



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
28.09.2022 Patentblatt 2022/39

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
H01Q 1/42^(2006.01) H01Q 1/28^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **22158594.6**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
H01Q 1/422; H01Q 1/281

(22) Anmeldetag: **24.02.2022**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(72) Erfinder:
• **KARCH, Christian**
82024 Taufkirchen (DE)
• **WOLFRUM, Johannes**
84416 Taufkirchen (DE)

(74) Vertreter: **LKGLOBAL**
Lorenz & Kopf PartG mbB Patentanwälte
Brienner Straße 11
80333 München (DE)

(30) Priorität: **25.03.2021 DE 102021107538**

(71) Anmelder: **Airbus Defence and Space GmbH**
82024 Taufkirchen (DE)

(54) **ASYMMETRISCH AUFGEBAUTES RADOM**

(57) Es wird ein asymmetrisch aufgebautes Radom (10) für ein Luftfahrzeug (100) und ein Luftfahrzeug (100) mit einer Antenne (20) und einem entsprechenden Radom (10) zur Verfügung gestellt. Das Radom (10) weist eine erste Schicht (11) mit einer ersten Dielektrizitätskonstante (ϵ_1) und einer ersten Schichtdicke (d_1) und eine zweite Schicht (12) mit einer zweiten Dielektrizitätskonstante (ϵ_2) und einer zweiten Schichtdicke (d_2) auf. Die

erste Schichtdicke (d_1) und die zweite Schichtdicke (d_2) sind voneinander verschieden. Die erste Schicht (11) umfasst ein duroplastisches Material und die zweite Schicht (12) umfasst ein thermoplastisches Material. Durch einen solchen asymmetrischen Radomaufbau werden die mechanische Stabilität und die elektromagnetische Transparenz des Radoms (10) verbessert.

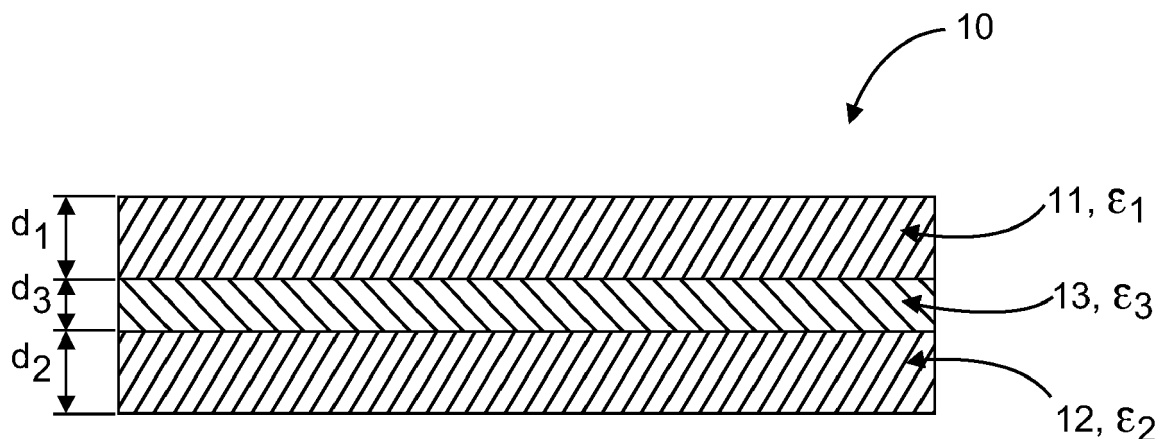


Fig. 1

Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die vorliegende Offenbarung bezieht sich auf Radome zum Schutz von Antennen, insbesondere zum Schutz von an Luftfahrzeugen angebrachten Antennen bzw. Sende- und Empfangsvorrichtungen.

TECHNISCHER HINTERGRUND

[0002] Zum Schutz von Antennen in Boden-, Luft- und Raumfahrtanwendungen vor äußeren Einflüssen bzw. vor Umwelteinflüssen werden Radome verwendet, welche die Antenne abdecken. Solche Radome müssen dabei sowohl die nötige mechanische Stabilität aufweisen, um den auftretenden Belastungen durch äußere Einflüsse zu widerstehen, als auch möglichst transparent für elektromagnetische Signale in mindestens einem ausgewählten Frequenzbereich sein, um die Funktionsweise der abgedeckten Antenne nicht mehr als nötig zu beeinflussen. Insbesondere in Luftfahrtanwendungen müssen Radome eine hohe mechanische Stabilität aufweisen, um beispielsweise Vogelschlägen oder den hohen Luftdrücken während des Flugs zu widerstehen, so dass die Antenne nicht beschädigt wird. Für phasensensitive Anwendungen wie beispielsweise in Monopuls-, interferometrischen oder kohärenten Phasenänderungsdetektionssystemen sind zudem hohe Anforderungen an die elektromagnetischen Eigenschaften zu stellen, um das Signal durch das Radom nicht zu stark zu verfälschen. Die Eintrittsphasenverzögerung ist dabei auch abhängig von dem Eintrittswinkel. Die Eigenschaften eines Radoms bezüglich der Transparenz für elektromagnetische Wellen sind zudem insbesondere auch eine Funktion der Frequenz der elektromagnetischen Wellen, und Antennen werden zunehmend in unterschiedlichen Frequenzbereichen für den Sende- und den Empfangsmodus betrieben. Dadurch wird es immer schwieriger, den Anforderungen an die Radome gerecht zu werden.

[0003] Im Stand der Technik sind Radome beispielsweise aus Schichten in symmetrischer Weise aufgebaut, d.h. die verschiedenen Schichten sind bezüglich einer Mittelebene sowohl was die elektromagnetischen Eigenschaften als auch die Schichtdicken betrifft symmetrisch aufgebaut.

BESCHREIBUNG

[0004] Es kann als Aufgabe der Erfindung angesehen werden, die mechanischen und elektromagnetischen Eigenschaften von Radomen zu verbessern

[0005] Diese Aufgabe wird durch den Gegenstand der unabhängigen Ansprüche gelöst. Weitere Ausführungsformen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen sowie aus der folgenden Beschreibung.

[0006] Gemäß eines ersten Aspekts wird ein Radom für ein Luftfahrzeug zur Verfügung gestellt. Das Radom

weist eine erste Schicht mit einer ersten Dielektrizitätskonstante und eine zweite Schicht mit einer zweiten Dielektrizitätskonstante auf. Die erste Schicht und die zweite Schicht weisen unterschiedliche erste und zweite Schichtdicken auf. Die erste Schicht umfasst ein duroplastisches Material und die zweite Schicht umfasst ein thermoplastisches Material.

[0007] Die erste Schicht entspricht der in eingebautem Zustand des Radoms nach außen, von der Antenne weg, gerichteten Seite des Radoms. Diese Schicht ist den Umwelteinflüssen direkt ausgesetzt und muss besonders mechanischen Belastungen, wie beispielsweise den aerodynamischen Lasten während des Flugs eines Luftfahrzeugs, Wetterbedingungen wie Hagel, dynamischen Belastungen wie Vogelschlag oder anderen äußeren Einflüssen, standhalten.

[0008] Die zweite Schicht entspricht der in eingebautem Zustand des Radoms nach innen, zu der Antenne hin, gerichteten Seite des Radoms und ist den Umweltbelastungen nicht direkt ausgesetzt. Dementsprechend muss diese Schicht z.B. weniger mechanischen Belastungen als die erste Schicht standhalten. Jedoch werden gesendete Signale der Antenne über die zweite Schicht in das Radom eingeleitet und von der Antenne empfangene Signale treten aus der zweiten Schicht aus dem Radom aus, bevor diese die Antenne erreichen. Die zweite Schicht stellt also eine elektromagnetische Schnittstelle zwischen dem Radom und dem Luftraum zwischen der Antenne und dem Radom dar.

[0009] Da die erste Schicht nach außen gerichtet ist und den äußeren Umweltbedingungen und mechanischen Belastungen standhalten muss, ist die erste Schichtdicke im Wesentlichen durch das verwendete Material und durch die entsprechenden Lasten, denen das Radom standhalten muss, festgelegt. Mit anderen Worten ist für die erste Schicht eine gewisse Mindestdicke erforderlich, damit diese den mechanischen Belastungen von außen standhalten kann. Unter anderem das verwendete Material bestimmt die Mindestdicke der ersten Schicht. Da die erste Schicht zudem den Witterungsbedingungen widerstehen muss, ist die Materialauswahl für diese Schicht eingeschränkt. Beispielsweise kann die erste Schicht, wie weiter unten in Bezug auf verschiedene Ausführungsformen beschrieben, ein duroplastisches Material und Glasfasern umfassen. Andere Materialien sind jedoch auch denkbar.

[0010] Die zweite Schicht hingegen befindet sich auf der (der Antenne zugewandten) Innenseite des Radoms und muss entsprechend weniger mechanischen Belastungen standhalten als die (der Antenne abgewandte) erste Schicht. Dies ermöglicht eine größere Materialauswahl als bei der ersten Schicht. Insbesondere können die zweite Schichtdicke und die zweite Dielektrizitätskonstante so gewählt sein, dass die elektromagnetische Transparenz zusammen mit der ersten Schicht für die vorgesehenen Frequenzbereiche verbessert wird und die dielektrischen Verluste minimiert werden. Mit anderen Worten kann also der Phasenweg des elektromag-

netischen Signals durch das Radom durch die Wahl einer passenden Dielektrizitätskonstante und einer passenden Schichtdicke der zweiten Schicht so an das verwendete Signal angepasst sein, um dielektrische Verluste zu verringern und die elektromagnetische Transparenz zu verbessern.

[0011] Die Schichtdicken der ersten Schicht und der zweiten Schicht sowie sämtlicher weiter unten in Bezug auf weitere Ausführungsformen beschriebener zusätzlicher Schichten können über den gesamten Querschnitt des Radoms konstant sein. Jedoch können die Schichtdicken auch stellenweise verjüngt sein, um so die Eintritts- und Austrittswinkel der elektromagnetischen Strahlung der Antenne an verschiedenen Stellen des Radoms zu berücksichtigen und dadurch die Leistungsfähigkeit über das gesamte Radom zu verbessern bzw. aufrecht zu erhalten.

[0012] Kunststoffe werden in Durplaste, Elastomere und Thermoplaste eingeteilt. Ein duroplastisches Material (auch als Duroplast bezeichnet) ist ein Kunststoff, der nach seiner Aushärtung dreidimensional vernetzt ist und durch Erwärmung oder andere Maßnahmen nicht mehr in den schmelzflüssigen Zustand überführt werden kann. Ein solches duroplastische Material weist zunächst eine hohe mechanische Festigkeit auf, bricht aber, wenn gewisse Lasten überschritten werden. Die Energie eines Aufpralls eines Gegenstands auf ein duroplastisches Material wird von diesem nicht oder kaum absorbiert, sondern nahezu vollständig weitergegeben. Aus diesem Grund eignet sich ein solches Material gut als äußere Schicht eines Radoms, insbesondere für Flugzeuge, weil es beispielsweise einem Vogelschlag oder Hagel widerstehen kann, ohne sich dauerhaft zu verformen.

[0013] Wenn in dieser Offenbarung von duroplastischen Materialien gesprochen wird, so können diese, beispielsweise und ohne darauf beschränkt zu sein, Cyanatesterharze oder mit kurzen oder kontinuierlichen Quarz- oder Glasfasern verstärkte Epoxidharze umfassen.

[0014] Ein thermoplastisches Material (auch als Thermoplast bezeichnet) ist ein Kunststoff, der sich in bestimmten Temperaturbereichen reversibel verformen lässt. Ein solcher Kunststoff ist im Vergleich zu einem Duroplast weich und kann sich bei einem Aufprallereignis verformen und dadurch mindestens einen Teil der Energie absorbieren. Durch die Verwendung eines thermoplastischen Materials als (innere) zweite Schicht, zusammen mit einer (äußeren) ersten Schicht aus einem duroplastischen Material, wird die Aufprallenergie auf das Radom zunächst von der ersten Schicht auf die zweite Schicht weitergegeben, ohne dass das Radom sich irreversibel verformt. Die zweite Schicht kann dann die Aufprallenergie (oder zumindest einen Teil davon) absorbieren und in Wärme umwandeln, ohne substanzielle irreversible Veränderungen der Materialeigenschaften zu verursachen. Dadurch wird ein mechanisch stabiles Radom geschaffen.

[0015] Wenn in dieser Offenbarung von thermoplasti-

schen Materialien gesprochen wird, so können diese, beispielsweise und ohne darauf beschränkt zu sein, Polyphenylenether (PPE) umfassen. Zudem können die thermoplastischen Materialien mit kurzen oder kontinuierlichen Quarz- oder Glasfasern verstärkt sein.

[0016] Gemäß einer Ausführungsform ist die erste Dielektrizitätskonstante von der zweiten Dielektrizitätskonstante verschieden.

[0017] Die elektromagnetischen Eigenschaften des gesamten Radoms können durch Anpassen der zweiten Dielektrizitätskonstante an die jeweiligen Sende- und Empfangsfrequenzen angepasst werden, weil die erste Dielektrizitätskonstante durch die mechanischen Anforderungen und durch das Material der ersten Schicht bestimmt wird und bei der zweiten Schicht eine größere Auswahl an Materialien, insbesondere, wie weiter unten beschrieben, auch thermoplastischen Materialien, möglich ist.

[0018] Im Allgemeinen ist die Dielektrizitätskonstante bzw. (relative) Permittivität eines Materials eine komplexwertige Größe mit einem Realteil und einem Imaginärteil. Der Realteil bestimmt dabei die Reflexivität und die Transmissivität des Signals an dem Material sowie den Ausbreitungsweg eines Signals durch das Material (bzw. die Änderung des Ausbreitungswegs beim Übergang von einer Schicht zur nächsten Schicht). Der Imaginärteil beschreibt die Signalabsorption innerhalb des Materials, ist im Allgemeinen um mehrere Größenordnungen kleiner als der Realteil und wirkt sich deshalb nur geringfügig auf den Betrag der Dielektrizitätskonstante aus. Wenn in dieser Offenbarung von einer Dielektrizitätskonstante gesprochen wird, so ist damit stets der Betrag der Permittivität gemeint, welcher auf Grund der unterschiedlichen Größenordnungen von Realteil und Imaginärteil im Wesentlichen dem Realteil entspricht.

[0019] In dieser und in den anderen Ausführungsformen können auch die mechanischen Kennwerte (z.B. elastische Konstanten, bruchmechanische Konstanten) der Materialien der einzelnen Schichten verschieden sein.

[0020] Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist das Radom ferner eine dritte Schicht mit einer dritten Dielektrizitätskonstante auf. Die dritte Schicht ist zwischen der ersten Schicht und der zweiten Schicht angeordnet.

[0021] Die dritte Schicht verbindet die erste Schicht und die zweite Schicht miteinander und kann insbesondere ein Schaumkern oder ein Wabenkern sein. Diese Aufzählung ist jedoch nur beispielhaft und andere Materialien sind ebenfalls denkbar.

[0022] Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist die dritte Dielektrizitätskonstante kleiner als die erste Dielektrizitätskonstante und/oder gleich oder kleiner als die zweite Dielektrizitätskonstante.

[0023] Materialien mit kleinen Dielektrizitätskonstanten sind für die elektromagnetische Transparenz und für die Verringerung dielektrischer Verlust vorteilhaft. Ideal für die Signalpropagation durch ein Radom wären des-

halb Materialien mit einer Dielektrizitätskonstante möglichst nahe bei 1, d.h. möglichst nahe an der Dielektrizitätskonstante von Luft, was zu sehr geringen dielektrischen Verlusten führt, da so in elektromagnetischer Hinsicht kein großer Sprung, d.h. schlagartige Veränderung der Dielektrizitätskonstante, an dem Übergang vorliegt und die elektromagnetische Welle keine Dämpfung beim Schichtdurchgang erfährt. Solche Materialien sind jedoch in der Regel mechanisch nicht sehr stabil. Im Gegensatz dazu weisen Materialien mit einer hohen Dielektrizitätskonstante einen größeren Reflexionskoeffizienten an der Schichtoberfläche und eine schlechtere elektromagnetische Transparenz auf, sind jedoch typischerweise mechanisch stabiler.

[0024] Da, wie bereits dargelegt, für die (äußere) erste Schicht eine höhere mechanische Festigkeit nötig ist als für die (innere) zweite Schicht und für die dritte Schicht, ist es für die Gesamteigenschaften des Radoms vorteilhaft, wenn für mechanisch weniger stark belastete Schichten, wie die zwischen der ersten Schicht und der zweiten Schicht liegende dritte Schicht, eine kleinere Dielektrizitätskonstante gewählt wird.

[0025] Zudem kann, ohne Einschränkung, die zweite Dielektrizitätskonstante kleiner als die erste Dielektrizitätskonstante sein, da auch die zweite Schicht mechanisch weniger belastet wird als die erste Schicht.

[0026] Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist die dritte Schicht eine von der ersten Schichtdicke und von der zweiten Schichtdicke verschiedene dritte Schichtdicke auf.

[0027] Wie bereits oben beschrieben, ist die Schichtdicke der (äußeren) ersten Schicht im Wesentlichen durch die mechanischen Anforderungen an das Radom vorgegeben. Die Schichtdicken der (inneren) zweiten Schicht und der dritten Schicht können deshalb so angepasst sein, um die elektromagnetischen Eigenschaften des Radoms als Ganzes an das elektromagnetische Signal der Antenne, insbesondere an die verwendeten Frequenzbereiche und die Eintrittswinkel der Signale, anzupassen. Dadurch kann die elektromagnetische Transparenz und die phasentreue verbessert werden.

[0028] Gemäß einer weiteren Ausführungsform umfasst die dritte Schicht ein thermoplastisches Material.

[0029] Die dritte Schicht kann so die Energie aus einem eventuell stattfindenden Aufprallereignis absorbieren und so die zweite Schicht zusätzlich schützen. Dies ist insbesondere vorteilhaft, wenn die zweite Schichtdicke geringer ist als die erste Schichtdicke. Jedoch auch wenn die zweite Schicht ein thermoplastisches Material umfasst oder vollständig aus einem solchen gebildet ist, wird durch eine dritte Schicht aus einem thermoplastischen Material die Absorption der Aufprallenergie verbessert.

[0030] Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist das Radom ferner eine vierte Schicht mit einer vierten Dielektrizitätskonstante und eine fünfte Schicht mit einer fünften Dielektrizitätskonstante auf. Die fünfte Schicht ist zwischen der zweiten Schicht und der vierten Schicht

angeordnet. Die fünfte Dielektrizitätskonstante ist gleich der dritten Dielektrizitätskonstante und die vierte Dielektrizitätskonstante ist gleich oder kleiner als die zweite Dielektrizitätskonstante.

[0031] Die vierte Schicht entspricht in dieser Ausführungsform in eingebautem Zustand des Radoms der innersten, der Antenne zugewandten Schicht des Radoms. Die fünfte Schicht dient als Verbindungsschicht der vierten Schicht mit der zweiten Schicht. Durch die Verwendung von zwei zusätzlichen Schichten kann das Radom weiter an die Anforderungen der Antenne angepasst werden. Insbesondere bei komplexen Antennenanwendungen mit verschiedenen abzudeckenden Frequenzbereichen und hohen Anforderungen an ein ungestörtes Signal für verschiedene Eintrittswinkel sind komplexere Schichtaufbauten mit mehreren Schichten nötig.

[0032] Gemäß einer weiteren Ausführungsform umfasst die fünfte Schicht ein thermoplastisches Material.

[0033] Die fünfte Schicht bildet, ebenso wie die dritte Schicht, eine innere Schicht, d.h. insbesondere eine Schicht, die zwischen zwei mechanisch stabilen Schichten angeordnet ist. Solche Schichten dienen der Anpassung der elektromagnetischen Eigenschaften des Radoms, beispielsweise durch Wahl passender Schichtdicken und passender Dielektrizitätskonstanten. In Ausführungsformen, in denen die dritte Schicht ein thermoplastisches Material umfasst, kann die fünfte Schicht das gleiche thermoplastische Material umfassen. Die fünfte Schicht kann jedoch auch ein anderes thermoplastisches Material umfassen, beispielsweise ein thermoplastisches Material mit einer abweichenden Dielektrizitätskonstante.

[0034] Gemäß einer weiteren Ausführungsform umfasst die vierte Schicht ein duroplastisches Material.

[0035] Da die vierte Schicht die innerste Schicht des Radoms ist, kann diese auch aus einem duroplastischen Material gebildet sein oder ein solches umfassen, um die mechanische Festigkeit zu erhöhen, falls dies entsprechend der Anwendung nötig ist.

[0036] Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist die vierte Schicht eine vierte Schichtdicke auf, die von der ersten Schichtdicke oder von der zweiten Schichtdicke verschieden ist.

[0037] Im Allgemeinen können sämtliche Schichten des Radoms unterschiedliche Schichtdicken aufweisen. Unter Berücksichtigung der elektromagnetischen Anforderungen für die verwendeten Signale und der elektromagnetischen Übergänge durch die unterschiedlichen Materialien und die unterschiedlichen Dielektrizitätskonstanten zwischen den einzelnen Schichten kann das Radom so für eine bestimmte Anwendung angepasst sein, um das Signal möglichst wenig zu beeinflussen bzw. zu verfälschen.

[0038] Es können jedoch auch einzelne Schichten eine gleiche oder ähnliche Schichtdicke aufweisen. Allerdings ist in einer bevorzugten Ausführungsform das Radom im Hinblick auf die Schichtdicken und/oder die verwendeten Materialien stets asymmetrisch bezüglich der dielektri-

schen und/oder mechanischen Kennwerte aufgebaut.

[0039] Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist die fünfte Schicht eine fünfte Schichtdicke auf, die von der dritten Schichtdicke verschieden ist.

[0040] Gemäß einer weiteren Ausführungsform umfasst die erste Schicht Glasfasern.

[0041] Durch die Verwendung von Glasfasern in der ersten Schicht kann die erste Schicht weiter mechanisch verstärkt werden. Da die erste Schicht die äußerste Schicht des Radoms ist, ist besonders für diese Schicht eine hohe mechanische Stabilität nötig. Jedoch könne auch andere Schichten Glasfasern umfassen bzw. mit Glasfasern verstärkt sein.

[0042] Das Radom kann auf seiner äußeren Oberfläche eine Oberflächenbeschichtung aufweisen, wie beispielsweise eine Farbschicht, eine Erosionsschicht oder dergleichen. Ebenso kann das Radom auf seiner inneren Oberfläche eine Oberflächenbeschichtung aus dem gleichen oder einem anderen Material wie die äußere Oberflächenbeschichtung aufweisen.

[0043] Die Schichten des Radoms sind passförmig ineinander geformt. Die Schichten sind dabei mechanisch miteinander verbunden, so dass eine Relativbewegung der Schichten im Regelfall nicht möglich ist. Die Schichten können trocken zusammengesetzt und mit Hartz infiltriert und ausgehärtet werden. Allerdings können die Schichten auch aus vorimprägnierten Lagen, sogenannten Prepregs, zusammengesetzt und ausgehärtet werden.

[0044] Gemäß einem weiteren Aspekt wird ein Luftfahrzeug mit einer Antenne und einem zuvor beschriebenen Radom zur Verfügung gestellt. Das Radom ist über der Antenne angeordnet. Die erste Schicht des Radoms ist auf einer der Antenne abgewandten Seite des Radoms angeordnet. Das Radom deckt die Antenne ab und schützt die Antenne vor äußeren Einflüssen.

[0045] Das Radom kann dabei gemäß irgendeiner der zuvor beschriebenen Ausführungsformen des Radoms aufgebaut sein. Die Antenne kann jede Art von Antenne sein, die an einem Luftfahrzeug verwendet wird, wie beispielsweise, ohne darauf beschränkt zu sein, eine Kommunikationsantenne, ein Wetterradar oder eine militärische Radarantenne. Unter einer Antenne im Sinne der Offenbarung kann auch eine Mehrzahl von einzelnen Antennen oder ein Array von Antennen verstanden werden. Allgemein ist eine solche Antenne ein Sender und/oder Empfänger von elektromagnetischen Wellen.

[0046] Zusammenfassend wird durch die Erfindung also ein Radom für verschiedene Antennenanwendungen zur Verfügung gestellt, das die mechanischen Anforderungen, beispielsweise durch aerodynamische Lasten und Vogelschlag-Ereignisse, erfüllt. Durch moderne Sende- und Empfangstechnik werden die Anforderungen an solche Radome in elektromagnetischer Hinsicht zudem zunehmend anspruchsvoller. Das hierin offenbarte asymmetrische Radom-Design, und insbesondere auch die Verwendung von thermoplastischen Materialien, wie bisher im Stand der Technik nicht verwendet,

trägt dazu bei, das Erreichen dieser elektromagnetischen Anforderungen zu erleichtern. Darüber hinaus trägt das asymmetrische Radom-Design zu Verbesserungen der mechanischen Eigenschaften des Radoms bei. Dabei können die elektromagnetischen Eigenschaften des Radoms für komplexe Antennenanwendungen durch Variation der Schichtdicken und der verwendeten Dielektrizitätskonstanten an die jeweiligen Signale angepasst sein.

KURZBESCHREIBUNG DER FIGUREN

[0047] Nachfolgend wird anhand der beigefügten Zeichnungen näher auf Ausführungsbeispiele eingegangen. Die Darstellungen sind schematisch und nicht maßstabsgetreu. Gleiche Bezugszeichen beziehen sich auf gleiche oder ähnliche Elemente. Es zeigen:

Fig. 1 Eine schematische Schnittdarstellung eines asymmetrisch aufgebauten Radoms mit drei Schichten gemäß einer beispielhaften Ausführungsform.

Fig. 2 Eine schematische Schnittdarstellung eines asymmetrisch aufgebauten Radoms mit fünf Schichten gemäß einer beispielhaften Ausführungsform.

Fig. 3 Eine schematische Darstellung eines Luftfahrzeugs mit einer Antenne und einem hierin offenbarten asymmetrisch aufgebauten Radom gemäß einer Ausführungsform.

DETAILIERTE BESCHREIBUNG VON AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0048] Fig. 1 zeigt eine schematische Schnittdarstellung der Schichten eines asymmetrischen Radoms 10 gemäß einer beispielhaften Ausführungsform. Das Radom 10 weist eine erste Schicht 11 mit einer ersten Dielektrizitätskonstante ϵ_1 und einer ersten Schichtdicke d_1 , eine zweite Schicht 12 mit einer zweiten Dielektrizitätskonstante ϵ_2 und einer zweiten Schichtdicke d_2 und eine dritte Schicht 13 mit einer dritten Dielektrizitätskonstante ϵ_3 und einer dritten Schichtdicke d_3 auf. Die dritte Schicht 13 ist zwischen der ersten Schicht 11 und der zweiten Schicht 12 angeordnet und verbindet diese miteinander.

[0049] Die erste Schicht 11 entspricht der Außenseite des Radoms, d.h. in Fig. 3 der von der Antenne 20 und dem Flugzeug 100 abgewandten Seite, und ist aus einem duroplastischen Material, im Speziellen aus einem Cyanatetherharz oder einem mit kurzen oder kontinuierlichen Quartz- oder Glasfasern verstärkten Epoxidharz, gebildet. Dadurch ist die erste Schicht 11 mechanisch sehr stabil und widersteht beispielsweise einem Vogelschlag oder Hagel, ohne dauerhaft verformt zu werden oder zu brechen. Die erste Schicht 11 absorbiert jedoch die Auf-

prallenergie nicht oder nur geringfügig, sondern gibt den Aufpralldruck und damit die Aufprallenergie über Schockwellen an die dritte Schicht 13 und die zweite Schicht 12 weiter. Die erste Schichtdicke d_1 ist durch die mechanischen Anforderungen an das Radom 10 vorgegeben und ist so ausgelegt, dass diese den aerodynamischen Lasten und auch eventuell auftretenden dynamischen Lasten, wie beispielsweise durch Vogelschlag, standhält. Insbesondere ist die erste Schichtdicke d_1 also so ausgelegt, um wahrscheinlich auftretenden Belastungen standzuhalten, wobei ein gewisser Sicherheitspuffer mit bedacht wird.

[0050] Die zweite Schicht 12 ist aus einem thermoplastischen Material, im Speziellen aus einem mit kurzen oder kontinuierlichen Quartz- oder Glasfasern verstärkten Polyphenylenether (PPE) gebildet. Dieses Material ist verglichen mit der ersten Schicht 11 weicher und kann sich verformen. Dadurch kann die zweite Schicht 12 die Aufprallenergie absorbieren, welche diese von der ersten Schicht 11 (über die dritte Schicht 13) erhält.

[0051] Die dritte Schicht 13 ist ebenfalls aus einem thermoplastischen Material gebildet, weist jedoch eine geringere mechanische Festigkeit auf als die zweite Schicht 12, da diese im Gegensatz zu der ersten Schicht 11 und der zweiten Schicht 12 keine Oberfläche des Radoms 10 darstellt und deshalb weniger mechanischen Lasten standhalten muss. Die dritte Schicht 13 ist von der ersten Schicht 11 und der zweiten Schicht 12 eingeschlossen und hat deshalb keinen direkten Kontakt nach außen. Da die dritte Schicht 13 die weichste Schicht des Radoms 10 ist, absorbiert diese bei Aufprallereignissen einen Großteil der Energie. Die restliche Energie wird an die zweite Schicht 12 weitergegeben und kann von dieser absorbiert werden. Die Schnittstelle zwischen der ersten Schicht 11 (Duroplast) und der dritten Schicht 13 (Thermoplast) reduziert zudem die Reflektion von an der ersten Schicht 11 entstehenden Schockwellen und reduziert dadurch Delaminationsschäden.

[0052] Mechanisch stabilere Materialien weisen in der Regel eine höhere Dielektrizitätskonstante auf. Da die erste Schicht 11 und die zweite Schicht 12 (äußeren und inneren) Oberflächen des Radoms 10 entsprechen, weisen diese deshalb höhere Dielektrizitätskonstanten ϵ_1 , ϵ_2 auf als die dritte Schicht 13. Insbesondere weist die erste Schicht 11 die höchste Dielektrizitätskonstante ϵ_1 auf, da diese als nach außen gerichtete Schicht mechanisch am stabilsten sein muss. Die zweite Dielektrizitätskonstante ϵ_2 ist kleiner als die erste Dielektrizitätskonstante ϵ_1 aber größer als die dritte Dielektrizitätskonstante ϵ_3 .

[0053] Die erste Schichtdicke d_1 , die zweite Schichtdicke d_2 und die dritte Schichtdicke d_3 weichen jeweils voneinander ab und sind so angepasst, um die nötigen elektromagnetischen Eigenschaften (Transmission, Reflexion, Phasentreue, dielektrischer Verlust, Verzerrung des Antennendiagramms, etc.) des Radoms 10 für die jeweilige Antennenanwendung zu erreichen. Die Verwendung der thermoplastischen Schichten 12, 13 mit niedriger Di-

elektrizitätskonstante verbessert die elektromagnetische Leistungsfähigkeit des Radoms 10 in Bezug auf die Eintrittsphasenverzögerung und das Antennenaxialverhältnis und verringert damit Richtungsfehler und Musterverzerrungen.

[0054] Obwohl in Fig. 1 ein Radom 10 mit drei Schichten 11, 12, 13 dargestellt ist, ist diese Ausführung lediglich beispielhaft. Das Radom 10 kann auch lediglich zwei Schichten aufweisen. In diesem Fall ist die Schichtdicke der (äußeren) ersten Schicht 11 durch die mechanischen Anforderungen vorgegeben und die (innere) zweite Schicht 12 ist angepasst, um die jeweiligen elektromagnetischen Anforderungen zu erfüllen.

[0055] Fig. 2 zeigt ein ähnliches Radom 10 wie Fig. 1. Allerdings weist dieses Radom 10 zusätzlich eine vierte Schicht 14 mit einer vierten Schichtdicke d_4 und einer vierten Dielektrizitätskonstante ϵ_4 sowie eine fünfte Schicht 15 mit einer fünften Schichtdicke d_5 und einer fünften Dielektrizitätskonstante ϵ_5 auf. Die vierte Schicht 14 und die fünfte Schicht 15 sind jeweils innerhalb (in Richtung der Antenne 20 in eingebautem Zustand des Radoms 10) der zweiten Schicht 12 angeordnet, wobei die fünfte Schicht 15 zwischen der zweiten Schicht 12 und der vierten Schicht 14 liegt.

[0056] Die fünfte Schicht 15 kann aus dem gleichen Material gebildet sein wie die dritte Schicht 13, d.h. ϵ_5 ist gleich groß wie ϵ_3 , und die vierte Schicht 14 kann aus dem gleichen Material gebildet sein wie die zweite Schicht 12, d.h. ϵ_4 ist gleich groß wie ϵ_2 . Allerdings kann in dem dargestellten Radom 10 die zweite Schicht 12 auch aus dem gleichen Material gebildet sein wie die erste Schicht 11. Mit anderen Worten ist die zentrale Schicht (die zweite Schicht 12) entweder aus dem gleichen Material wie die äußerste Schicht (erste Schicht 11) oder wie die innerste Schicht (vierte Schicht 14) gebildet. Die Schichten 11, 12, 13, 14 und 15 weisen jedoch voneinander unterschiedliche Schichtdicken d_1 , d_2 , d_3 , d_4 und d_5 auf. Die thermoplastischen Zwischenschichten, d.h. die dritte Schicht 13 und die fünfte Schicht 15, weisen jeweils kleinere Dielektrizitätskonstanten ϵ_3 , ϵ_5 auf als die verbleibenden Schichten 11, 12, 14 auf. Es sind jedoch auch andere Verhältnisse der Dielektrizitätskonstanten zueinander denkbar.

[0057] Dieser Aufbau ermöglicht eine hohe mechanische Stabilität (die thermoplastischen Zwischenschichten dienen als Energieabsorber) bei gleichzeitig vorteilhaften elektromagnetischen Eigenschaften des Radoms 10 durch die niedrigen Dielektrizitätskonstanten der thermoplastischen Zwischenschichten. Durch Auswahl passender Materialien und Schichtdicken eines solchen asymmetrischen Radoms können zudem die elektromagnetischen Eigenschaften an die gewünschte Antennenanwendung, insbesondere an die verwendeten Frequenzbereiche und an unterschiedliche Anforderungen im Sende- und Empfangsmodus angepasst werden.

[0058] Es sollte beachtet werden, dass je nach Anwendung und Komplexität der Anwendung auch mehr als drei oder fünf Schichten in dem Radom 10 vorhanden

sein können. Zudem sollte erkannt werden, dass die Schichtaufbauten in den Fig. 1 und 2 lediglich Ausschnitte eines Radoms zeigen und das Radom üblicherweise nicht flach ausgebildet ist, sondern in der Regel eine gekrümmte, beispielsweise parabolförmige, Oberfläche aufweist, so dass das Radom 10 beispielsweise an der Spitze eines Luftfahrzeugs (wie dem Luftfahrzeug 100 aus Fig. 3) angebracht werden kann. Das Radom 10 kann jedoch auch flach ausgebildet sein, beispielsweise um eine in einer Vertiefung der Außenwand eines Luftfahrzeugs angeordneten Antenne abzudecken und nach außen hin eine bündige Oberfläche des Luftfahrzeugs darzustellen.

[0059] Fig. 3 zeigt eine schematische Darstellung eines Luftfahrzeugs 100 gemäß einem Ausführungsbeispiel. Das Luftfahrzeug 100 weist eine Antenne 20 an der Außenseite des Luftfahrzeugs 100 auf. Ein Radom 10 deckt die Antenne 20 ab.

[0060] Die Antenne 20 kann jede denkbare Send- und Empfangsvorrichtung für elektromagnetische Signale, wie beispielsweise eine Kommunikationsantenne oder eine Radarantenne sein.

[0061] Das Radom 10 deckt die Antenne 20 so ab, um diese vor Umwelteinflüssen wie beispielsweise aerodynamischen Lasten, Wettereinflüssen und Vogelschlag zu schützen. Das Radom 10 kann gemäß irgendeiner der hierin offenbarten Ausführungsformen aufgebaut sein.

[0062] Obwohl in Fig. 3 lediglich eine Antenne 20 mit einem Radom 10 dargestellt ist, kann das Flugzeug auch mehr als eine Antenne 20 und mehr als ein Radom 10 aufweisen.

[0063] Die Antennen 20 mit den zugehörigen Radomen 10 können sich dabei an jeder denkbaren und möglichen Stelle des Luftfahrzeugs 100 befinden. Zudem kann auch mehr als eine Antenne 20 oder ein Antennen-Array mit lediglich einem Radom 10 verdeckt sein.

[0064] Ergänzend ist darauf hinzuweisen, dass "umfassend" oder "aufweisend" keine anderen Elemente oder Schritte ausschließt und "eine" oder "ein" keine Vielzahl ausschließt. Ferner sei darauf hingewiesen, dass Merkmale oder Schritte, die mit Verweis auf eines der obigen Ausführungsbeispiele beschrieben worden sind, auch in Kombination mit anderen Merkmalen oder Schritten anderer oben beschriebener Ausführungsbeispiele verwendet werden können. Bezugszeichen in den Ansprüchen sind nicht als Einschränkung anzusehen.

BEZUGSZEICHENLISTE

[0065]

10	Antennen-Radom
11	erste Schicht
12	zweite Schicht
13	dritte Schicht
14	vierte Schicht
15	fünfte Schicht
ϵ_1	erste Dielektrizitätskonstante

ϵ_2	zweite Dielektrizitätskonstante
ϵ_3	dritte Dielektrizitätskonstante
ϵ_4	vierte Dielektrizitätskonstante
ϵ_5	fünfte Dielektrizitätskonstante
5 d_1	erste Schichtdicke
d_2	zweite Schichtdicke
d_3	dritte Schichtdicke
d_4	vierte Schichtdicke
d_5	fünfte Schichtdicke
10 20	Antenne
100	Luftfahrzeug

Patentansprüche

1. Radom (10) für ein Luftfahrzeug, wobei das Radom aufweist:

eine erste Schicht (11) mit einer ersten Dielektrizitätskonstante (ϵ_1);
eine zweite Schicht (12) mit einer zweiten Dielektrizitätskonstante (ϵ_2);
wobei die erste Schicht (11) und die zweite Schicht (12) unterschiedliche erste und zweite Schichtdicken (d_1 , d_2) aufweisen;
wobei die erste Schicht (11) ein duroplastisches Material umfasst; und
wobei die zweite Schicht (12) ein thermoplastisches Material umfasst.

2. Radom (10) nach Anspruch 1, wobei die erste Dielektrizitätskonstante (ϵ_1) von der zweiten Dielektrizitätskonstante (ϵ_2) verschieden ist.

3. Radom (10) nach einem der Ansprüche 1 oder 2, ferner aufweisend eine dritte Schicht (13) mit einer dritten Dielektrizitätskonstante (ϵ_3);
wobei die dritte Schicht (13) zwischen der ersten Schicht (11) und der zweiten Schicht (12) angeordnet ist.

4. Radom (10) nach Anspruch 3, wobei die dritte Dielektrizitätskonstante (ϵ_3) kleiner als die erste Dielektrizitätskonstante (ϵ_1) und/oder kleiner als oder gleich wie die zweite Dielektrizitätskonstante (ϵ_2) ist.

5. Radom (10) nach einem der Ansprüche 3 oder 4, wobei die dritte Schicht (13) eine von der ersten Schichtdicke (d_1) und von der zweiten Schichtdicke (d_2) verschiedene dritte Schichtdicke (d_3) aufweist.

6. Radom (10) nach einem der Ansprüche 3 bis 5, wobei die dritte Schicht (13) ein thermoplastisches Material umfasst.

7. Radom (10) nach einem der Ansprüche 3 bis 6, ferner aufweisend eine vierte Schicht (14) mit einer vierten Dielektrizitätskonstante (ϵ_4) und eine fünfte

Schicht (15) mit einer fünften Dielektrizitätskonstante (ϵ_5);

wobei die fünfte Schicht (15) zwischen der zweiten Schicht (12) und der vierten Schicht (14) angeordnet ist; 5
wobei die fünfte Dielektrizitätskonstante (ϵ_5) gleich der dritten Dielektrizitätskonstante (ϵ_3) ist; und
wobei die vierte Dielektrizitätskonstante (ϵ_4) gleich oder kleiner als die zweite Dielektrizitätskonstante (ϵ_2) ist. 10

8. Radom (10) nach Anspruch 7, wobei die fünfte Schicht (15) ein thermoplastisches Material umfasst. 15

9. Radom (10) nach einem der Ansprüche 7 oder 8, wobei die vierte Schicht (14) ein duroplastisches Material umfasst. 20

10. Radom (10) nach einem der Ansprüche 7 bis 9, wobei die vierte Schicht (14) eine vierte Schichtdicke (d_4) aufweist, die von der ersten Schichtdicke (d_1) oder von der zweiten Schichtdicke (d_2) verschieden ist. 25

11. Radom (10) nach einem der Ansprüche 7 bis 10, wobei die fünfte Schicht (15) eine fünfte Schichtdicke (d_5) aufweist, die von der dritten Schichtdicke (d_3) verschieden ist. 30

12. Radom (10) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die erste Schicht (11) Glasfasern umfasst. 35

13. Luftfahrzeug (100), aufweisend:

eine Antenne (20); und
ein Radom (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 12; 40
wobei das Radom (10) über der Antenne (20) angeordnet ist;
wobei die erste Schicht (11) des Radoms (10) auf einer der Antenne (20) abgewandten Seite des Luftfahrzeugs (100) angeordnet ist; und 45
wobei das Radom (10) die Antenne (20) abdeckt und vor äußeren Einflüssen schützt.

50

55

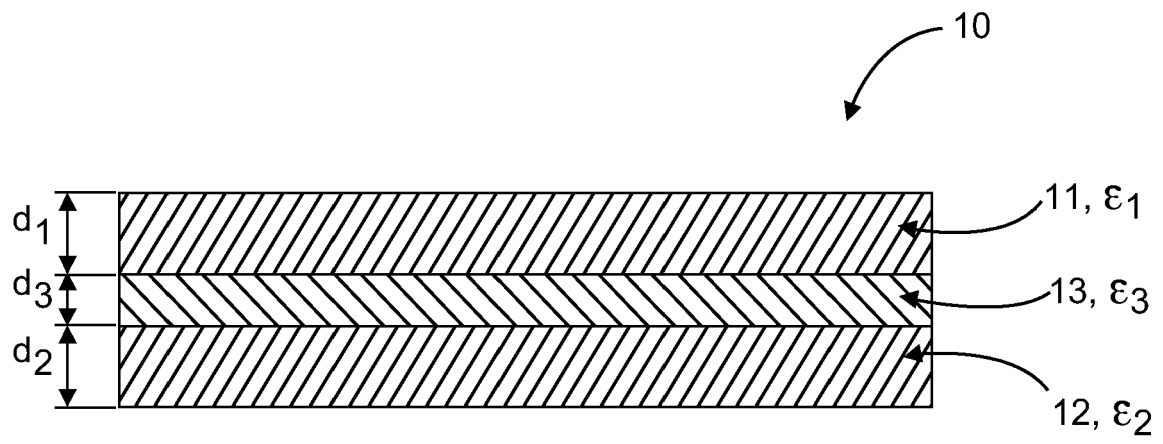


Fig. 1

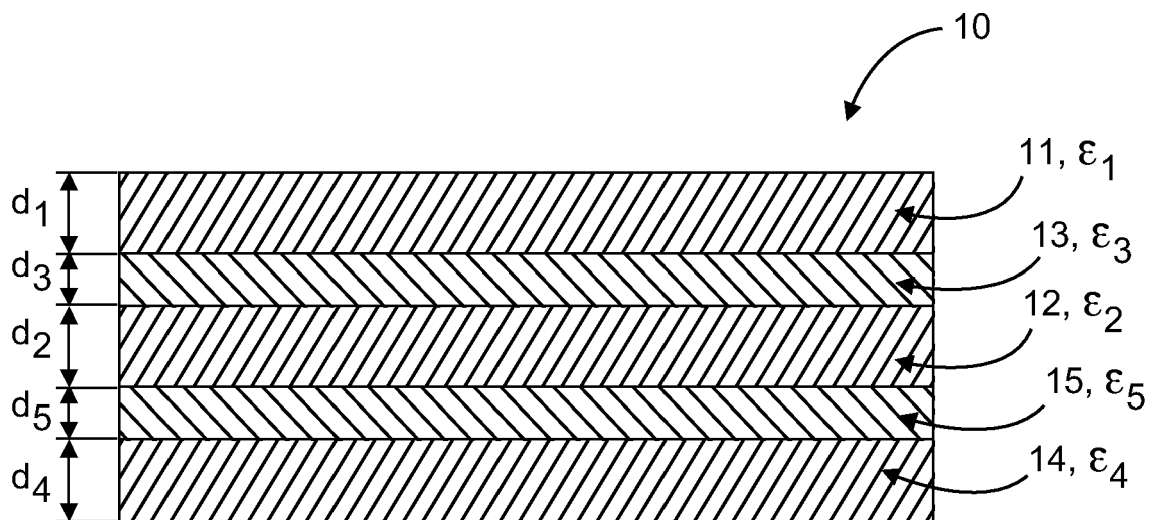


Fig. 2

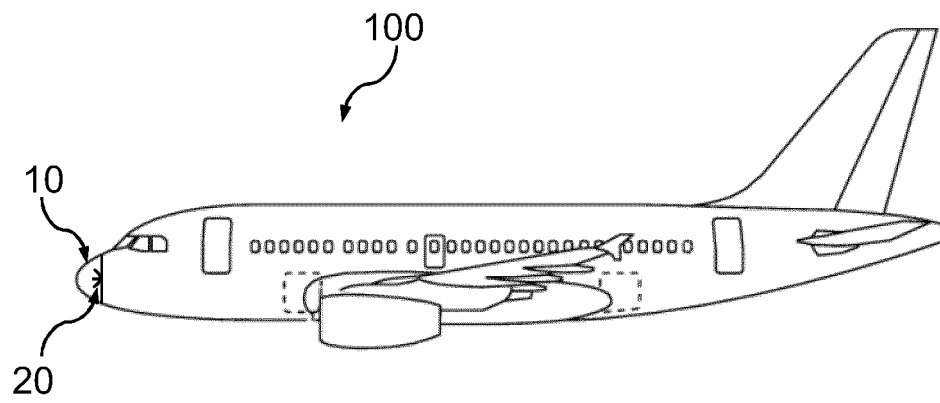


Fig. 3



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 22 15 8594

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	DE 10 2016 221143 A1 (LUFTHANSA TECHNIK AG [DE]) 3. Mai 2018 (2018-05-03)	1-6, 12, 13	INV. H01Q1/42
A	* Zusammenfassung; Abbildungen 1-2 * * Absätze [0001] - [0038] * -----	7-11	H01Q1/28
X	WO 92/12550 A1 (NORTON CO [US]) 23. Juli 1992 (1992-07-23) * Zusammenfassung; Abbildungen 9,10 * * Seite 10, Absatz 2 - Seite 12, Absatz 1 * * Seite 14, Zeile 5 - Seite 16, Zeile 1 * -----	1-6, 12, 13	
X	US 6 107 976 A (PURINTON DONALD L [US]) 22. August 2000 (2000-08-22) * Zusammenfassung; Abbildungen 1-4 * * Spalte 5, Zeile 28 - Spalte 8, Zeile 49 * * -----	1-3, 12, 13	
X	US 6 028 565 A (MACKENZIE S BENJAMIN [US] ET AL) 22. Februar 2000 (2000-02-22) * Zusammenfassung; Abbildung 3 * * Spalte 4, Zeile 19 - Spalte 6, Zeile 19 * * -----	1, 2, 12, 13	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) H01Q
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 27. Juli 2022	Prüfer Hüschelrath, Jens
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 : nichtschriftliche 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 anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 22 15 8594

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

27-07-2022

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
15	DE 102016221143 A1	03-05-2018	BR 112019008319 A2 CA 3040797 A1 CN 109891669 A DE 102016221143 A1 EP 3533108 A1 EP 4009440 A1 ES 2909836 T3 US 2020058991 A1 WO 2018077823 A1	16-07-2019 03-05-2018 14-06-2019 03-05-2018 04-09-2019 08-06-2022 10-05-2022 20-02-2020 03-05-2018
20	WO 9212550 A1	23-07-1992	AU 1199192 A WO 9212550 A1	17-08-1992 23-07-1992
25	US 6107976 A	22-08-2000	KEINE	
30	US 6028565 A	22-02-2000	EP 0843379 A2 US 6028565 A	20-05-1998 22-02-2000
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82