (B) überführt wird und daß ausgehend von einer vorgegebenen Wellenform der Stoßwelle die Signaldauer und der Amplitudenverlauf des Niederspannungssignales (A) un-

ter Berücksichtigung der Übertragungsfunktion des impulsformenden Netzwerkes (11), der elektro-akustischen Eigenschaften der Stoßwellenquelle (1) und der akustischen Eigenschaften des akustischen Übertragungsmediums derart gewählt werden, daß die Stoßwellenquelle (1) mittels des erzeugten Hochspannungsimpulses (B) zur Erzeugung einer Stoßwelle der gewünschten Wellenform angetrieben wird.

5

10

15

20

25

30

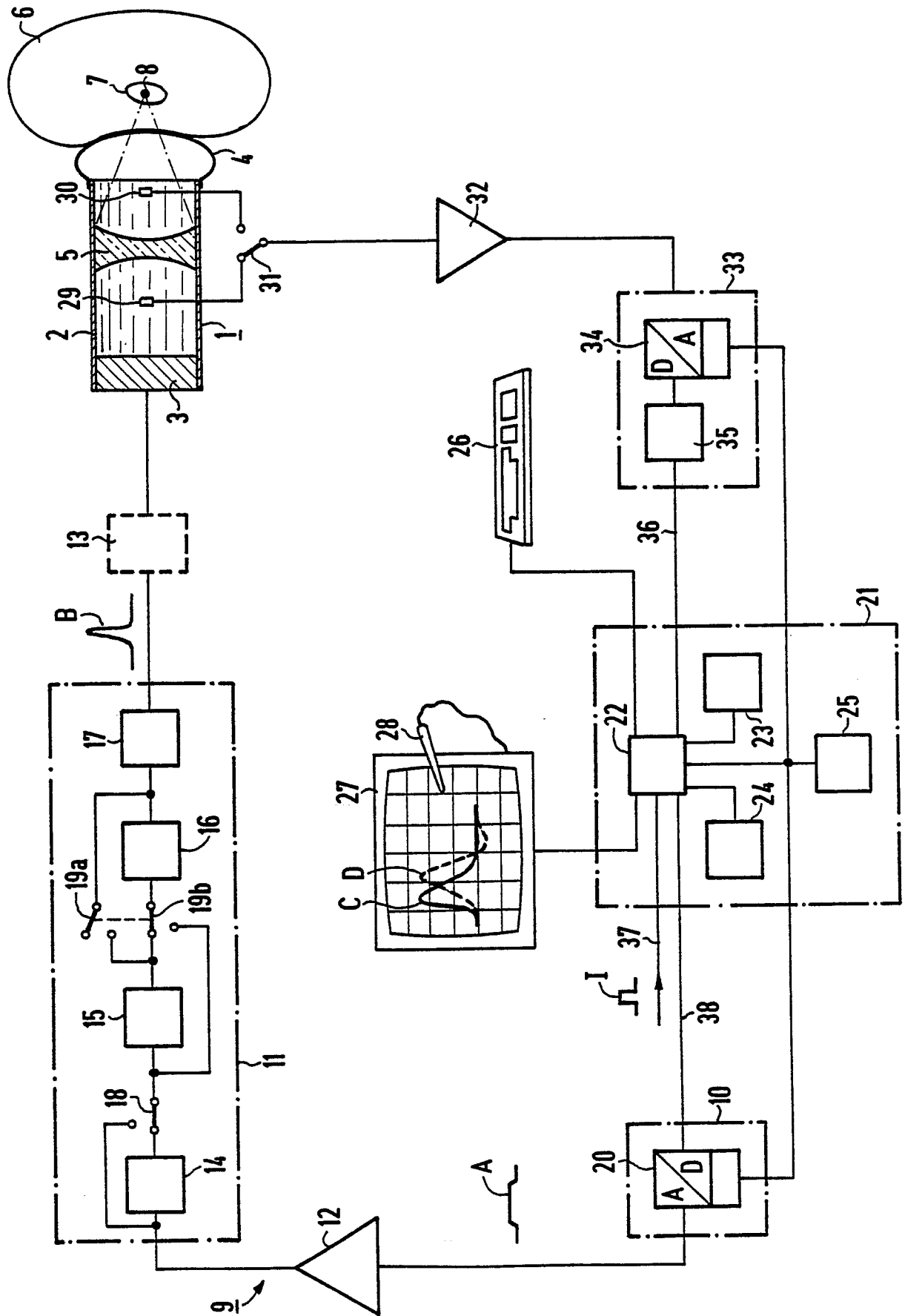
35

40

45

50

55





Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 88 11 5714

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.3)
A,D	DE-A-2 650 624 (DORNIER SYSTEM GmbH) * Anspruch; Figur 1 * -----	1	G 10 K 15/04
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl.3)
			G 10 K A 61 B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 24-05-1989	Prüfer ANDERSON A.TH.
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus andern Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	