



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 696 36 558 T2** 2007.06.06

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 351 072 B1**

(51) Int Cl.⁸: **G02B 5/124** (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **696 36 558.8**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **03 009 826.3**

(96) Europäischer Anmeldetag: **06.06.1996**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **08.10.2003**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **13.09.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **06.06.2007**

(30) Unionspriorität:

90 09.06.1995 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, ES, FR, GB, IT, NL

(73) Patentinhaber:

**Minnesota Mining and Manufacturing Company,
St. Paul, Minn., US**

(72) Erfinder:

**Smith, Kenneth L., St. Paul, Minnesota 55133-3427,
US; Benson, Gerald M., St. Paul, Minnesota
55133-3427, US**

(74) Vertreter:

derzeit kein Vertreter bestellt

(54) Bezeichnung: **Retroreflektierende Folie und Artikel**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung**GEBIET DER ERFINDUNG**

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft retroreflektierende Gegenstände mit strukturierten Flächen. Insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung eine retroreflektierende Folie mit einer strukturierten Fläche, die retroreflektierende Würfeckenelemente mit ungleichseitigen Basisdreiecken enthält, sowie Formen zu deren Bildung.

HINTERGRUND

[0002] Retroreflektierende Gegenstände, die auf retroreflektierenden Würfeckenelementen beruhen, haben eine verbreitete Akzeptanz in Anwendungen gewonnen, die Markierungen für den Verkehr und zur Personensicherheit betreffen. Eine retroreflektierende Würfecken-Folie wird verbreitet verwendet, um die Sichtbarkeit oder Auffälligkeit von Verkehrszeichen bei schlechten Lichtverhältnissen und bei Nacht zu verbessern. Eine retroreflektierende Würfecken-Folie hat auch eine verbreitete Akzeptanz bei Anwendungen gewonnen, die auffällige Fahrzeugmarkierungen betreffen. Zum Beispiel fordern in den Vereinigten Staaten staatliche Vorschriften, dass retroreflektierende Materialien an Anhängern für Sattelschlepper angebracht werden, um die Auffälligkeit dieser Fahrzeuge zu verbessern. Andere Anwendungen für eine retroreflektierende Würfecken-Folie umfassen eine retroreflektierende Folie zur Verwendung bei Bekleidung mit hoher Sichtbarkeit.

[0003] Das retroreflektierende Grund-Würfeckenelement ist in der Retroreflexionstechnik wohlbekannt. Dieses Element ist im Allgemeinen eine Triederstruktur mit drei gegenseitig im wesentlichen senkrechten Seitenflächen, die sich an einem einzigen Bezugspunkt oder Scheitelpunkt schneiden, und einem Basisdreieck, das dem Scheitelpunkt gegenüberliegt. Die Symmetrieachse oder optische Achse des Elements ist die Achse, die sich durch den Würfelscheitelpunkt erstreckt und den Innenraum des Würfeckenelements dreiteilt. Im Betrieb wird Licht, das auf die Basis des Würfeckenelements einfällt, von jeder der drei Seitenflächen reflektiert und zur Lichtquelle umgelenkt. Eine Reflexion von den Würfecken-Seitenflächen kann durch spiegelnde Reflexion erreicht werden, wobei in diesem Fall die Seitenflächen eines Würfeckenelements mit einer spiegelnd reflektierenden Substanz, wie zum Beispiel Aluminium oder Silber beschichtet sind. Alternativ kann eine Reflexion gemäß den Prinzipien der inneren Totalreflexion erreicht werden, wobei in diesem Fall die Flächen des Würfeckenelements nicht mit einem spiegelnd reflektierenden Material beschichtet sind. Eine retroreflektierende Folie umfasst im Allgemeinen eine strukturierte Fläche, die mindestens ein Feld von reflektierenden Würfeckenelementen aufweist, um die Sichtbarkeit eines Objekts zu erhöhen. Das gesamte Licht, das durch die Folie retroreflektiert wird, ist die Summe des Lichts, das durch die einzelnen Würfeckenelemente retroreflektiert wird.

[0004] Der Ausdruck "Einfallwinkligkeit" wird üblicherweise verwendet, um die Retroreflexionsleistung einer retroreflektierenden Folie als eine Funktion des Einfallswinkels des Lichts, das auf die Folie einfällt, und der Orientierung der Folie zu beschreiben. Der Einfallswinkel des einfallenden Lichts wird typischerweise bezüglich einer Achse gemessen, die sich normal zur Basisfläche der Folie erstreckt. Die Retroreflexionsleistung eines Gegenstands kann als der Prozentsatz des gesamten Lichts, das auf die Fläche des Gegenstands einfällt, das durch den Gegenstand bei einem bestimmten Einfallswinkel zurückgeworfen wird, ausgedrückt werden.

[0005] Herkömmliche schräg abgeschnittene retroreflektierende Würfeckenelemente weisen eine schlechte Einfallwinkligkeit auf. Die durch ein herkömmliches Würfeckenelement retroreflektierte Lichtmenge fällt stark ab, wenn der Einfallswinkel des einfallenden Lichts von der optischen Achse des Elements abweicht. Entsprechend zeigt eine retroreflektierende Folie, die nicht geneigte, schräg abgeschnittene Würfeckenelemente einsetzt, eine schlechte Retroreflexionsleistung als Antwort auf Licht auf, das auf die Folie unter hohen Einfallswinkeln einfällt.

[0006] Viele Anwendungen können von einer retroreflektierenden Folie profitieren, die eine ausgedehnte Einfallwinkligkeit in mehreren Ebenen aufweist. Eine solche Anwendung betrifft retroreflektierende Auffälligkeitsfolie für das Straßentransportgewerbe. Eine Lastkraftwagen-Auffälligkeitsfolie wird typischerweise am Heck und den Seiten von Lastkraftwagenanhängern sowohl in einer horizontalen Orientierung als auch einer vertikalen Orientierung relativ zum Rahmen des Anhängers angeordnet. Um effektiv zu funktionieren, muss die Folie Licht retroreflektieren, das auf den Anhänger mit hohen Einfallswinkeln einfällt, wenn die Folie in jeder Orientierung angeordnet ist. Folglich wäre es wünschenswert, eine retroreflektierende Lastkraftwagen-Auffälligkeitsfolie bereitzustellen, die in beiden Ebenen eine ausgedehnte Einfallwinkligkeit aufweist. Zeichen-Anwendungen würden ebenfalls von einer retroreflektierenden Folie profitieren, die eine ausgedehnte Einfallwinklig-

keit in mehreren Ebenen aufweisen. Insbesondere reduziert eine retroreflektierende Folie, die mehrere Ebenen mit einer ausgedehnten Einfallwinkligkeit aufweist, die Wichtigkeit, die Folie in einer bestimmten Orientierung auf dem Zeichen anzuordnen.

[0007] Ein Verfahren zur Herstellung eines retroreflektierenden Gegenstands, der eine ausgedehnte Einfallwinkligkeit in mehreren Ebenen aufweist, das allgemein in der Technik als "Fliesen" bekannt ist, umfasst das Anordnen von mehreren diskreten Fliesen von geneigten Würfeckenelementen mit unterschiedlichen Orientierungen auf der Folie. Fliesen hat den Vorteil einer effektiven Herstellung eines Gegenstands mit mehreren Ebenen einer ausgedehnten Einfallwinkligkeit. Jedoch hat Fliesen den innewohnenden Nachteil, dass bei jeder gegebenen Orientierung nur ein Bruchteil der gefliesten Abschnitte so orientiert ist, dass sie die maximale Lichtmenge retroreflektieren, die auf ihre Fläche einfällt. Als Ergebnis leidet eine geflieste Würfecken-Folie an einem ihr innewohnenden Helligkeitsverlust in jeder gegebenen Orientierung, um mehrere Einfallwinkligkeitsebenen zu gewinnen.

[0008] Das US-Patent 4,588,258 offenbart einen retroreflektierenden Gegenstand, der zwei Ebenen mit einer ausgedehnten Einfallwinkligkeit aufweist: eine erste Ebene, die im Wesentlichen mit der Ebene zusammenfällt, die die optischen Achsen der Würfeckenelemente einschließt, und eine zweite Ebene, die senkrecht zur ersten Ebene ist. Jedoch zeigt dieser Gegenstand in der ersten Ebene im Wesentlichen eine ausgedehntere Einfallwinkligkeit als in der zweiten Ebene.

[0009] Es wäre wünschenswert, eine retroreflektierende Folie bereitzustellen, die zwei ausgedehnte Einfallwinkligkeitsebenen aufweist, die bei von null verschiedenen Einfallwinkeln eine im Wesentlichen ähnliche Retroreflexionsleistung aufweist. Es wäre noch wünschenswerter, eine Folie bereitzustellen, die diese optische Eigenschaft erzielen kann, ohne die Helligkeit zu opfern, wie es durch eine geflieste Würfecken-Folie erforderlich ist. Die Technik offenbart weder einen solchen Gegenstand oder eine Weise, eine solche optische Eigenschaft zu erzielen, noch schlägt sie diese vor.

[0010] Die vorliegende Erfindung ist durch die Merkmale der Ansprüche 1 und 14 spezifiziert.

[0011] Die vorliegende Erfindung ist auf eine retroreflektierende Würfecken-Folie, die eine verbesserte Einfallwinkligkeit in einer oder mehreren Ebenen aufweist, und auf Bezugsgegenstände und Formen zu deren Herstellung gerichtet. Kurz gesagt, stellt die vorliegende Erfindung gemäß einem Aspekt der Erfindung eine retroreflektierende Würfecken-Folie bereit, die ein Substrat aufweist, das eine Basisfläche, die in einer Basisebene angeordnet ist, und eine strukturierte Fläche aufweist, die von der Basisfläche versetzt ist. Die strukturierte Fläche enthält ein Feld aus aufeinander abgestimmten Würfeckenelementpaaren, die durch drei sich schneidende Sätze im Wesentlichen paralleler Nuten gebildet werden. Nur zwei Nutensätze schneiden sich unter einem Winkel, der kleiner als 60 Grad ist; und mehrere Würfeckenelemente im Feld umfassen ein Basisdreieck, das durch eine Nut aus jedem der drei sich schneidenden Nutensätze begrenzt ist, wobei das Basisdreieck ungleichseitig ist.

[0012] Gemäß einem weiteren Aspekt stellt die Erfindung eine retroreflektierende Folie bereit, die aus einem im Wesentlichen optisch transparenten Material gebildet wird, das ein Substrat aufweist, das eine Basisfläche, die in einer Basisebene angeordnet ist, und eine strukturierte Fläche aufweist, die von der Basisfläche versetzt ist. Die strukturierte Fläche weist ein Feld aufeinander abgestimmter Paare von geneigten Würfeckenelementen auf, die durch drei sich schneidende Sätze im wesentlichen paralleler Nuten gebildet werden, wobei jedes aufeinander abgestimmte Paar ein erstes Würfeckenelement und ein optisch gegenüberliegendes zweites Würfeckenelement aufweist. Mehrere Würfeckenelemente im Feld umfassen ein Basisdreieck, das durch eine Nut aus jedem der drei sich schneidenden Nutensätze begrenzt wird und ungleichseitig ist. Zusätzlich sind die Symmetrieachsen mehrerer Würfeckenelemente im Feld in einer ersten Ebene geneigt und die Folie weist ihren weitest ausgedehnten Einfallwinkligkeitsbereich in einer zweiten Ebene auf, die von der ersten Ebene winklig versetzt ist.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0013] [Fig. 1](#) ist eine vergrößerte Draufsicht eines Abschnitts einer Ausführungsform eines würfeckengegenstands gemäß Prinzipien der vorliegenden Erfindung;

[0014] [Fig. 2](#) ist eine Querschnittansicht des in [Fig. 1](#) dargestellten Würfeckengegenstands;

[0015] [Fig. 3](#) ist eine grafische Darstellung von Kurven gleicher Helligkeit, die die vorhergesagte Retrorefle-

xionsleistung eines retroreflektierenden Gegenstands gemäß dem in [Fig. 1](#) dargestellten Gegenstand darstellt;

[0016] [Fig. 4](#) ist eine grafische Darstellung von Kurven gleicher Helligkeit, die die gemessene Retroreflexionsleistung eines retroreflektierenden Gegenstands gemäß dem in [Fig. 1](#) dargestellten Gegenstand darstellt;

[0017] [Fig. 5](#) ist eine grafische Darstellung der Gesamtlichtrückstrahlung als Funktion des Einfallswinkels des einfallenden Lichts für die in [Fig. 1–Fig. 2](#) dargestellte Würfeckengeometrie;

[0018] [Fig. 6](#) ist eine grafische Darstellung, die die Gesamtlichtreflexion als Funktion des Einfallswinkels des einfallenden Lichts für die in [Fig. 1–Fig. 2](#) dargestellte Würfeckengeometrie mit einer anderen Würfeckengeometrie vergleicht;

[0019] [Fig. 7](#) ist eine schematische Ansicht einer Ausführungsform einer retroreflektierenden Würfecken-Folie gemäß Prinzipien der vorliegenden Erfindung;

[0020] [Fig. 8](#) ist eine perspektivische Ansicht eines Kraftfahrzeugs, die eine Anwendung der in [Fig. 7](#) dargestellten Folie als Lastkraftwagen-Auffälligkeitsfolie veranschaulicht;

[0021] [Fig. 9](#) ist eine perspektivische Ansicht einer retroreflektierenden Folie, die Würfeckenelemente mit ungleichseitigem Basisdreieck einsetzt;

[0022] [Fig. 10](#) ist eine grafische Darstellung von Kurven gleicher Helligkeit, die die vorhergesagte Retroreflexionsleistung eines retroreflektierenden Gegenstands gemäß dem in [Fig. 9](#) dargestellten Gegenstand darstellt;

[0023] [Fig. 11](#) ist eine perspektivische Ansicht einer retroreflektierenden Folie, die Würfeckenelemente mit ungleichseitigem Basisdreieck einsetzt;

[0024] [Fig. 12](#) ist eine grafische Darstellung von Kurven gleicher Helligkeit, die die vorhergesagte Retroreflexionsleistung eines retroreflektierenden Gegenstands gemäß dem in [Fig. 11](#) dargestellten Gegenstand darstellt;

[0025] [Fig. 13](#) ist eine schematische Draufsicht einer retroreflektierenden Würfecken-Folie gemäß Prinzipien der vorliegenden Erfindung;

[0026] [Fig. 14](#) ist eine schematische Draufsicht einer kommerziell erhältlichen retroreflektierenden Würfecken-Folie;

[0027] [Fig. 15](#) ist eine grafische Darstellung, die die optische Leistung der in [Fig. 13](#) dargestellten Folie mit der in [Fig. 14](#) dargestellten Folie vergleicht;

[0028] [Fig. 16a–Fig. 16j](#) sind grafische Darstellungen gleicher Helligkeit, die Profile gleicher Helligkeit retroreflektierender aufeinander abgestimmter Würfeckenelementpaare über zunehmende Neigungswinkel darstellen.

[0029] [Fig. 1](#), [Fig. 2](#), [Fig. 7–Fig. 9](#), [Fig. 11](#), [Fig. 13](#) und [Fig. 14](#) sind nicht maßstabsgerecht.

GENAUE BESCHREIBUNG

[0030] Die vorliegende Erfindung stellt retroreflektierende Würfecken-Gegenstände bereit, die verbesserte optische Leistungseigenschaften aufweisen. Eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist darauf gerichtet, eine retroreflektierende Folie bereitzustellen, die in mindestens einer Ebene eine verbesserte Einfallswinkligkeit aufweist. Obwohl es nicht notwendig ist, wird es bevorzugt, dass ein erfindungsgemäßer Gegenstand mindestens zwei Ebenen einer ausgedehnten Einfallswinkligkeit aufweist. Es wird sogar noch mehr bevorzugt, dass ein erfindungsgemäßer Gegenstand bei einem gegebenen Einfallswinkel in jeder Ebene einer ausgedehnten Einfallswinkligkeit im Wesentlichen dieselbe Lichtmenge reflektiert.

[0031] Ein Aspekt der vorliegenden Erfindung liegt in der Erkenntnis, dass bestimmte stillschweigende Annahmen in der früheren Würfeckentechnologie nicht für alle Würfeckengeometrien gelten. Insbesondere

besagt eine wichtige stillschweigende Annahme in der früheren Würfeckentechnologie, dass Neigen der optischen Achsen der Würfeckenelemente um einen gegebenen Winkel in einer bestimmten Ebene die Einfallswinkligkeit des Gegenstands in einer Ebene verbessert, die im Wesentlichen parallel zu der Ebene ist, die die optischen Achsen der Würfeckenelemente enthält, und senkrecht zur Basisebene der Folie ist. Die vorliegende Offenbarung demonstriert, dass diese Annahme nicht für alle Klassen von Würfeckengeometrien zutreffend ist. Ein zweiter Aspekt der vorliegenden Erfindung liegt in der Erkenntnis, dass die optische Leistung retroreflektierender Gegenstände, die Ebenen ausgedehnter Einfallswinkligkeit aufweisen, die nicht mit der Ebene zusammenfallen, in der die optischen Achsen von Würfeckenelementen liegen, verbessert werden kann, indem die Ebenen ausgedehnter Einfallswinkligkeit bei einem bestimmten Orientierungswinkel relativ zu einer Kante der Folie ausgerichtet sind. Vorzugsweise sollten die ausgedehnten Ebenen der Einfallswinkligkeit annähernd parallel mit einer der Kanten der Folie orientiert sein.

[0032] [Fig. 1](#) ist eine vergrößerte schematische Draufsicht eines Abschnitts einer strukturierten Fläche **10** eines Gegenstands, der mehrere Würfeckenelemente **12**, **14** aufweist, die durch drei sich gegenseitig schneidende Nutensätze gebildet werden, die einen Satz primärer Nutzen **30** und zwei Sätze sekundärer Nutzen **36**, **37** aufweisen. Die Würfeckenelemente **12**, **14** weisen drei annähernd gegenseitig senkrechte Flächen **16**, **18**, **20** und ein Basisdreieck auf, das durch eine Nut in jedem der drei Nutensätze im Substrat begrenzt ist. Der Abstand zwischen angrenzenden Nutzen in jedem Nutensatz misst vorzugsweise zwischen weniger als etwa 600 Mikrometer und mehr bevorzugt etwa 150–200 Mikrometer, jedoch ist offenkundig, dass die präzisen Messungen der Würfeckenelemente nicht entscheidend sind. Die eingeschlossenen Winkel der Basisdreiecke der Würfeckenelemente **12**, **14**, die in [Fig. 1](#) dargestellt sind, messen annähernd 65 Grad, 65 Grad und 50 Grad, jedoch ist die besondere Geometrie des Basisdreiecks der Würfeckenelemente **12**, **14** nicht entscheidend, und es ist offenkundig, dass die vorliegende Erfindung nicht auf Würfeckenelemente beschränkt ist, die diese spezifischen Basisdreieckmaße aufweisen.

[0033] Die Bezeichnung eines Nutensatzes **30** als einen primären Nutensatz und der Nutensätze **36**, **37** als sekundäre Nutensätze ist im Wesentlichen eine beliebige Konvention. Für Würfeckenelemente, die gleichschenkelige Basisdreiecke aufweisen, wie die in [Fig. 1](#) dargestellten Würfeckenelemente, weisen die sekundären Nutensätze **36**, **37** im Wesentlichen identische Nutzenwinkel (z. B. 38,721°) auf. Im Gegensatz dazu unterscheidet sich der Nutzenwinkel α_1 der primären Nut **30** (z. B. 27,795°) vom Nutzenwinkel der sekundären Nutensätze **36**, **37**. Indem die Konvention übernommen wird, einen Nutensatz als einen primären Nutensatz zu bezeichnen, kann die Orientierung eines Würfeckenfelds relativ zur Kante des Substrats, auf dem das Feld angeordnet ist, durch den Winkel definiert sein, mit dem der primäre Nutensatz **30** die Kante des Substrats schneidet.

[0034] [Fig. 2](#) ist eine Querschnittsansicht eines Abschnitts eines Gegenstands **2**, der eine strukturierte Fläche **10** aufweist, wie in [Fig. 1](#) dargestellt. Der Gegenstand **2** weist ein Substrat **4** auf, das wenn es flach ausgelegt ist, eine Basisfläche **6**, die in einer Basisebene angeordnet ist, und eine strukturierte Fläche **10** aufweist, die von der Basisfläche **6** versetzt ist. Das Material, aus dem das Substrat **4** besteht, kann abhängig von der bestimmten Anwendung variieren, für die der Gegenstand **2** geeignet ist. Geeignete Materialien für unterschiedliche Anwendungen werden unten erläutert. Zusätzlich befindet sich in der in [Fig. 2](#) dargestellten Ausführungsform die strukturierte Fläche **10** gegenüber der Basisfläche **6** und ist im Wesentlichen koplanar mit ihr, jedoch ist offenkundig, dass die strukturierte Fläche **10** sich weder direkt gegenüber der Basisfläche **6** befinden noch koplanar zu ihr sein muss.

[0035] Bezugnehmend auf [Fig. 2](#), sind die Symmetrieachsen **24**, **26** der Würfeckenelemente **12**, **14** um einen Neigungswinkel δ von annähernd 7,47 Grad von einer Achse **28** geneigt, die sich im Wesentlichen normal zur Basisfläche **6** erstreckt und den Scheitelpunkt der jeweiligen Würfeckenelemente **12**, **14** schneidet. Es ist jedoch offenkundig, dass der genaue Neigungswinkel δ nicht entscheidend ist, und die vorliegende Erfindung erwägt einen Neigungswinkelbereich, der sich von etwa 4 Grad bis etwa 15 Grad erstreckt. In der in [Fig. 2](#) dargestellten Ausführungsform sind Würfeckenelemente **12**, **14** in einer Ebene geneigt, die annähernd senkrecht zur primären Nut **30** liegt. Genauer sind die Würfeckenelemente **12**, **14** so geneigt, dass die Symmetrieachsen **24**, **26** in einer Ebene liegen, die annähernd senkrecht zur primären Nut **30** und zur Basisfläche **6** ist. Geneigte Würfeckenelemente, wie jene, die in [Fig. 1-Fig. 2](#) dargestellt sind, können als "rückwärts" geneigte Würfeckenelemente bezeichnet werden. Rückwärts geneigte Würfeckenelemente können ferner dadurch gekennzeichnet sein, dass nur ein eingeschlossener Winkel des Würfeckenelement-Basisdreiecks weniger als 60 Grad misst; die anderen beiden eingeschlossenen Winkel mindestens 60 Grad messen und in der dargestellten Ausführungsform etwa 65 Grad messen. Im Gegensatz dazu können vorwärts geneigte Würfel dadurch gekennzeichnet sein, dass zwei der eingeschlossenen Winkel des Basisdreiecks weniger als 60 Grad messen und ein einziger eingeschlossener Winkel des Basisdreiecks mehr als 60 Grad misst.

[0036] [Fig. 2](#) zeigt auch, dass der Nutseitenwinkel α_1 der primären Nut **30** annähernd 29,795 Grad misst. Obwohl in [Fig. 2](#) nicht gezeigt, messen die Nutseitenwinkel der sekundären Nuten **36**, **37** annähernd 38,721 Grad. Eine retroreflektierende Folie, die im Wesentlichen Würfeckenelemente enthält, wie in [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) dargestellt, ist im US-Patent Nr. 2,310,790 (Jungersen) offenbart.

[0037] [Fig. 3](#) ist eine grafische Darstellung einer Kontur gleicher Helligkeit, die die vorhergesagte Gesamtlichtreflexion eines retroreflektierenden aufeinander abgestimmten Würfeckenelementpaares darstellt, das durch rückwärts geneigte Würfeckenelemente **12**, **14** gebildet wird, die aus einem Material bestehen, das bei variierenden Einfallswinkeln und Orientierungswinkeln einen Brechungsindex von 1,517 aufweist. Die vorhergesagte Gesamtlichtreflexion für ein aufeinander abgestimmtes Würfecken-Paarfeld kann aus einer Kenntnis der prozentualen aktiven Fläche und der Strahlenintensität berechnet werden. Die Gesamtlichtreflexion ist als das Produkt der prozentualen aktiven Fläche und der Strahlenintensität definiert. Eine ausgezeichnete Erläuterung der Gesamtlichtreflexion für direkt bearbeitete Würfecken-Felder wird durch das US-Patent Nr. 3,812,706 von Stamm präsentiert.

[0038] Für eine anfänglich einheitliche Lichtstrahlenintensität können sich aus dem zweifachen Durchgang durch die Basisfläche der Folie und aus Reflexionsverlusten an jeder der drei Würfeloberflächen Verluste ergeben. Die Basisflächen-Durchlassverluste für nahezu normalen Einfall und einen Folienbrechungsindex von etwa 1,5 betragen ungefähr 0,92. Reflexionsverluste bei Würfeln, die reflektierend beschichtet worden sind, hängen zum Beispiel von der Art der Beschichtung und dem Einfallswinkel relativ zur Würfeloberflächennormalen ab. Typische Reflexionskoeffizienten für mit Aluminium reflektierend beschichtete Würfeloberflächen betragen an jeder der Würfeloberflächen ungefähr 0,85 bis 0,9. Reflexionsverluste bei Würfeln, die auf einer inneren Totalreflexion beruhen, sind im Wesentlichen null. Wenn jedoch der Einfallswinkel eines Lichtstrahls relativ zur Würfeloberflächennormalen kleiner als der kritische Winkel ist, dann kann die innere Totalreflexion zusammenbrechen und eine bedeutende Lichtmenge durch die Würfeloberfläche gehen. Der kritische Winkel ist eine Funktion des Brechungsindex des Würfelmaterials und des Index des Materials hinter dem Würfel (üblicherweise Luft). Standardoptiktexte, wie Hecht, "Optics", 2. Auflage, Addison Wesley, 1987, erläutern Oberflächen-Durchlassverluste und die innere Totalreflexion.

[0039] Die wirksame Fläche eines einfachen oder einzelnen Würfeckenelements kann bestimmt werden durch, und ist gleich, dem topologischen Schnittpunkt der Projektion der drei Würfecken-Oberflächen auf einer Ebene, die normal zum gebrochenen einfallenden Strahl ist, mit der Projektion der Bildoberflächen der dritten Reflexion auf derselben Ebene. Eine Prozedur zur Bestimmung der wirksamen Öffnung wird zum Beispiel durch Eckhardt, Applied Optics, B. 10 n. 7. Juli 1971, S. 1559–1566 erläutert. Das US-Patent Nr. 835,648 von Straubel erläutert ebenfalls das Konzept der wirksamen Fläche oder Öffnung. Die prozentuale aktive Fläche eines einzelnen Würfeckenelements ist dann als die wirksame Fläche dividiert durch die Gesamtfläche der Projektion der Würfecken-Oberflächen definiert. Die prozentuale aktive Fläche kann unter Verwendung von optischen Modellierungstechniken berechnet werden, die Optik-Fachleuten bekannt sind, oder kann numerisch unter Verwendung herkömmlicher Strahlengangverfolgungstechniken bestimmt werden. Die prozentuale aktive Fläche eines aufeinander abgestimmten Würfeckenpaar-Felds kann durch Durchschnittsbildung der prozentualen aktiven Fläche der beiden einzelnen Würfeckenelemente im aufeinander abgestimmten Paar berechnet werden. Anders ausgedrückt, ist die prozentuale aktive Öffnung gleich der Fläche eines Würfecken-Felds, das Licht retroreflektiert, dividiert durch die Gesamtfläche des Felds. Die prozentuale aktive Fläche wird zum Beispiel durch die Würfelgeometrie, den Brechungsindex, den Einfallswinkel und die Folieorientierung beeinflusst.

[0040] Bezugnehmend auf [Fig. 3](#), repräsentiert der Vektor V_1 die Ebene, die die Symmetrieachsen **24**, **26** der Würfeckenelemente **12**, **14** enthält. Zum Beispiel liegt der Vektor V_1 in [Fig. 1](#) in einer Ebene, die im Wesentlichen senkrecht zur primären Nut **30** ist. Die konzentrischen Kurven gleicher Helligkeit repräsentieren die vorhergesagte Gesamtlichtreflexion als einen Prozentsatz des Lichts, das auf die Basisoberflächen der Würfeckenelemente **12**, **14** mit verschiedenen Kombinationen von Einfallswinkeln und Orientierungswinkeln einfällt. Eine radiale Bewegung vom Mittelpunkt der grafischen Darstellung repräsentiert zunehmende Einfallswinkel, während eine Bewegung in Umfangsrichtung die Änderung der Orientierung des Würfeckenelements bezüglich der Lichtquelle darstellt. Die innerste Kurve gleicher Helligkeit begrenzt den Satz von Einfallswinkeln, bei dem ein aufeinander abgestimmtes Paar von Würfeckenelementen **12**, **14** annähernd 90 % des Lichts reflektiert, das auf ihre Basisdreiecke einfällt. Die nacheinander weiter außen liegenden Kurven gleicher Helligkeit begrenzen Einfallswinkel, die nacheinander niedrigere Prozentsätze des Lichts reflektieren, das auf die Basisdreiecke der Elemente **12**, **14** einfällt.

[0041] [Fig. 4](#) ist eine grafische Darstellung gleicher Helligkeit, die ähnlich der grafischen Darstellung ist, die

in [Fig. 3](#) präsentiert wird, die die gemessene Gesamtlichtreflexion eines aufeinander abgestimmten Würfeckenelementpaares darstellt, das dieselbe Geometrie wie das aufeinander abgestimmte Würfeckenelementpaar aufweist, das in [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) dargestellt ist. Die Würfeckenelemente bestehen aus BK7-Glas, das einen Brechungsindex von 1,517 aufweist. Obwohl infolge von Herstellungsmängeln und Messfehlern leichte Variationen in den grafischen Darstellungen vorhanden sind, stimmen die gemessenen Ergebnisse, die in [Fig. 4](#) dargestellt sind, mit der Form der Profile gleicher Helligkeit überein, die in [Fig. 3](#) dargestellt sind.

[0042] Es sollten zwei Aspekte der grafischen Darstellungen gleicher Helligkeit, die in [Fig. 3-Fig. 4](#) dargestellt sind, beachtet werden. Erstens demonstrieren die grafischen Darstellungen, dass ein aufeinander abgestimmtes Paar von Würfeckenelementen **12, 14** zwei Ebenen ausgedehnter Einfallwinkligkeit aufweist, die im Wesentlichen senkrecht zueinander sind und die in einer Ebene liegen, die nicht mit der Ebene zusammenfällt, in der die Würfeckenelemente geneigt sind, die durch den Vektor V_1 angezeigt wird. Bei dem aufeinander abgestimmten Würfecken-Paar, das in [Fig. 1-Fig. 2](#) dargestellt ist, sind die beiden ausgedehnten Ebenen der Einfallwinkligkeit unter annähernd 45 Grad relativ zur Ebene orientiert, in der die Würfeckenelemente geneigt sind, und können in den grafischen Darstellungen gleicher Helligkeit als zwei im Wesentlichen senkrechte Ebenen **40, 42** identifiziert werden, die mit den ausgedehnten Keulen der grafischen Darstellung gleicher Helligkeit zusammenfallen.

[0043] Ein zweiter Aspekt der Kurven gleicher Helligkeit, die in [Fig. 3-Fig. 4](#) dargestellt sind, rührt von der Tatsache her, dass die Würfel **12, 14** im Wesentlichen symmetrisch zur Ebene V_1 sind. Folglich wird ein aufeinander abgestimmtes Paar Würfeckenelemente, die die in [Fig. 1-Fig. 2](#) dargestellte Geometrie aufweisen, entweder in der Ebene **40** oder der Ebene **42** annähernd denselben Prozentsatz Licht bei einem gegebenen Einfallswinkel reflektieren. Dieser Aspekt ist detaillierter in [Fig. 5](#) dargestellt, die die vorhergesagte Gesamtlichtreflexion der Würfeckenelemente **12, 14** als eine Funktion des Einfallswinkels des Lichts grafisch darstellt, das auf die Basis der Elemente **12, 14** in den Ebenen **40** und **42** einfällt. Die Kurven **44** und **46** repräsentieren die Gesamtlichtreflexion eines retroreflektierenden aufeinander abgestimmten Würfeckenelementpaares, das aus einem Material besteht, das einen Brechungsindex von 1,6 aufweist. Die beiden Kurven liegen praktisch über den gesamten Bereich von Einfallswinkeln übereinander, was anzeigt, dass das gesamte Licht, das durch das aufeinander abgestimmte Paar reflektiert wird, bei jedem gegebenen Einfallswinkel entweder in der Ebene **40** oder der Ebene **42** annähernd gleich ist. Die leichten Unterschiede über 60° rühren von numerischen Fehlern bei der Leistungsvorhersage für die Würfel bei sehr hohen Einfallswinkeln her. Die Kurven **48** und **50** sind analoge Kurven für ein retroreflektierendes aufeinander abgestimmtes Würfeckenelementpaar, das aus einem Material besteht, das einen Brechungsindex von 1,5 aufweist.

[0044] [Fig. 6](#) vergleicht die Retroreflexionsleistung der Geometrie des aufeinander abgestimmten Würfeckenelementpaares, das in [Fig. 1-Fig. 2](#) dargestellt ist, mit der Geometrie des vorwärts geneigten aufeinander abgestimmten Würfeckenelementpaares, das im US-Patent 4,588,258 (dem 258er-Patent) dargestellt ist. Die Kurve **52** stellt grafisch die Gesamtlichtreflexion als eine Funktion des Einfallswinkels in der weitesten Ebene der Einfallwinkligkeit in der Geometrie des 258er-Patents dar. Diese Ebene wird im 258er-Patent als die "X"-Ebene identifiziert. Die Kurve **54** stellt grafisch die Gesamtlichtreflexion als eine Funktion des Einfallswinkels in der zweiten weitesten Ebene der Einfallwinkligkeit in der 258er-Geometrie dar. Diese Ebene wird im 258er-Patent als die "Y"-Ebene identifiziert. Die Kurven **56** und **58** stellen die Gesamtlichtreflexion als eine Funktion des Einfallswinkels der beiden ausgedehnten Ebenen der Einfallwinkligkeit für die Geometrie grafisch dar, die in [Fig. 1](#) dargestellt ist. [Fig. 6](#) demonstriert, dass bei Einfallswinkeln von mehr als etwa 35–40 Grad das aufeinander abgestimmte Würfeckenelementpaar, wie in [Fig. 1](#) dargestellt, einen größeren Prozentsatz von Licht in beiden Ebenen ausgedehnter Einfallwinkligkeit **40, 42** reflektiert als die Geometrie, die im 258er-Patent dargestellt ist, in der "Y"-Ebene reflektiert.

[0045] [Fig. 7](#) ist eine schematische Draufsicht einer repräsentativen retroreflektierenden Folie **60** gemäß Prinzipien der vorliegenden Erfindung, die zwei ausgedehnte Ebenen der Einfallwinkligkeit aufweist. Die Folie **60** weist erste und zweite Längskanten **62** und eine strukturierte Fläche auf, die im Wesentlichen so gestaltet ist, wie in Verbindung mit der strukturierten Fläche beschrieben, die in [Fig. 1-Fig. 2](#) dargestellt ist. Die strukturierte Fläche weist ein Feld aufeinander abgestimmter Würfeckenelementpaare auf, die durch drei sich schneidende Sätze im Wesentlichen paralleler Nuten definiert sind, die eine primäre Nut **66** und zwei Sätze sekundärer Nuten **68, 69** aufweisen. Da die Würfeckenelemente gleichschenkelige Basisdreiecke aufweisen, sind zwei der eingeschlossenen Basiswinkel dieselben. Der primäre Nutensatz kann als der Nutensatz definiert werden, der die beiden gleichen Winkel des Basisdreiecks verbindet. Die restlichen Nutensätze können als sekundäre Nutensätze betrachtet werden. In der in [Fig. 7](#) dargestellten Ausführungsform erstreckt sich das Feld im Wesentlichen vollständig über die Oberfläche der Folie. Jedes aufeinander abgestimmte Paar Würfeckenelemente weist zwei gegenüberliegende einzelne Würfeckenelemente **70, 72** auf, die in einer Ebene

geneigt sind, die im Wesentlichen senkrecht zur primären Nut **66** ist. Zusätzlich liegt ein Hauptabschnitt von im Wesentlichen jeder primären Nut **66**, und vorzugsweise die gesamte primäre Nut **66**, in einer Ebene, die eine Längskante **62** des Gegenstands unter einem Winkel α schneidet, der vorzugsweise annähernd 45 Grad misst. Es sollte beachtet werden, dass die strukturierte Fläche in [Fig. 7](#) zu Darstellungszwecken beträchtlich vergrößert ist. In der Praxis misst der Abstand zwischen angrenzenden Nuten typischerweise zwischen etwa 60 und 600 Mikrometer.

[0046] Obwohl gegenüberliegende Würfeckenelemente **70**, **72** jedes aufeinander abgestimmten Paares, die in [Fig. 7](#) dargestellt sind, physikalisch direkt gegenüber einer primären Nut **66** zueinander angeordnet sind, ist offenkundig, dass eine solche relative physikalische Anordnung keine Anforderung der vorliegenden Erfindung ist. Im weitesten Sinne kann der Ausdruck "gegenüberliegend", wie hierin verwendet, so aufgefasst werden, dass er optisch gegenüberliegend bedeutet. Würfeckenelemente können als optisch gegenüberliegend betrachtet werden, wenn sie "spiegelbildliche" Retroreflexionsmuster erzeugen. Es ist in der Würfecken-Retroreflexionstechnik wohlbekannt, dass Würfeckenelemente, die physikalische Spiegelbilder voneinander sind – das heißt, Elemente, die im Wesentlichen identisch sind, jedoch um 180 Grad relativ zueinander gedreht sind, spiegelbildliche Retroreflexionsmuster ergeben. Direkte Bearbeitungstechniken machen es vorteilhaft, die gegenüberliegenden Würfeckenelemente zueinander direkt gegenüber einer Nut anzuordnen, wie in [Fig. 7](#) dargestellt. Jedoch ist offenkundig, dass gegenüberliegende Würfeckenelemente auf der Folie physikalisch voneinander entfernt sein können. Zusätzlich ist offenkundig, dass gegenüberliegende Würfeckenelemente keine perfekten physikalischen Spiegelbilder voneinander sein müssen, um optisch gegenüberliegende Würfeckenelemente zu ergeben. Leichte Variationen der physikalischen Form gegenüberliegender Würfeckenelemente ergeben nur leichte Variationen des Retroreflexionsmusters, die unter normalen Betrachtungsverhältnissen durch das menschliche Auge nicht feststellbar sind. Solche Würfeckenelemente sind immer noch gegenüberliegende Elemente innerhalb der Bedeutung des Ausdrucks, wie er hierin verwendet wird.

[0047] Eine retroreflektierende Folie, die eine strukturierte Fläche aufweist, wie in [Fig. 7](#) dargestellt, zeigt theoretisch ein Profil gleicher Helligkeit, das im Wesentlichen dieselbe Form wie jenes aufweist, das in [Fig. 3](#) dargestellt ist. Da jedoch das Feld der Würfeckenelemente so orientiert ist, dass die primären Nuten **66** in einer Ebene liegen, die die Kante der Folie unter einem Winkel von annähernd 45 Grad schneidet, ist eine ausge dehnte Ebene der Einfallwinkligkeit, die der Ebene **40** der [Fig. 3](#) entspricht, annähernd parallel zu den Längskanten **62** der Folie **60**. Die andere ausge dehnte Ebene der Einfallwinkligkeit, die der Ebene **42** der [Fig. 3](#) entspricht, ist annähernd senkrecht zu den Längskanten der Folie **60**. Für den Fachmann ist offenkundig, dass die Retroreflexionsleistung der Folie **60** als Ergebnis von Faktoren, wie Herstellungsmängeln und Messfehlern, von der theoretischen Leistung abweichen kann, die in [Fig. 3](#) dargestellt ist. Solche kleineren Variationen werden im Rahmen der vorliegenden Erfindung berücksichtigt.

[0048] Eine Anwendung, in der die retroreflektierende Folie **60** besonders vorteilhaft ist, liegt im Gebiet einer Fahrzeug-Auffälligkeitsfolie. [Fig. 8](#) ist eine schematische Darstellung eines großen Fahrzeugs **82**, das einen Streifen einer retroreflektierenden Folie **60**, der in einer horizontalen Orientierung angeordnet ist, und einen Streifen einer retroreflektierenden Folie **60** aufweist, der in einer vertikalen Orientierung angeordnet ist. Die retroreflektierende Folie **60** retroreflektiert Licht von den Scheinwerfern vorbeifahrender Automobile, um die Auffälligkeit des Fahrzeugs **82** zu steigern. Um die Lichtmenge, die durch den horizontal orientierten Streifen retroreflektierender Folie **60** bei großen Einfallwinkeln reflektiert wird, zu maximieren, sollte seine am weitesten ausge dehnte Ebene der Einfallwinkligkeit im Wesentlichen parallel zu seiner Längskante **62** sein. Um im Gegensatz dazu die Lichtmenge, die durch den vertikal orientierten Streifen der retroreflektierenden Folie **60** bei großen Einfallwinkeln reflektiert wird, zu maximieren, sollte seine am weitesten ausge dehnte Ebene der Einfallwinkligkeit im Wesentlichen senkrecht zu seiner Längskante **62** sein.

[0049] Die retroreflektierende Folie **60** ist besonders gut für solche Fahrzeug-Auffälligkeitsanwendungen geeignet. Wenn die Folie **60** am Fahrzeug **82** in der horizontalen Orientierung angeordnet ist, ist eine ausge dehnte Ebene der Einfallwinkligkeit im Wesentlichen parallel zur Längskante **62** der retroreflektierenden Folie **60** ausgerichtet, wodurch die Lichtmenge maximiert wird, die durch den horizontalen Streifen **84** bei großen Einfallwinkeln reflektiert wird. Entsprechend ist, wenn die Folie **60** am Fahrzeug in vertikaler Orientierung angeordnet ist, eine ausge dehnte Ebene der Einfallwinkligkeit im Wesentlichen senkrecht zur Längskante **62** der retroreflektierenden Folie **60** ausgerichtet, wodurch die Lichtmenge maximiert wird, die durch den vertikalen Streifen **86** bei großen Einfallwinkeln reflektiert wird. Die Fähigkeit, ein einziges Folienprodukt für diese Anwendung zu liefern, führt zu Einsparungen bei der Gestaltung, der Herstellung und dem Verteilungsprozess einer solchen Auffälligkeitsfolie.

[0050] Die Folie **60** ist ähnlich vorteilhaft bei Folienanwendungen für Autobahnschilder. Wie vorstehend er-

läutert, hängt die Retroreflexionsleistung der meisten geneigten Würfecken-Folienprodukte von der Orientierung der Folie auf dem Schild ab. Zum Beispiel weist die Folie, die im 258er-Patent dargestellt ist, eine bessere Einfallswinkligkeit in der Ebene auf, die als die X-Ebene identifiziert ist. Um die beste optische Leistung der Folie des 258er-Patents sicherzustellen, muss die Folie so orientiert sein, dass die X-Ebene mit der Einfallsebene des einfallenden Lichts zusammenfällt. Im Gegensatz dazu kann die Folie, die in [Fig. 7](#) dargestellt ist, so orientiert sein, dass jede Ebene der ausgedehnten Einfallswinkligkeit mit der Einfallsebene des einfallenden Lichts zusammenfällt.

[0051] Bei den meisten Anwendungen zeigt die Folie **60** ihre beste Retroreflexionsleistung, wenn eine Ebene der weitest ausgedehnten Einfallswinkligkeit im Wesentlichen parallel mit der Längskante **62** der Folie ausgerichtet ist. Bei der in [Fig. 7](#) dargestellten Würfeckenengeometrie entspricht dies einer strukturierten Fläche, in der der Hauptabschnitt der primären Nuten **66**, und vorzugsweise die gesamte Länge jeder primären Nut **66**, in einer Ebene liegt, die eine Längskante **62** der Folie unter einem Winkel schneidet, der 45 Grad misst. Jedoch ist für den Fachmann offenkundig, dass die primären Nuten nicht in Ebenen liegen müssen, die die Kante eines Stücks der Folie mit exakt 45 Grad schneiden. Obwohl die Retroreflexionshelligkeit des Gegenstands abnimmt, wenn der Winkel, mit dem die primäre Nut **66** die Kante **62** des Gegenstands schneidet, von 45 Grad abweicht, ist die Abnahme graduell. Abhängig von den Leistungsanforderungen können die Vorteile der vorliegenden Erfindung mit der Geometrie erhalten werden, die in [Fig. 7](#) dargestellt ist, vorausgesetzt, die primäre Nut **66** schneidet die Kante **62** unter einem Winkel, der zwischen etwa 35 und 55 Grad und mehr bevorzugt zwischen etwa 40 und 50 Grad misst. Zusätzlich existieren zahlreiche andere Würfeckenengeometrien, die Ebenen ausgedehnter Einfallswinkligkeit aufweisen, die von der Ebene winklig versetzt sind, in der die optische Achse des Würfeckenelements geneigt ist. Für einen Fachmann der Retroreflexionstechnik ist es offenkundig, dass die Leistung einer retroreflektierenden Folie, die solche Würfeckenelemente enthält, verbessert werden kann, indem die Würfeckenelemente so orientiert werden, dass die ausgedehnten Ebenen der Einfallswinkligkeit im Wesentlichen parallel mit einer Kante der Folie ausgerichtet sind.

[0052] Die optischen Vorteile der vorliegenden Erfindung können unter Verwendung anderer Würfeckenelementgeometrien als der in [Fig. 1](#) dargestellten Geometrie erzielt werden. Eine ausgedehnte Klasse von Würfeckenelementen, die ungleichseitige Basisdreiecke aufweisen, weisen Profile gleicher Helligkeit auf, die zur Herstellung einer retroreflektierenden Folie gemäß Aspekten der vorliegenden Erfindung geeignet sind.

[0053] Würfeckenelemente mit ungleichseitigem Basisdreieck können dadurch gekennzeichnet sein, dass keiner der drei eingeschlossenen Winkel des Basisdreiecks des Würfeckenelements derselbe ist.

[0054] Ein Beispiel einer strukturierten Fläche **100**, die eine repräsentative Würfeckenelementgeometrie mit ungleichseitigem Basisdreieck einsetzt, wird in [Fig. 9](#) dargestellt. Die eingeschlossenen Winkel des Basisdreiecks jedes retroreflektierenden Würfeckenelements messen annähernd 62,09 Grad, 67,91 Grad und 50,00 Grad (β_1 , β_2 , bzw. β_3). Der Nutenseitenwinkel der Nut **102** (a_2) misst annähernd 42,295 Grad; der Nutenseitenwinkel der Nut **104** (a_1) misst annähernd 26,284 Grad; und der Nutenseitenwinkel der Nut **106** (a_3) misst annähernd 36,334 Grad. Die optische Achse jedes Würfeckenelements ist um annähernd 8,38 Grad aus einer Achse, die normal zur Basisfläche des Substrats ist, in einer Ebene geneigt, die annähernd parallel zur Nut **104** und senkrecht zur Basisfläche des Materials ist.

[0055] [Fig. 10](#) ist ein vorhergesagtes Profil gleicher Helligkeit einer retroreflektierenden Folie, die aufeinander abgestimmte Würfeckenelementpaare einsetzt, die aus einem Material bestehen, das einen Brechungsindex von 1,590 aufweist, und die eine Geometrie aufweisen, die in [Fig. 9](#) dargestellt ist. Der Vektor V_1 entspricht der Ebene, in der die Würfeckenelemente geneigt sind (d. h. der Ebene, die die Symmetrieachsen der Würfeckenelemente enthält). Die in [Fig. 9](#) dargestellte Würfeckenengeometrie weist zwei Ebenen ausgedehnter Einfallswinkligkeit auf, die durch die Ebenen **110**, **112** bezeichnet werden, die von der Ebene, in der die Würfeckenelemente geneigt sind, um annähernd 30 Grad bzw. 120 Grad winklig versetzt sind. Zusätzlich sind die Ebenen **110** und **112** annähernd senkrecht zueinander. Wenn die strukturierte Fläche folglich so orientiert ist, dass die Nut **104** eine Längskante einer retroreflektierenden Folie mit entweder 30 Grad oder 120 Grad schneidet, wird eine der ausgedehnten Ebenen der Einfallswinkligkeit parallel mit der Längskante der Folie und eine andere ausgedehnte Ebene der Einfallswinkligkeit senkrecht zur Längskante der Folie ausgerichtet.

[0056] [Fig. 11](#) stellt eine strukturierte Fläche **120** dar, die eine andere Würfeckenengeometrie mit ungleichseitigem Basisdreieck aufweist, die zwei ausgedehnte Ebenen der Einfallswinkligkeit aufweist, die von der Ebene winklig versetzt sind, in der gegenüberliegende Würfeckenelemente geneigt sind. Die eingeschlossenen Winkel der Basisdreiecke der Würfeckenelemente, die in [Fig. 11](#) dargestellt sind, messen annähernd 68,71 Grad, 63,29 Grad und 48,00 Grad (β_1 , β_2 , bzw. β_3). Der Nutenseitenwinkel der Nut **122** (a_2) misst annähernd

42,295 Grad; der Nutenseitenwinkel der Nut **124** (α_1) misst annähernd 26,284 Grad; und der Nutenseitenwinkel der Nut **126** (α_3) misst annähernd 36,334 Grad. Die optischen Achsen der Würfeckenelemente sind von einer Achse, die normal zur Basisfläche des Substrats ist, in einer Ebene um annähernd 9,51 Grad geneigt, die die Nut **122** unter einem Winkel von annähernd 45 Grad schneidet.

[0057] Wie in [Fig. 12](#) dargestellt, weist eine retroreflektierende Folie, die ein Feld von Würfeckenelementen aufweist, wie in [Fig. 11](#) dargestellt, die einen Brechungsindex von 1,590 aufweisen, zwei ausgedehnte Ebenen der Einfallwinkligkeit **130**, **132** auf, die von der Ebene, in der die Elemente geneigt sind, um etwa 26 Grad bzw. 116 Grad winklig versetzt sind. Wenn die strukturierte Fläche folglich so orientiert ist, dass die Nut **124** eine Längskante einer retroreflektierenden Folie mit entweder 49 Grad oder 139 Grad schneidet, wird eine der ausgedehnten Ebenen der Einfallwinkligkeit parallel mit der Längskante der Folie und eine andere ausgedehnte Ebene der Einfallwinkligkeit senkrecht zur Längskante der Folie ausgerichtet.

[0058] Würfeckenelement-Gestaltungen, die ungleichseitige Basisdreiecke einsetzen, weisen einige zusätzliche Vorteile gegenüber Würfeckenelementen auf, die gleichschenkelige Basisdreiecke aufweisen. Ein Vorteil ist es, dass eine strukturierte Fläche, die Würfeckenelemente mit ungleichseitigem Basisdreieck aufweist, einen größeren Grad des Neigens gegenüberliegender Würfeckenelemente im Herstellungsprozess zulassen wird, ohne eine physikalische Beschädigung angrenzender Würfeckenelemente zu verursachen.

[0059] Bei direkt bearbeiteten Würfeln, die drei Sätze sich gegenseitig schneidender Nuten verwenden, tritt ein Abschneiden der Würfel auf, wenn ein beliebiger der Nutenseitenwinkel 45° überschreitet, was bewirkt, dass das Schneidwerkzeug die Kante eines angrenzenden Würfels abschneidet. Ein beschädigtes Würfeckenelement führt zu Verlusten des Retroreflexionsvermögens. Zum Beispiel kann die Würfeckenelement-geometrie, die im US-Patent Nr. 4,588,258 dargestellt ist, in einem herkömmlichen Feld nicht über einen Neigungswinkel von 9,736 Grad hinaus geneigt werden. In Tabelle I unten werden repräsentative ungleichseitige Geometriewerte für eingeschlossene Basisdreieck-Winkel (β) und Nutenseitenwinkel (α) für das Neigen gegenüberliegender Würfeckenelemente in einer Ebene gezeigt, die ungefähr parallel zu einer Nut und senkrecht zur Basisebene ist.

[0060] Schiefwinkelige Geometrien können größere Neigungsbeträge zulassen, bevor ein beliebiger Nutenseitenwinkel **45** Grad überschreitet, wodurch ein Neigen der Würfeckenelemente über die bekannten Beschränkungen infolge mechanischen Abschneidens, das durch ein Schneidwerkzeug verursacht wird, zugelassen wird. Zum Beispiel demonstriert Tabelle I, dass ein Neigen oder ein Neigungswinkel von bis zu ungefähr 13,376 Grad ohne Kantenabschneiden genutzt werden kann.

Tabelle I

β_2	β_3	β_1	a_1	a_2	a_3	Neigung swinkel
40,0	73,321	66,679	36,695	21,063	45,789	14,912
41,0	72,845	66,155	36,577	21,677	45,485	14,305
42,0	72,358	65,642	36,464	22,300	45,161	13,689
42,5	72,110	65,390	36,408	22,614	44,992	13,376
43,0	71,858	65,142	36,354	22,931	44,818	13,061
44,0	71,345	64,655	36,247	23,571	44,455	12,421
45,0	70,817	64,183	36,145	24,221	44,071	11,769
46,0	70,274	63,727	36,047	24,881	43,666	11,105
47,0	69,713	63,287	35,953	25,550	43,238	10,426
48,0	69,133	62,867	35,864	26,230	42,787	9,733
49,0	68,533	62,467	35,780	26,921	42,313	9,025
50,0	67,912	62,088	35,700	27,623	41,814	8,300
51,0	67,266	61,734	35,626	28,336	41,289	7,559
52,0	66,595	61,405	35,558	29,061	40,738	6,801
53,0	65,896	61,104	35,495	29,797	40,160	6,024
54,0	65,167	60,833	35,440	30,545	39,553	5,228
55,0	64,405	60,595	35,391	31,304	38,917	4,412
56,0	63,607	60,393	35,349	32,075	38,250	3,574
57,0	62,770	60,230	35,316	32,857	37,552	2,715
58,0	61,892	60,109	35,291	33,650	36,822	1,833
59,0	60,967	60,033	35,275	34,452	36,058	0,927
60,0	60,000	60,000	35,264	35,264	35,264	0,000

[0061] In Kombination mit den Lehren dieser Erfindung, die eine verbesserte bevorzugte Einfallswinklichkeit nicht in der Ebene des Neigens betrifft, ermöglichen Würfeckenelementfelder mit einer Geometrie einer ungleichseitigen Basis auch ein Neigen über die früher bekannten Grenzen hinaus, bei der die Gesamtlichtreflexion für Licht zusammenbricht, das senkrecht oder normal zur Basis der Würfel einfällt.

[0062] Die Gesamtlichtreflexion (TLR) einer retroreflektierende Folie wird vom Produkt der prozentualen aktiven Öffnung und der retroreflektierten Lichtstrahlenintensität abgeleitet. Bei einigen Kombinationen aus Würfelgeometrien, Einfallswinkeln und Brechungsindex können beträchtliche Verminderungen der Strahlenintensität zu einer verhältnismäßig schlechten Gesamtlichtreflexion führen, obwohl die prozentuale aktive Öffnung verhältnismäßig hoch ist. Ein Beispiel sind retroreflektierende Würfeckenelementfelder, die auf einer inneren Totalreflexion der retroreflektierten Lichtstrahlen beruhen. Die Strahlenintensität wird im Wesentlichen dann reduziert, wenn der kritische Winkel für die innere Totalreflexion an einer der Würfelflächen überschritten wird. Obwohl metallisierte oder andere reflektierende Beschichtungen vorteilhaft in solchen Situationen verwendet werden können, sind diese Beschichtungen infolge der Kosten, der Verarbeitung, der Erscheinung oder anderen Faktoren nicht immer wünschenswert. In solchen Situationen wird die Verwendung von Würfeckenelementen mit ungleichseitigem Basisdreieck bevorzugt.

[0063] Tabelle II zeigt begrenzende Gesamtlichtreflexionsgeometrien für normal einfallendes Licht und Würfel mit einem Brechungsindex von 1,586. Für ein Würfeckenelement mit den Basiswinkeln 52,2°–52,2°–74,6° beträgt der begrenzende Neigungswinkel 15,60°, wie zum Beispiel im US-Patent Nr. 4,588,258 (Hoopman) gezeigt. Jedoch kann diese Begrenzung unter Verwendung von Geometrien mit ungleichseitiger Basis, zum Beispiel 16,41° (45,40°–58,57°–76,03° oder sogar 18,830° (77,358°–65,642°–37,00°) ohne einen Zusammen-

bruch der Gesamtlitreflexion überschritten werden. Die Daten in Tabelle II repräsentieren eher numerische als analytische Lösungen.

Tabelle II

β_1	β_2	β_3	a_1	a_2	a_3	Neigung
75,600	52,200	52,200	50,867	26,505	26,505	15,602
75,749	48,900	55,351	50,939	24,769	28,080	15,857
76,030	45,400	58,570	50,924	22,949	29,689	16,408
76,623	41,400	61,977	50,985	20,840	31,290	17,476
77,358	37,000	65,642	50,816	18,582	33,064	18,830

[0064] Die Prinzipien der vorliegenden Erfindung können auch auf eine geflieste retroreflektierende Folie angewendet werden. Wie hierin verwendet, weist eine geflieste strukturierte Fläche mehrere diskrete Felder aufeinander abgestimmter Würfeckenelementpaare auf, die unter unterschiedlichen Orientierungen relativ zur Kante der Folie angeordnet sind. Fliesen ist eine Strategie, die eingesetzt wird, um eine retroreflektierende Folie herzustellen, die mehrere Ebenen einer ausgedehnten Einfallwinkligkeit aufweist. Eine geflieste retroreflektierende Folie leidet unter einem gewissen ihr innewohnenden Helligkeitsverlust bei großen Einfallswinkeln, da definitionsgemäß nur ein Abschnitt der Felder so orientiert ist, dass er die maximale Lichtmenge bei einem gegebenen Einfallswinkel und einer gegebenen Folienorientierung retroreflektiert. Jedoch ist es möglich, den der gefliesten Folie innewohnenden Helligkeitsverlust zu minimieren oder mindestens zu reduzieren, indem die Felder der Würfeckenelemente auf der strukturierten Fläche gemäß Prinzipien der vorliegenden Erfindung orientiert werden.

[0065] Die Brauchbarkeit des Fliesens kann unter Bezugnahme auf die retroreflektierende Folie erläutert werden, die in [Fig. 7](#) dargestellt ist. Wie vorstehend erläutert, weist die strukturierte Fläche der in [Fig. 7](#) dargestellten retroreflektierenden Folie ein einzelnes Feld aufeinander abgestimmter Würfeckenelementpaare auf, was zu zwei ausgedehnten Ebenen der Einfallwinkligkeit führt: einer ersten Ebene, die im Wesentlichen parallel mit einer Längskante **62** der Folie **60** ist, und einer zweiten Ebene, die im Wesentlichen senkrecht zur Längskante **62** der Folie **60** ist. Eine geflieste retroreflektierende Folie, die eine strukturierte Fläche aufweist, die zwei unterschiedliche Felder aufweist, die unter zwei unterschiedlichen Orientierungen relativ zur Kante der Folie angeordnet sind, kann so viel wie vier ausgedehnte Ebenen der Einfallwinkligkeit aufweisen. Entsprechend kann eine retroreflektierende Folie, die eine geflieste strukturierte Fläche aufweist, die drei unterschiedliche geflieste Felder aufweist, die unter drei unterschiedlichen Orientierungen relativ zur Kante der Folie angeordnet sind, so viele wie sechs ausgedehnte Ebenen der Einfallwinkligkeit aufweisen. Im Allgemeinen kann für die in [Fig. 7](#) dargestellte Würfeckengeometrie eine retroreflektierende Folie, die eine Anzahl von X ausgedehnten Ebenen der Einfallwinkligkeit aufweist, durch eine strukturierte Fläche hergestellt sind, die mehrere geflieste Felder aufweist, die unter X/2 unterschiedlichen Orientierungen relativ zur Kante der Folie angeordnet sind.

[0066] Erfindungsgemäß sollte mindestens eines der Felder aufeinander abgestimmter Würfeckenelementpaare so orientiert sein, dass eine ausgedehnte Ebene der Einfallwinkligkeit annähernd parallel zur Kante der Folie angeordnet ist. Folglich sollte für die in [Fig. 7](#) dargestellte Würfeckenelementgeometrie ein Feld aufeinander abgestimmter Würfeckenelementpaare so orientiert sein, dass die primäre Nut die Kante des Gegenstands unter einem Winkel von annähernd 45 Grad schneidet.

[0067] Die Orientierung der restlichen Felder hängt von der Anzahl diskreter Felder aufeinander abgestimmter Würfeckenelementpaare in der strukturierten Fläche ab. Für die Würfeckengeometrie der [Fig. 7](#) kann unter der Voraussetzung, dass es das Ziel des Fliesens ist, ein rotationssymmetrischeres Retroreflexionsmuster zu erzeugen, die Winkeldifferenz ε zwischen Feldern aufeinander abgestimmter Würfeckenelementpaare ausgedrückt werden durch die Formel:

$$\varepsilon = 90/N$$

worin N die Anzahl diskreter Felder von Würfeckenelementen repräsentiert. Folglich sollte in einer retroreflektierenden Folie, die vier ausgedehnte Ebenen der Einfallwinkligkeit aufweist (z. B. unter Verwendung von

N-2 Feldern von Würfeckenelementen) der Winkeldifferenz ε der Orientierung der Würfeckenfelder annähernd 45 Grad messen. Folglich sollte das zweite Feld Würfeckenelemente so orientiert sein, dass die primäre Nut die Kante des Gegenstands unter einem Winkel von annähernd 90 Grad schneidet. Entsprechend sollte in einer retroreflektierenden Folie, die sechs ausgedehnte Ebenen der Einfallwinkligkeit aufweist, die Differenz ε der Orientierung der Würfeckenfelder annähernd 30 Grad messen. Folglich sollte ein zweites Feld von Würfeckenelementen so orientiert sein, dass die primäre Nut die Kante des Gegenstands unter einem Winkel von annähernd 15 Grad relativ zu einer Längskante der Folie schneidet, und ein drittes Feld von Würfeckenelementen sollte so orientiert sein, dass die primäre Nut die Kante des Gegenstands unter einem Winkel von annähernd 75 Grad relativ zu einer Längskante der Folie schneidet. Diese Reihe kann über so viele eindeutige Orientierungen wie gewünscht fortgesetzt werden.

[0068] **Fig. 13** ist eine schematische Darstellung einer Ausführungsform einer erfindungsgemäßen gefliesten retroreflektierenden Folie **150**, die sechs Felder von Würfeckenelementen aufweist, was zu sechs Ebenen ausgedehnter Einfallwinkligkeit führt. In einer bevorzugten Ausführungsform wird die retroreflektierende Folie **150** als eine kontinuierliche Bahn einer dünnen, flexiblen retroreflektierenden Folie hergestellt, die auf eine Rolle gewickelt werden kann. Die strukturierte Fläche der retroreflektierenden Folie **150** weist sechs Gruppen von Feldern aufeinander abgestimmter Würfeckenelementpaare auf, die mit sechs verschiedenen Orientierungen relativ zu einer Längskante **152** der Folie **150** angeordnet sind: eine erste Gruppe von Feldern **154**, die so angeordnet sind, dass die primäre Nut die Kante **152** unter einem spitzen Winkel von 15 Grad schneidet, eine zweite Gruppe von Feldern **158**, die so angeordnet sind, dass die primäre Nut die Kante **152** unter einem spitzen Winkel von 75 Grad schneidet, und eine dritte Gruppe von Feldern **162**, die so angeordnet sind, dass die primäre Nut die Kante **152** unter einem spitzen Winkel von 45 Grad schneidet, eine vierte Gruppe von Feldern **155**, die so angeordnet sind, dass die primäre Nut die Kante **152** unter einem spitzen Winkel von 45 Grad schneidet, eine fünfte Gruppe von Feldern **159**, die so angeordnet sind, dass die primäre Nut die Kante **152** unter einem spitzen Winkel von 75 Grad schneidet, und eine sechste Gruppe von Feldern **163**, die so orientiert sind, dass die primäre Nut die Kante **152** unter einem spitzen Winkel von 15 Grad schneidet. Jedes der Felder wird durch aufeinander abgestimmte Würfeckenelementpaare gebildet, die im Wesentlichen identisch zu jenen sind, die in Verbindung mit **Fig. 1** und **Fig. 2** vorstehend beschrieben sind. Die Vektoren **156**, **160**, und **164** repräsentieren jeweils die Richtung der primären Nuten jedes Felds **154**, **158**, **162** von Würfeckenelementen. Entsprechend repräsentieren die Vektoren **157**, **161** und **165** jeweils die Richtung der primären Nut der Felder **155**, **159** und **163**. Obwohl es nicht notwendig ist, ist es bevorzugt, dass jede der sechs verschiedenen Gruppen von Feldern **154**, **155**, **158**, **159**, **162** und **163** annähernd ein Sechstel der Flächengröße der strukturierten Fläche der Folie **150** bedecken.

[0069] Die Folie **150** weist sechs ausgedehnte Ebenen der Einfallwinkligkeit auf. Zwei ausgedehnte Ebenen der Einfallwinkligkeit, die der Gruppe von Feldern **162** und **155** entsprechen, sind unter annähernd 0 Grad und 90 Grad relativ zur Längskante **152** der Folie **150** ausgerichtet. Zwei ausgedehnte Ebenen der Einfallwinkligkeit, die dem Satz der Felder **154** und **159** entsprechen, sind unter annähernd 60 Grad und 150 Grad relativ zu einer Kante der Folie **150** ausgerichtet. Zwei ausgedehnte Ebenen der Einfallwinkligkeit, die dem Satz der Felder **158** und **163** entsprechen, sind unter annähernd 30 und 120 Grad relativ zu einer Kante der Folie **150** ausgerichtet.

[0070] Die in **Fig. 13** dargestellte Folie **150** setzt sechs Felder ein, die mit sechs verschiedenen Orientierungen orientiert sind, um eine retroreflektierende Folie mit sechs ausgedehnten Ebenen der Einfallwinkligkeit zu erzeugen, von denen eine im Wesentlichen parallel mit einer Längskante **152** der Folie **150** ausgerichtet ist. Jedoch ist offenkundig, dass die Folie **150** eine größere oder kleinere Anzahl von Feldern enthalten kann, um eine retroreflektierende Folie mit einer entsprechend größeren oder kleineren Anzahl ausgedehnter Ebenen der Einfallwinkligkeit zu erzeugen.

[0071] Wie vorstehend in Verbindung mit Einzelfeld-Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung erläutert, müssen die Felder nicht präzise ausgerichtet sein, um die Vorteile der Erfindung zu erzielen. Bei vielen Anwendungen reicht eine Anordnung der Würfeckenfelder innerhalb von etwa fünf Grad von der bevorzugten Orientierung aus, um die erforderliche Helligkeit bei einem gegebenen Einfallswinkel zu erzeugen.

[0072] **Fig. 14** ist eine schematische Darstellung einer retroreflektierenden Folie **170**, die mehrere geflieste Felder rückwärts geneigter aufeinander abgestimmter Würfeckenelementpaare einsetzt, die ähnlich zu den in **Fig. 1–Fig. 2** Dargestellten sind. Die in **Fig. 14** dargestellte Folie ist kommerziell von Stimsonite Corporation, Niles, Illinois, erhältlich und wird unter der Handelsbezeichnung STIMSONITE High Performance Grade Reflective Sheeting (Posten 1203W, Produktnummer 8432170) hergestellt und vertrieben. Die strukturierte Fläche der retroreflektierenden Folie **170** weist mehrere Gruppen Felder aufeinander abgestimmter Würfecken-

elementpaare auf, die mit mehreren verschiedenen Orientierungen relativ zu einer Längskante **172** der Folie **170** angeordnet sind. Die Würfeckenfelder sind so orientiert, dass die primären Nuten der Felder in Ebenen liegen, die mit Orientierungen von 0 Grad, 30 Grad, 60 Grad und 90 Grad relativ zur Längskante **172** der Folie **170** angeordnet sind.

[0073] Die erfindungsgemäße Anordnung der gefliesten Abschnitte der retroreflektierenden Folie, um die ausgedehnten Ebenen der Einfallwinkligkeit unter Winkeln von annähernd 0 Grad und 90 Grad relativ zu einer Längskante **152** der Folie **150** auszurichten, erzielt bedeutende Leistungssteigerungen gegenüber der gefliesten Folie, die in [Fig. 14](#) dargestellt ist. Diese Leistungssteigerung sind in [Fig. 15](#) dargestellt, die die Leuchtdichte (in Candela pro Quadratmeter) der retroreflektierenden Folie als eine Funktion des Abstands (in Metern) für variierende Orientierungen der Fliesenabschnitte auf der retroreflektierenden Folie (wobei z. B. die Nutenausrichtungswinkel variiert werden) darstellt. Die Leuchtdichtedaten in [Fig. 15](#) sind repräsentativ für eine Standardlimousine, die sich einem Anhänger für Sattelschlepper nähert, der mit einem Winkel von 45 Grad über die Straße geparkt ist. Die retroreflektierende Folie ist horizontal über der Unterkante des Aufliegers angeordnet. Eine detaillierte Beschreibung der Prüfumgebung und der eingesetzten Methodik, um [Fig. 15](#) zu erzeugen, kann in Sign Luminance as a Methodology for Matching Driver Needs, Roadway Variables, and Signing Materials, Woltman und Szczech, Transportation Research Record, 1213, Human Performance and Highway Visibility--Design Safety and Methods, Transportation Research Board, National Research Council, 5.21–26, (1989) gefunden werden.

[0074] In [Fig. 15](#) entspricht Kurve **180** einer Folie, die Würfeckenfelder aufweist, die mit Orientierungen von 0, 30, 60 und 90 Grad angeordnet sind, wie in der retroreflektierenden Folie der [Fig. 14](#) dargestellt. Kurve **182** entspricht einer Folie, die Würfeckenfelder aufweist, die mit Orientierungen von 5, 35 und 65 Grad angeordnet sind, Kurve **184** entspricht einer Folie, die Würfeckenfelder aufweist, die mit Orientierungen von 10, 40 und 70 Grad angeordnet sind, Kurve **186** entspricht einer Folie, die Würfeckenfelder aufweist, die mit Orientierungen von 15, 45 und 75 Grad angeordnet sind, und Kurve **188** entspricht einer Folie, die Würfeckenfelder aufweist, die mit Orientierungen von 20, 50 und 80 Grad angeordnet sind. [Fig. 15](#) demonstriert, dass eine Folie, die Würfeckenfelder aufweist, die mit Orientierungen von annähernd 15, 45 und 75 Grad angeordnet sind, bei fast allen Entfernungen von der Folie die beste Retroreflexionsleistung zeigt. Entsprechend zeigt eine Folie, die Würfeckenfelder aufweist, die mit Orientierungen von 10, 40 und 70 Grad angeordnet sind, und eine Folie, die Würfeckenfelder aufweist, die mit Orientierungen von 20, 50 und 80 Grad angeordnet sind, eine gute Retroreflexionsleistung über den modellierten Bereich von Entfernungen. Eine Orientierung von 0 Grad, die der Folie **170** entspricht, zeigte die schlechteste Retroreflexionsleistung. Eine geflieste retroreflektierende Folie, die erfindungsgemäß orientiert ist, übertrifft die Leistung der in [Fig. 14](#) dargestellten Folie bei allen auf der Kurve dargestellten Abständen. Zusätzlich ist die erfindungsgemäße Folie im kritischen Bereich von Entfernungen, der sich von etwa 50 Meter bis etwa 150 Meter erstreckt, nahezu doppelt so hell.

[0075] Die erfindungsgemäße reflektierende Folie kann als ein integrales Material hergestellt werden, z. B. indem eine vorgeformte Folie mit einem beschriebenen Feld von Würfeckenelementen geprägt wird, oder indem ein flüssiges Material in eine Form gegossen wird. Alternativ kann eine solche retroreflektierende Folie als ein Lagenprodukt hergestellt werden, z. B. indem die Elemente auf einen vorgeformten Film gegossen werden, wie in US-Patent Nr. 3,684,348 gelehrt, oder indem ein vorgeformter Film über die Vorderseite einzeln geformter Elemente laminiert wird.

[0076] Nützliche Werkzeuge zur Herstellung einer erfindungsgemäßen retroreflektierenden Folie weisen Prägeformen auf, die in der Form von kontinuierlichen Bändern oder Formkernen vorliegen können. Solche kontinuierlichen Formen können unter Verwendung eines Kopiervfahrens gebildet werden, das mit der direkten Bearbeitung einer strukturierten Fläche in einem bearbeitbaren Substrat unter Verwendung eines Präzisionsbearbeitungswerkzeugs beginnt, zum Beispiel, einer Diamant-Linier- oder Drehmaschine, um ein Bezugsformstück-Werkzeug herzustellen. Die strukturierte Fläche kann durch elektrolytische Abscheidung von Nickel auf einen Bezugsformstückgegenstand kopiert werden. Mehrere solche kopierten Werkzeuge können in einer Präge- oder Gießform verbunden sein. In dem Ausmaß, in dem die vorliegende Erfindung Gegenstände beschreibt, die neuartige strukturierte Flächegeometrien aufweisen, sind die Ansprüche der vorliegenden Erfindung dazu bestimmt, Kopien, Werkzeugbestückung und Formen abzudecken, die beim Herstellungsverfahren der retroreflektierenden Folie verwendet werden.

[0077] Geeignete Materialien für retroreflektierende Gegenstände oder die Folie dieser Erfindung sind vorzugsweise transparente Materialien, die formstabil, haltbar, wetterfest und leicht in die gewünschte Konfiguration kopiert werden können. Veranschaulichende Beispiele geeigneter Materialien umfassen Glas; Acryle, die einen Brechungsindex von etwa 1,5 aufweisen, wie z. B. PLEXIGLAS-Markenharz, das von Rohm and Haas

Company hergestellt wird; Polycarbonate, die einen Brechungsindex von etwa 1,59 aufweisen; reaktive Materialien, wie im GB-Patent Nr. 2,027,441 und in den US-Patenten Nr. 4,576,850, 4,582,885 und 4,668,558 gelehrt; Materialien, die für die Wellenlängen chemisch wirksamer Strahlung transparent sind, die bei der Härtung von Würfeckenelementen verwendet wird, die aus dem Material bzw. den Materialien bestehen; ein Polymermaterial, das ausgewählt ist aus der Gruppe, bestehend aus Poly(carbonat), Poly(methylmethacrylat), Poly(ethylenterephthalat) und vernetzten Polymeren von multifunktionellen Acrylatmonomeren; auf Polyethylen basierenden Ionomeren, wie jenen, die unter dem Markennamen SURLYN durch E.I. DuPont de Nemours and Co., Inc., vermarktet werden; Polyester, Polyurethane; und Celluloseacetatbutyraten. Polycarbonate sind aufgrund ihrer Zähigkeit und ihres verhältnismäßig hohen Brechungsindex besonders geeignet, der im Allgemeinen zu einer verbesserten Retroreflexionsleistung über einen breiteren Bereich von Einfallswinkeln beiträgt. Diese Materialien können auch Farbstoffe, Färbemittel, Pigmente, UV-Stabilisatoren oder andere Zusatzstoffe enthalten. Färbemittel können fluoreszierend Farbstoffe oder Pigmente enthalten, um die Tageslichtsichtbarkeit und Auffälligkeit der Folie zu verbessern. Die Durchlässigkeit der Materialien stellt sicher, dass die Trennflächen oder schräg abgeschnittenen Flächen Licht durch diese Abschnitte des Gegenstands oder der Folie durchlassen werden.

[0078] Die Einarbeitung von schräg abgeschnittenen oder Trennflächen beseitigt das Retroreflexionsvermögen des Gegenstands nicht, sondern macht vielmehr den gesamten Gegenstand teilweise transparent. In einigen Anwendungen, die teilweise transparente Materialien benötigen, verbessern niedrige Brechungsindizes des Gegenstands den Bereich des Lichts, das durch den Gegenstand durchgelassen wird. In diesen Anwendungen ist der vergrößerte Durchlassbereich von Acryl (Brechungsindex von etwa 1,5) wünschenswert.

[0079] Bei vollständig retroreflektierenden Gegenständen sind Materialien bevorzugt, die hohe Brechungsindizes aufweisen. Bei diesen Anwendungen werden Materialien, wie Polycarbonate mit Brechungsindizes von etwa 1,59 verwendet, um die Differenz zwischen den Indices des Materials und Luft zu erhöhen, wodurch folglich die Retroreflexion erhöht wird. Polycarbonate sind im Allgemeinen auch wegen ihrer Temperaturstabilität und Schlagzähigkeit bevorzugt.

[0080] Die Erfindung erwägt auch die Verwendung eines Gieß- und Härtungsherstellungsverfahrens, wobei die offenbarten optischen Würfeckenelementgestaltungen verwendet werden, um eine Folie zu schaffen, die eine überlegene optische Leistung und ausgezeichnete Flexibilität aufweist. Eine Ausführungsform eines Gegenstands, die dieses Verfahren verwendet, weist eine erste Polymerzusammensetzung für die Würfeckenelemente und ein zweites Polymerüberzugmaterial auf, das ein thermoplastisches Material ist. Vorzugsweise ist das Überzugmaterial gegenüber Wellenlängen chemisch wirksamer Strahlung transparent, die bei der Härtung des Harzes verwendet wird, das die Würfeckenelemente bildet. Eine andere bevorzugte Eigenschaft der Materialien dieser Ausführungsform ist der relative Elastizitätsmodul für jede Komponente. Materialien mit hohem Elastizitätsmodul sind für die Würfeckenelemente infolge ihrer mechanischen Eigenschaften zu bevorzugen, die eine Verwindungsfestigkeit verleihen. Das Überzugmaterial ist vorzugsweise ein Polymermaterial mit einem etwas niedrigeren relativen Elastizitätsmodul. Während der Härtung der Würfeckenelemente können die einzelnen Würfeckenelemente abhängig von der Zusammensetzung des Würfeckenmaterials ein bestimmtes Maß an Schrumpfung erfahren. Wenn der Elastizitätsmodul des Überzugmaterials zu hoch ist, können Verdrehspannungen auf die Würfeckenelemente ausgeübt werden, wenn sie während der Härtung schrumpfen. Wenn die Spannungen ausreichend hoch sind, dann können die Würfeckenelemente deformiert werden, was zu einer Verschlechterung der optischen Leistung führt. Wenn der Elastizitätsmodul des Überzugsfilms ausreichend niedriger als der Modul der Würfeckenmaterialien ist, kann sich der Überzug zusammen mit der Schrumpfung des Würfeckenelements deformieren, ohne die Art Deformationsspannungen auf das Würfeckenelement auszuüben, an das es angeheftet ist, die zu einer Verschlechterung optischer Eigenschaften führen würde.

[0081] Alternativ braucht die Differenz zwischen dem Elastizitätsmodul des Würfeckenelements und dem Überzugmaterial abhängig von den Abmessungen der Würfeckenelemente nicht so groß sein. Wenn die Würfeckenelemente eine niedrigere Höhe aufweisen, braucht die Differenz zwischen dem Elastizitätsmodul des Würfeckenelements und dem Überzugsfilm nicht so groß sein, vermutlich weil die kleineren Würfeckenelemente während der Härtung, in absoluten Abmessungseinheiten gemessen, keiner so großen Schrumpfung unterliegen und der Überzugsfilm nicht in einem so großen Ausmaß mit den Würfeckenelementen wie mit den größeren Würfeckenelementen auf die Erzeugung von Dreh- und Formspannungen hin wechselweise. Im Allgemeinen ist es möglich festzustellen, dass die Modulldifferenz zwischen dem Überzugmaterial und dem Würfeckenelementmaterial in der Größenordnung von 1,0 bis $1,5 \times 10^7$ Pascal oder mehr liegen sollte. Wenn die Höhe der Würfeckenelemente abnimmt, ist es bei dieser Modulldifferenz möglich, das untere Ende des Bereichs zu erreichen, der unmittelbar zuvor angegeben wurde. Jedoch sollte man bedenken, dass es eine

praktische untere Grenze für den Modul des Würfeckenelementmaterials gibt. Unter einem bestimmten Niveau, das im Allgemeinen in der Größenordnung von etwa $2,0$ bis $2,5 \times 10^8$ Pascal liegt, werden die Würfeckenelemente zu flexibel und besitzen keine ausreichende mechanische Steifigkeit, um bei der Anwendung einer Spannung geeignet zu brechen. Brechen ist ein Merkmal, das in einigen Ausführungsformen wünschenswert ist, um diskrete Würfeckenelemente zu erhalten. Ohne ein solches Brechen kann keine Entkopplung der einzelnen Würfeckenelemente unter Spannung erhalten werden, die für die Flexibilität und die überragenden optischen Eigenschaften der Folie wesentlich ist.

[0082] Neben den Überlegungen, die den relativen Elastizitätsmodul zwischen den Würfeckenelementen und dem Überzugfilm betreffen, auf den die Würfeckenelemente gegossen werden, gibt es ein Erfordernis eines verhältnismäßig niedrigen Elastizitätsmoduls für den Überzugfilm. Dies ist wichtig, wenn es ein Ziel der Herstellung ist, ein hohes Maß an Flexibilität im sich ergebenden retroreflektierenden Folienmaterial zu erzielen. Vorzugsweise werden die Würfeckenelemente auf den Überzugfilm mit einem minimalen Abquetschflächenbetrag gegossen. Vorausgesetzt, dass die Abquetschfläche ausreichend minimiert werden kann, führt eine Dehnung oder eine andere geeignete elastische Deformation des Überzugfilms zu einem Bruch des Würfeckenmaterials zwischen den einzelnen Würfeckenelementen. Dies kann durch das Anlegen einer elastischen Spannung auf die Überzug/Würfecken-Materialien nach der Verarbeitung erreicht werden oder kann sich aus dem Verfahren ergeben, die Materialien einfach aus der Verarbeitungsvorrichtung zu entfernen. Dies stellt eine erhebliche Effizienz bei der Verarbeitung dar, da erheblich Arbeitsgänge nach dem Gießen zum Brechen größerer Abquetschflächen, um denselben Effekt zu erzielen, überflüssig sind, was zu Einsparungen bei den Verarbeitungskosten führt.

[0083] Als Folge des Brechens der minimalen Abquetschfläche des Würfeckenfilms sind die einzelnen optischen Würfeckenelemente im Wesentlichen vollständig voneinander und vom Überzugsmaterial entkoppelt. Es ergeben sich wesentliche Vorteile aus dieser Entkopplung. Der Erste davon ist die sehr hohe Flexibilität, die für die Materialien angestrebt wird. Die entkoppelten optischen Elemente sind unabhängig von der Dicke der Abquetschfläche nicht länger durch die Wirkung der Abquetschfläche mechanisch beschränkt. Dies lässt eine erhebliche Deformation des elastischen Überzug-/Würfecken-Verbundmaterials zu, während gleichzeitig eine im Wesentlichen vollständige mechanische Erholung des Verbundmaterials nach der Deformation zugelassen wird. Auch ermöglicht es die Entkopplung der einzelnen Würfeckenelemente, jede beliebige Deformationsspannung zu isolieren, die auf das Verbundmaterial einwirkt. Der direkte Vorteil davon ist es, dass Spannungen, die auf das retroreflektierende Material ausgeübt werden, im Allgemeinen eine minimale verschlechternde Wirkung auf die optischen Eigenschaften der Materialien haben. Mit weniger flexiblen Erzeugnissen des Stands der Technik kann eine lokalisierte Spannung, die auf eine Fläche der Würfeckenzusammensetzung ausgeübt wird, auf die angrenzenden Flächen übertragen werden, mit dem Ergebnis, dass ein wesentlicher Verlust der optischen Eigenschaften auf eine sehr viel größere Fläche des retroreflektierenden Materials ausgebreitet wird.

[0084] In einem anderen unähnlichen Verfahren zum Erzielen eines bestimmten Ausmaßes an Flexibilität in einem retroreflektierenden Gegenstand besteht der erste Schritt darin, vorübergehend ein Feld von Würfeckenelementen an einer Folie eines Basismaterials zu befestigen. Die Würfeckenelemente können gebildet werden, indem ein geeignetes Material auf eine Ablösebeschichtung auf das Basismaterial gegossen wird. Dann wird durch Metallisieren oder andere Mittel eine reflektierende Schicht auf den Würfeckenelementen gebildet. Anschließend wird dann ein Substrat auf der reflektierenden Schichtseite der Würfeckenelemente befestigt. Die Folie aus Basismaterial wird entfernt, wobei ein freigelegtes Feld mit verhältnismäßig frei stehenden Würfeckenelementen hinterlassen wird, die auf dem Substrat gebildet wurden.

[0085] Eine geeignete Trägerschicht kann aus einem beliebigen transparenten oder lichtundurchlässigen Material bestehen, einschließlich farbigen oder nicht farbigen Materials, das abdichtend mit den retroreflektierenden Elementen verbunden werden kann. Geeignete Trägermaterialien umfassen Aluminiumfolie, verzinkten Stahl, Polymermaterialien, wie Polymethylmethacrylate, Polyester, Polyamide, Polyvinylfluoride, Polycarbonate, Polyvinylchloride und eine große Vielfalt von Laminaten, die aus diesen und anderen Materialien bestehen.

[0086] Die Trägerschicht oder Folie kann mit den reflektierenden Würfeckenelementen in einem Gittermuster oder in einer beliebigen anderen geeigneten Konfiguration abgedichtet werden. Die Abdichtung kann unter Verwendung einer Anzahl von Verfahren bewirkt werden, einschließlich Ultraschallschweißen, Klebemitteln oder durch Heißsiegeln an diskreten Stellen des Felds reflektierender Elemente (siehe zum Beispiel US-Patent Nr. 3,924,928). Eine Abdichtung ist wünschenswert, um den Eintritt von Schmutzstoffen, wie Schmutz oder Feuchtigkeit zu verhindern, und um die Lufträume um die reflektierenden Würfeckenoberflächen zu schützen. Eine Kantenabdichtung kann in Anwendungen, wie der Auffälligkeit von Lastkraftwagen, die verhältnis-

mäßig lange schmale Streifen retroreflektierender Folie benötigen, vorteilhaft sein.

[0087] Wenn zusätzliche Festigkeit oder Zähigkeit im Verbundstoff erforderlich ist, können Trägerfolien aus Polycarbonat, Polybutyrat oder faserverstärktem Kunststoff verwendet werden. Abhängig vom Ausmaß der Flexibilität des resultierenden retroreflektierenden Materials kann das Material gewickelt oder in Streifen oder andere geeignete Gestaltungen geschnitten werden. Das retroreflektierende Material kann auch mit einem Klebemittel und einer Ablösefolie hinterlegt werden, um es zum Auftragen auf ein beliebiges Substrat nützlich zu machen, ohne den zusätzlichen Schritt, ein Klebemittel aufzubringen oder andere Befestigungseinrichtungen zu verwenden.

[0088] Mit der vorliegenden Erfindung sind verschiedene Modifikationen oder Kombinationen, die vorhandene Merkmale der retroreflektierenden Würfeckentechnik enthalten, denkbar, obwohl diese in Verbindung mit allen vorstehend erläuterten Ausführungsformen nicht spezifisch offenbart sind. Zum Beispiel wäre es für einen Fachmann offensichtlich, eine Trennfläche in den Nuten vorzusehen, die Würfeckenelemente trennen. Zusätzlich wäre es offensichtlich, einen Abschnitt der strukturierten Fläche mit einer spiegelnd reflektierenden Substanz zu beschichten, wie zum Beispiel durch Dampfbeschichtung einer Schicht aus Aluminium oder Silber auf der Oberfläche. Ferner erkennt ein Fachmann, dass die Raumwinkel zwischen angrenzenden Würfeckenelementen variiert werden können, wie im US-Patent Nr. 4,775,219 von Appeldorn offenbart. Produkte, die solche offensichtlichen Modifikationen oder Kombinationen enthalten, werden so betrachtet, dass sie im Rahmen der vorliegenden Erfindung liegen.

BEISPIEL I

[0089] Dieses Beispiel veranschaulicht den Winkelbereich des Würfeckenelementneigens, der zu einem gewünschten Winkelabweichungsbetrag zwischen einer Ebene, in der die optischen Achsen der Würfeckenelemente geneigt werden, und einer Ebene der weitest ausgedehnten Einfallwinkligkeit führen. [Fig. 16A](#) bis [Fig. 16J](#) sind Kurven gleicher Helligkeit, die die vorhergesagte Retroreflexionsleistung eines aufeinander abgestimmten Würfeckenelementpaares darstellen, wie in [Fig. 1–Fig. 2](#) dargestellt. Im Allgemeinen demonstrieren [Fig. 16A](#) bis [Fig. 16E](#) die zunehmende Winkelverschiebung der weitest ausgedehnten Ebenen der Einfallwinkligkeit von der Ebene, in der die Würfeckenelemente geneigt sind, wenn die Elemente um einen zunehmenden Neigungswinkel bis zu einem Neigungswinkel geneigt werden, der zu einem 65-65-50-Basisdreieck führt. Danach führt eine Zunahme des Neigungswinkels gegenüberliegender Würfeckenelemente zu einer abnehmenden Winkelverschiebung zwischen den ausgedehnten Ebenen der Einfallwinkligkeit und der Ebene, in der die Würfeckenelemente geneigt sind.

[0090] [Fig. 16A](#) ist ein Profil gleicher Helligkeit für ein einzelnes Würfeckenelement, das ein gleichseitiges Basisdreieck und einen Brechungsindex von 1,59 aufweist. Es zeigt das wohlbekannte Muster gleicher Helligkeit mit sechs Keulen, das sich aus den drei Symmetrieachsen des Würfeckenelements mit gleichseitigem Basisdreieck ergibt. [Fig. 16B](#) bis [Fig. 16J](#) veranschaulichen die Verzerrung des Musters gleicher Helligkeit eines aufeinander abgestimmten Würfeckenelementpaares, wenn die gegenüberliegenden Würfeckenelemente im einen zunehmenden Neigungswinkel geneigt werden. Die gegenüberliegenden Würfeckenelemente werden in einer Ebene geneigt, die sich horizontal durch die grafische Darstellung gleicher Helligkeit erstreckt. [Fig. 16B](#) stellt eine Neigung um 1,60 Grad dar, die ein gleichschenkeliges Basisdreieck ergibt, das eingeschlossene Winkel aufweist, die annähernd 61 Grad, 61 Grad und 58 Grad messen. [Fig. 16C](#) stellt eine Neigung um 3,14 Grad dar, die ein gleichschenkeliges Basisdreieck ergibt, das eingeschlossene Winkel aufweist, die annähernd 62 Grad, 62 Grad und 56 Grad messen. [Fig. 16D](#) stellt eine Neigung um 4,63 Grad dar, die ein gleichschenkeliges Basisdreieck ergibt, das eingeschlossene Winkel aufweist, die annähernd 63 Grad, 63 Grad und 54 Grad messen. [Fig. 16E](#) stellt eine Neigung um 7,47 Grad dar, die ein gleichschenkeliges Basisdreieck ergibt, das eingeschlossene Winkel aufweist, die annähernd 65 Grad, 65 Grad und 50 Grad messen. [Fig. 16F](#) stellt eine Neigung um 10,15 Grad dar, die ein gleichschenkeliges Basisdreieck ergibt, das eingeschlossene Winkel aufweist, die annähernd 67 Grad, 67 Grad und 46 Grad messen.

[0091] Eine Untersuchung dieser Abfolge grafischer Darstellungen gleicher Helligkeit veranschaulicht die zunehmende Winkelverschiebung der weitest ausgedehnten Ebenen der Einfallwinkligkeit von der Ebene, in die die gegenüberliegenden Würfeckenelemente geneigt sind.

[0092] Die restlichen grafischen Darstellungen gleicher Helligkeit veranschaulichen die abnehmende Winkelabweichung zwischen der weitest ausgedehnten Ebene der Einfallwinkligkeit und der Ebene, in der die gegenüberliegenden Würfeckenelemente geneigt sind. [Fig. 16G](#) stellt eine Neigung um 12,69 Grad dar, die ein gleichschenkeliges Basisdreieck ergibt, das eingeschlossene Winkel aufweist, die annähernd 69 Grad, 69

Grad und 42 Grad messen. [Fig. 16H](#) stellt eine Neigung um 15,12 Grad dar, die ein gleichschenkeliges Basisdreieck ergibt, das eingeschlossene Winkel aufweist, die annähernd 71 Grad, 71 Grad und 38 Grad messen. [Fig. 16I](#) stellt eine Neigung um 17,46 Grad dar, die ein gleichschenkeliges Basisdreieck ergibt, das eingeschlossene Winkel aufweist, die annähernd 73 Grad, 73 Grad und 34 Grad messen. [Fig. 16J](#) stellt eine Neigung um 19,72 Grad dar, die ein gleichschenkeliges Basisdreieck ergibt, das eingeschlossene Winkel aufweist, die annähernd 75 Grad, 75 Grad und 30 Grad messen.

[0093] Diese Reihe grafischer Darstellungen gleicher Helligkeit demonstriert, dass wenn gegenüberliegende Würfeckenelemente um zunehmende Neigungswinkel bis zu etwa 12 Grad geneigt werden, sich die Einfallswinkligkeit des Gegenstands in zwei im Wesentlichen senkrechte Ebenen weiter verbreitert, die unter annähernd 45 Grad relativ zu der Ebene orientiert sind, in die die Würfeckenelemente geneigt sind. Weiteres Neigen erhöht die Einfallswinkligkeit in diesen Ebenen und vermindert die Einfallswinkligkeit in einer Ebene, die im Wesentlichen mit der Neigungsebene zusammenfällt. Während der optimale Betrag des Neigens annähernd 7,47 Grad zu sein scheint, der einem 65-65-50-Basisdreieck entspricht, ist offenkundig, dass ein Neigungswinkelbereich, der sich von annähernd 5 Grad bis annähernd 12 Grad erstreckt, machbar zu sein scheint, um einen retroreflektierenden Gegenstand zu erzeugen, der zwei ausgedehnte Ebenen der Einfallswinkligkeit aufweist, die annähernd senkrecht zueinander orientiert sind.

Figurenbeschreibung:

Entrance angle – Einfallswinkel
 Prior Art – Stand der Technik
 CD/SQM – Cd/m²
 Distance (m) – Abstand (m)

Patentansprüche

1. Dünne, flexible, retroreflektierende Folie, die aus einem im Wesentlichen optisch transparenten Material gebildet ist, aufweisend:

ein Substrat (4) mit einer Basisfläche (6), die in einer Basisebene angeordnet ist;
 eine strukturierte Fläche gegenüber der Basisfläche, die mindestens ein Feld aus aufeinander abgestimmten Paaren geneigter Würfeckenelemente enthält, welche durch drei sich schneidende Sätze im Wesentlichen paralleler Nuten gebildet werden, einschließlich eines Satzes primärer Nuten (30) und zweier Sätze sekundärer Nuten (36, 37), wobei jedes aufeinander abgestimmte Paar ein erstes geneigtes Würfeckenelement (12) und ein zweites geneigtes Würfeckenelement (14), das gegenüber einer primären Nut des ersten Elements angeordnet ist, aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, dass

(a) einander zugewandte Würfeckenelemente in einem bestimmten Feld Symmetrieachsen (24, 26) aufweisen, die in einer ersten Ebene (V_1) um einen vorbestimmten Neigungswinkel (6) geneigt sind, der bezogen auf eine Achse (28), die als Normale zur Basis verläuft, zwischen 4° und 15° misst;

(b) die Folie dieses bestimmten Felds ihren weitest ausgedehnten Einfallswinkligkeitsbereich in einer zweiten Ebene (40), die schräg zur ersten Ebene (V_1) versetzt ist, und in einer dritten Ebene (42), die schräg zur ersten Ebene (V_1) versetzt ist, zeigt;

(c) im Wesentlichen jedes der Würfeckenelementfelder derart ausgerichtet ist, dass entweder die zweite oder die dritte Ebene ungefähr parallel zu einer Kante der Folie ist.

2. Retroreflektierende Folie nach Anspruch 1, wobei sich ein Hauptanteil im Wesentlichen jeder Nut des Satzes primärer Nuten (30) in einer Ebene befindet, die im rechten Winkel zu der Basisfläche (6) liegt und die eine Kante des Gegenstands in einem Winkel schneidet, der zwischen 35° und 55° misst.

3. Retroreflektierende Folie nach Anspruch 1, wobei das mindestens eine Feld eine Gruppe von zwei Feldern aufweist.

4. Retroreflektierende Folie nach Anspruch 1, wobei die ersten Ebenen einen Winkel mit der Kante der Folie bilden, der zwischen 35° und 55° misst.

5. Retroreflektierende Folie nach Anspruch 1, wobei mehrere Würfeckenelemente in dem Feld ihre Symmetrieachse in einer ersten Ebene um einen Neigungswinkel, der zwischen 5° und 12° misst, geneigt haben.

6. Retroreflektierende Folie nach Anspruch 1, wobei die Würfeckenelementfelder derart ausgerichtet sind, dass entweder die zweite oder die dritte Ebene eine Kante der Folie in einem Winkel von weniger als 10°

schneidet.

7. Retroreflektierende Folie nach Anspruch 6, wobei die Würfeckenelementfelder derart ausgerichtet sind, dass entweder die zweite oder die dritte Ebene eine Kante der Folie in einem Winkel von weniger als 5° schneidet.

8. Retroreflektierende Folie nach Anspruch 1, wobei die Folie ein Material mit einem Brechungsindex von etwa 1,5 aufweist und eine Gesamtlichtrückstrahlung von mindestens 5 % des Lichts zeigt, das auf die mikrostrukturierte Fläche des Gegenstands in der dritten Ebene in einem Eintrittswinkel von etwa 60° einfällt.

9. Retroreflektierender Gegenstand nach Anspruch 1, wobei die Folie einen Brechungsindex von mindestens etwa 1,6 aufweist und eine Gesamtlichtrückstrahlung von mindestens 10 % des Lichts zeigt, das auf die mikrostrukturierte Fläche des Gegenstands in der dritten Ebene in einem Eintrittswinkel von etwa 60° einfällt.

10. Retroreflektierende Folie nach Anspruch 1, wobei die Würfeckenelemente im Feld ein Basisdreieck aufweisen, das durch eine Nut aus jedem der drei sich schneidenden Sätze Nuten bestimmt wird, wobei das Basisdreieck ein ungleichseitiges Dreieck ist.

11. Retroreflektierende Folie nach Anspruch 1, wobei ein Teil der strukturierten Fläche mit einem Spiegelreflexmaterial beschichtet ist.

12. Retroreflektierende Folie nach Anspruch 1, wobei eine Trägerschicht dicht mit einem Teil der strukturierten Fläche verbunden ist.

13. Retroreflektierende Folie nach Anspruch 1, ferner aufweisend ein erstes Substratwürfeckenelementmaterial mit einem Modul von mehr als $2,5 \times 10^8$ Pascal und einem zweiten Überzugmaterial, wobei das zweite Material einen niedrigeren Modul aufweist als das erste Material und wobei der Modulunterschied zwischen den beiden Materialien mindestens 1×10^7 Pascal beträgt.

14. Gegenstand, aufweisend: ein Substrat (4) mit einer Basisfläche (6), die in einer Basisebene angeordnet ist; eine strukturierte von der Basisfläche versetzt angeordnete Fläche (10), die mindestens ein Feld aus aufeinander abgestimmten Paaren (12, 14) von Würfeckenelementen enthält, welche durch drei sich schneidende Sätze im Wesentlichen paralleler Nuten gebildet werden, einschließlich eines Satzes primärer Nuten (30) und zweier Sätze sekundärer Nuten (36, 37), dadurch gekennzeichnet, dass im Wesentlichen jedes aufeinander abgestimmte Paar des Felds ein erstes Würfeckenelement (12) mit einer zwischen 4° und 15° geneigten Symmetrieachse (24) in einer Ebene (V_1), die ungefähr im rechten Winkel zu einer primären Nut und im rechten Winkel zur Basisfläche ist, und ein optisch gegenüberliegendes zweites Würfeckenelement (14) mit einer zwischen 4° und 15° geneigten Symmetrieachse (26) in einer Ebene (40), die ungefähr im rechten Winkel zu einer primären Nut (30) und im rechten Winkel zur Basisfläche (6) ist, aufweist, wobei:

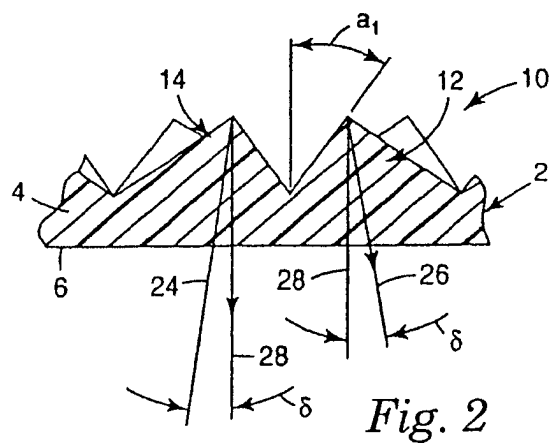
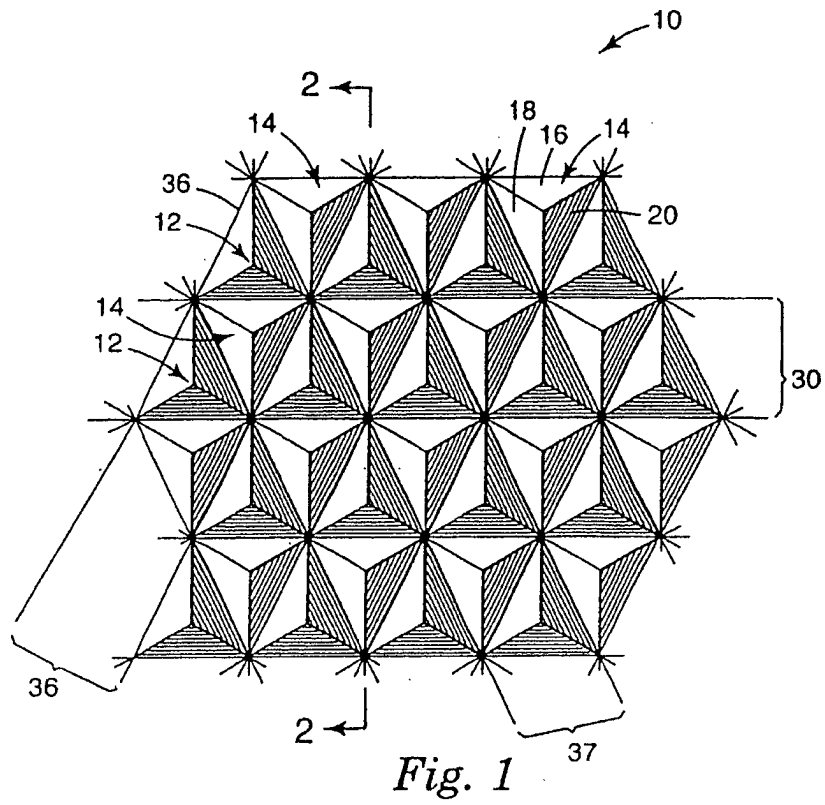
- (a) sich die sekundären Sätze Nuten (36, 37) in einem Winkel von weniger als 60 Grad schneiden und
- (b) sich im Wesentlichen jede Nut des Satzes primärer Nuten (30) jedes der Felder in einer Ebene befindet, die im rechten Winkel zu der Basisfläche (6) liegt und die eine Kante des Gegenstands in einem Winkel schneidet, der zwischen 35° und 55° misst.

15. Gegenstand nach Anspruch 14, wobei sich alle Nuten der Nuten im Satz primärer Nuten in einer Ebene befinden, die eine Kante des Gegenstands in einem Winkel schneidet, der zwischen 40° und 50° misst.

16. Gegenstand nach Anspruch 14, wobei sich alle Nuten der Nuten im Satz primärer Nuten in einer Ebene befinden, die eine Kante des Gegenstands in einem Winkel schneidet, der 45° misst.

Es folgen 22 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



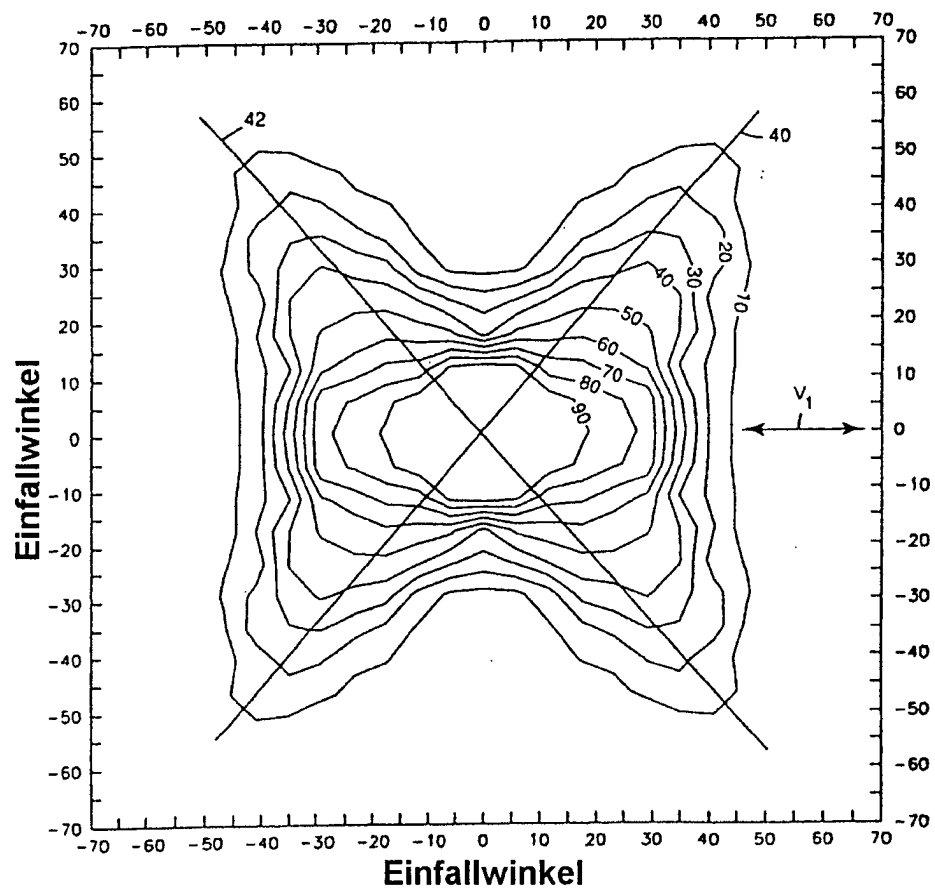
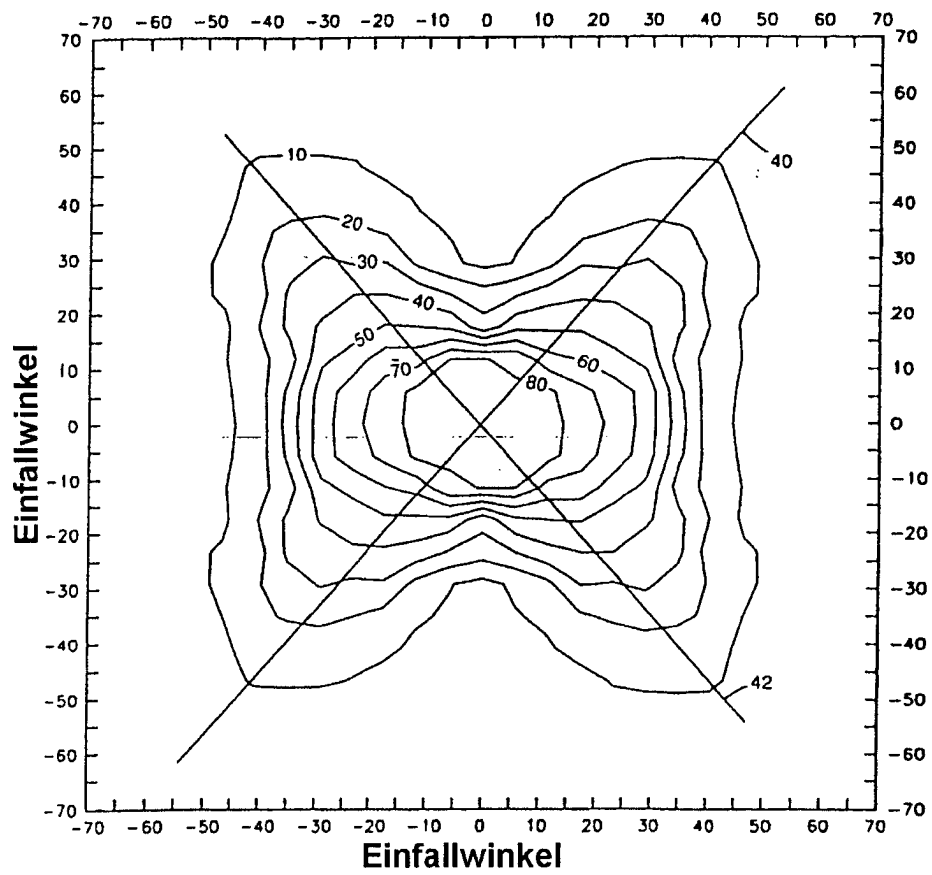


Fig.3

Fig.4



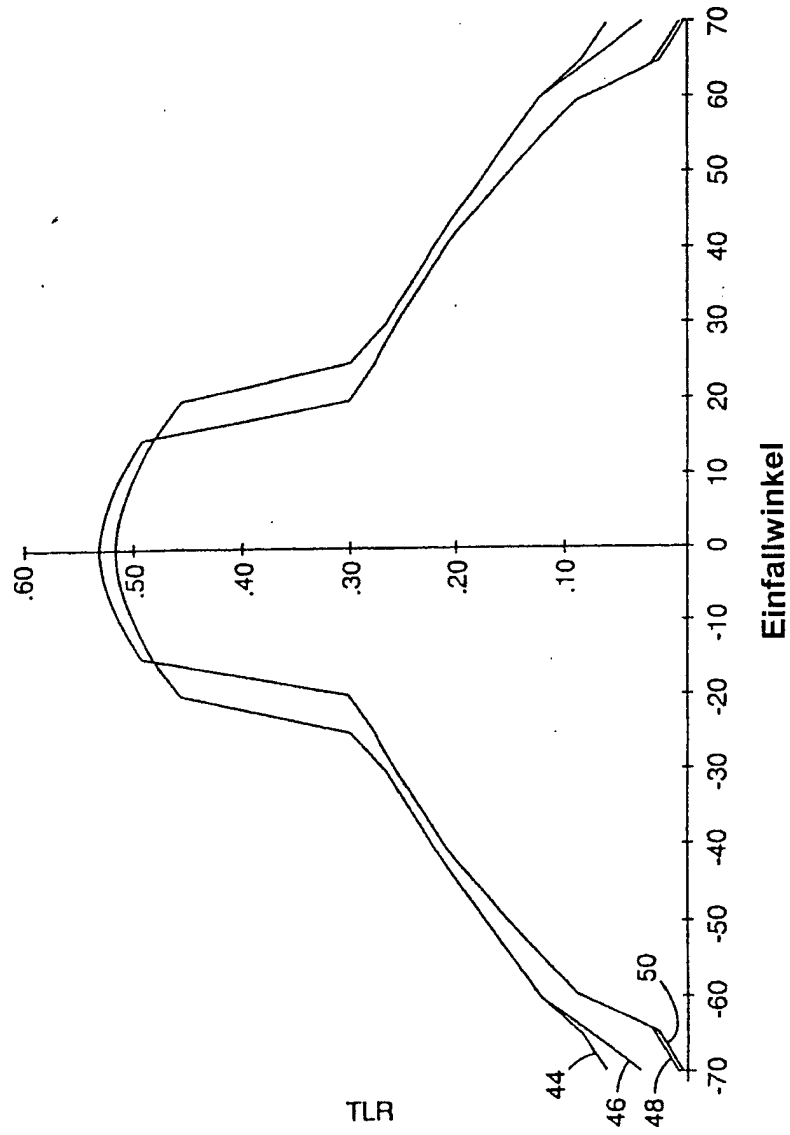


Fig. 5

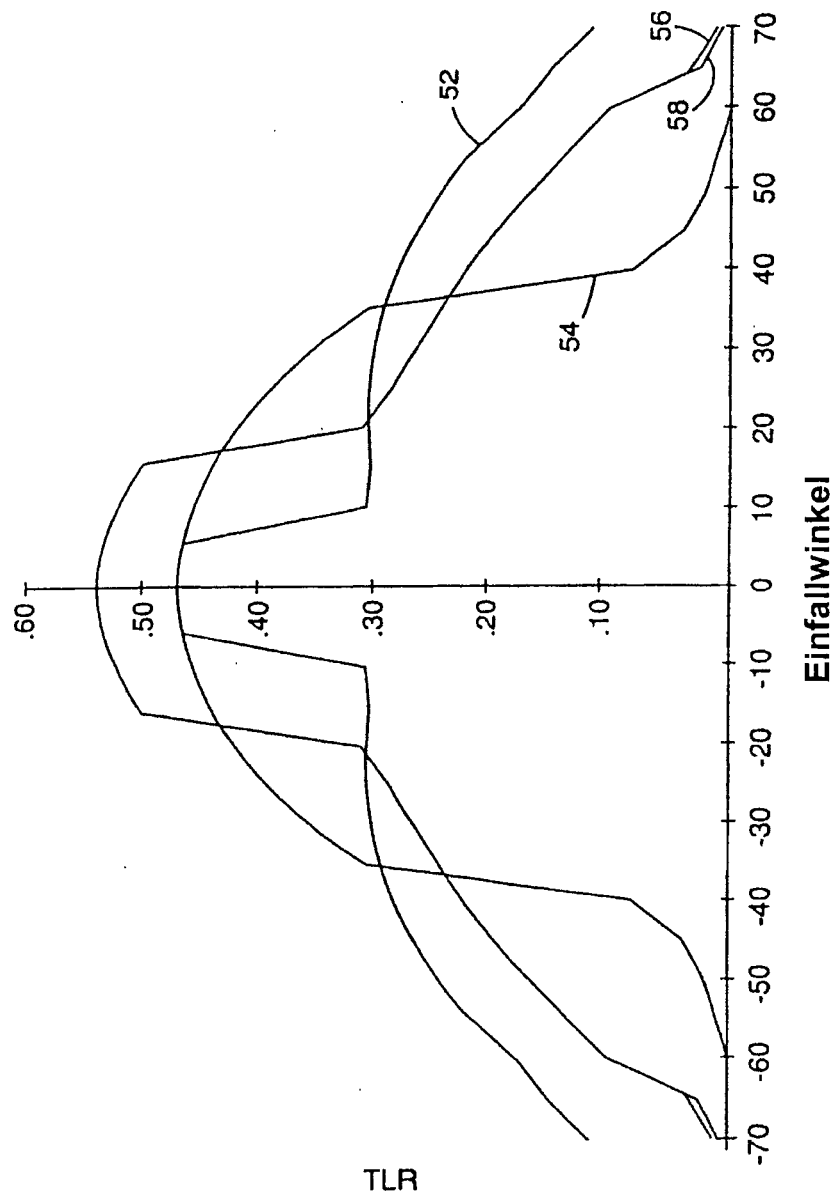
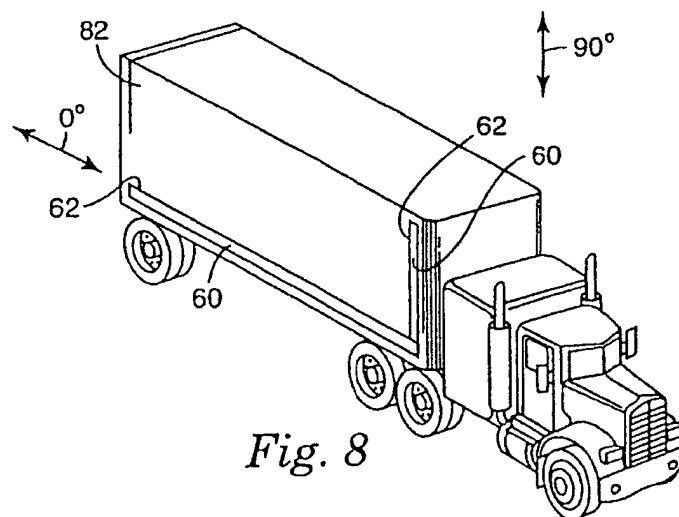
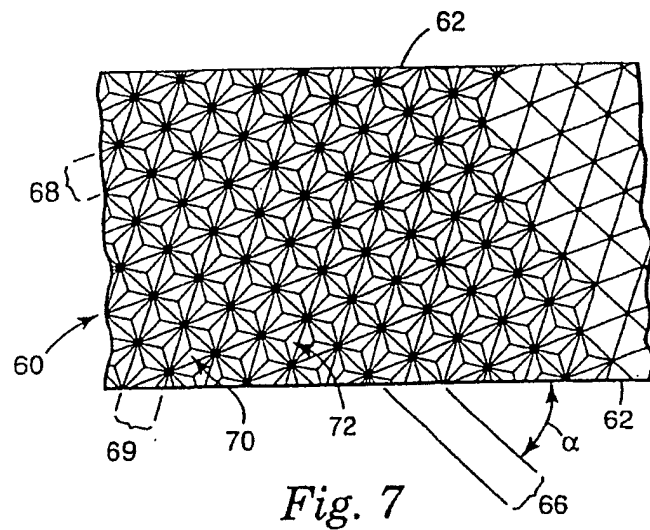


Fig. 6



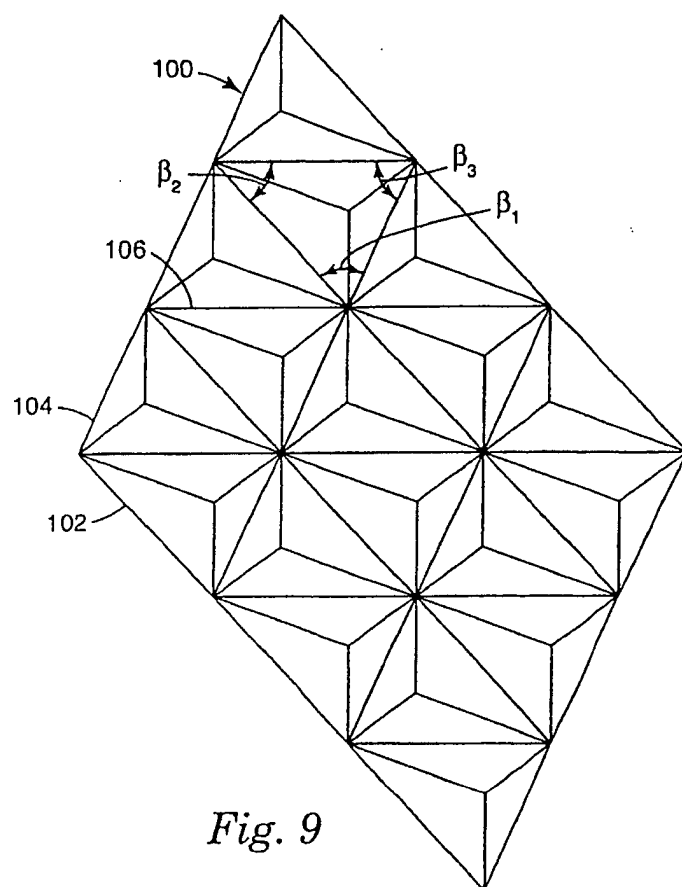
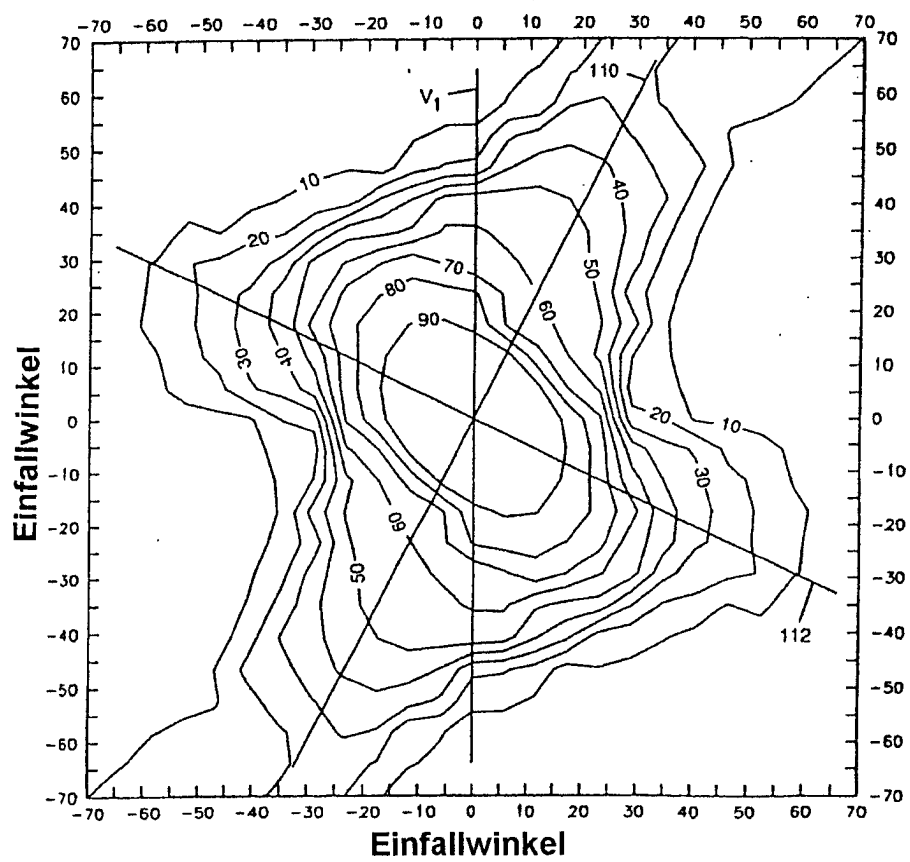


Fig.10



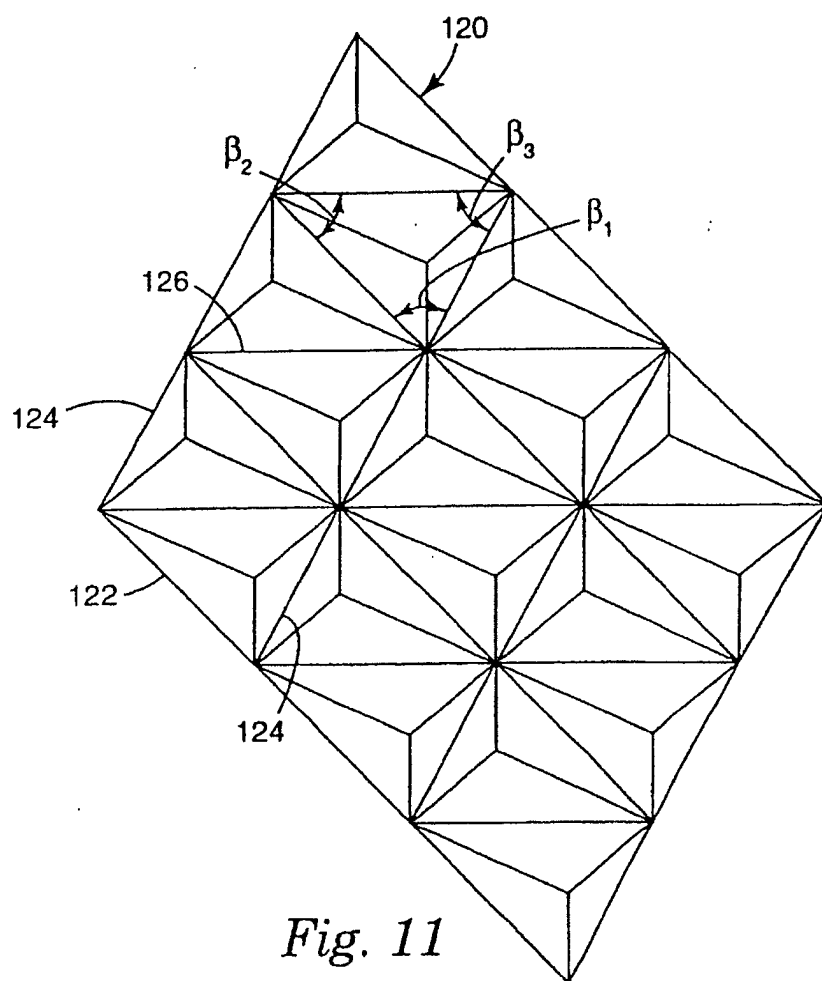
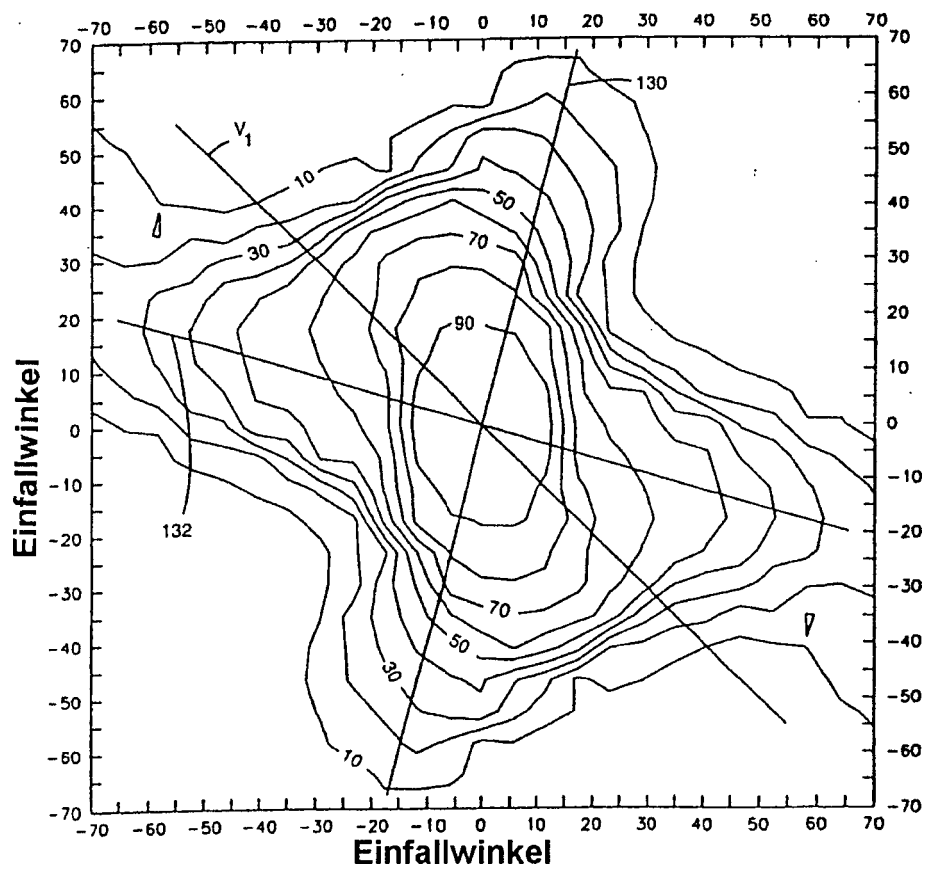


Fig.12



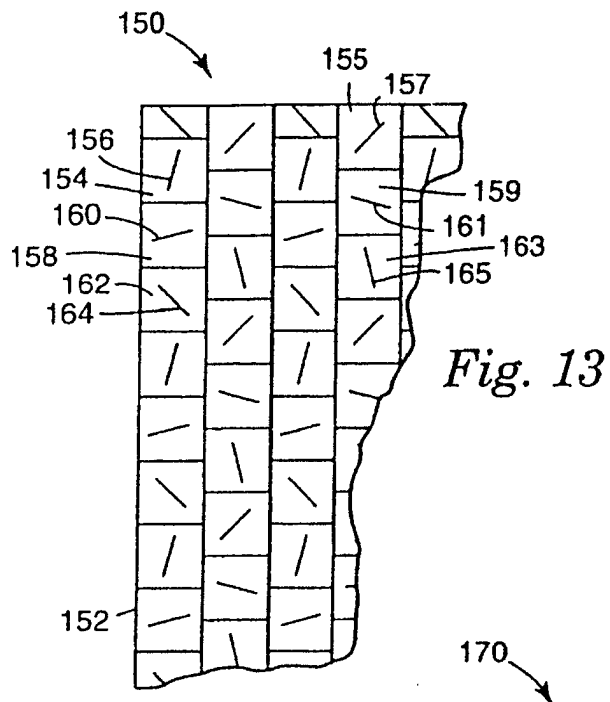
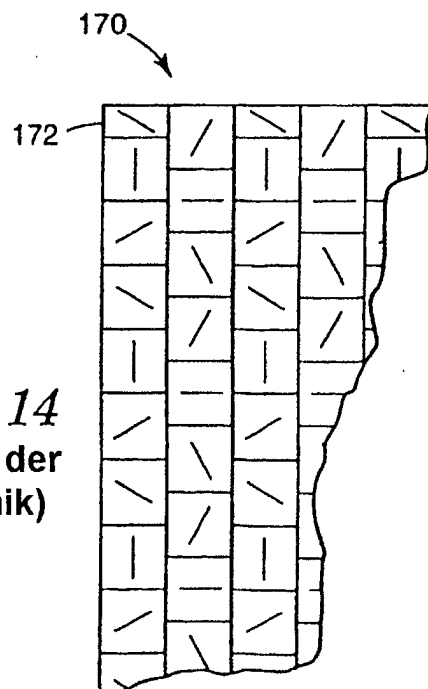


Fig. 14
(Stand der Technik)



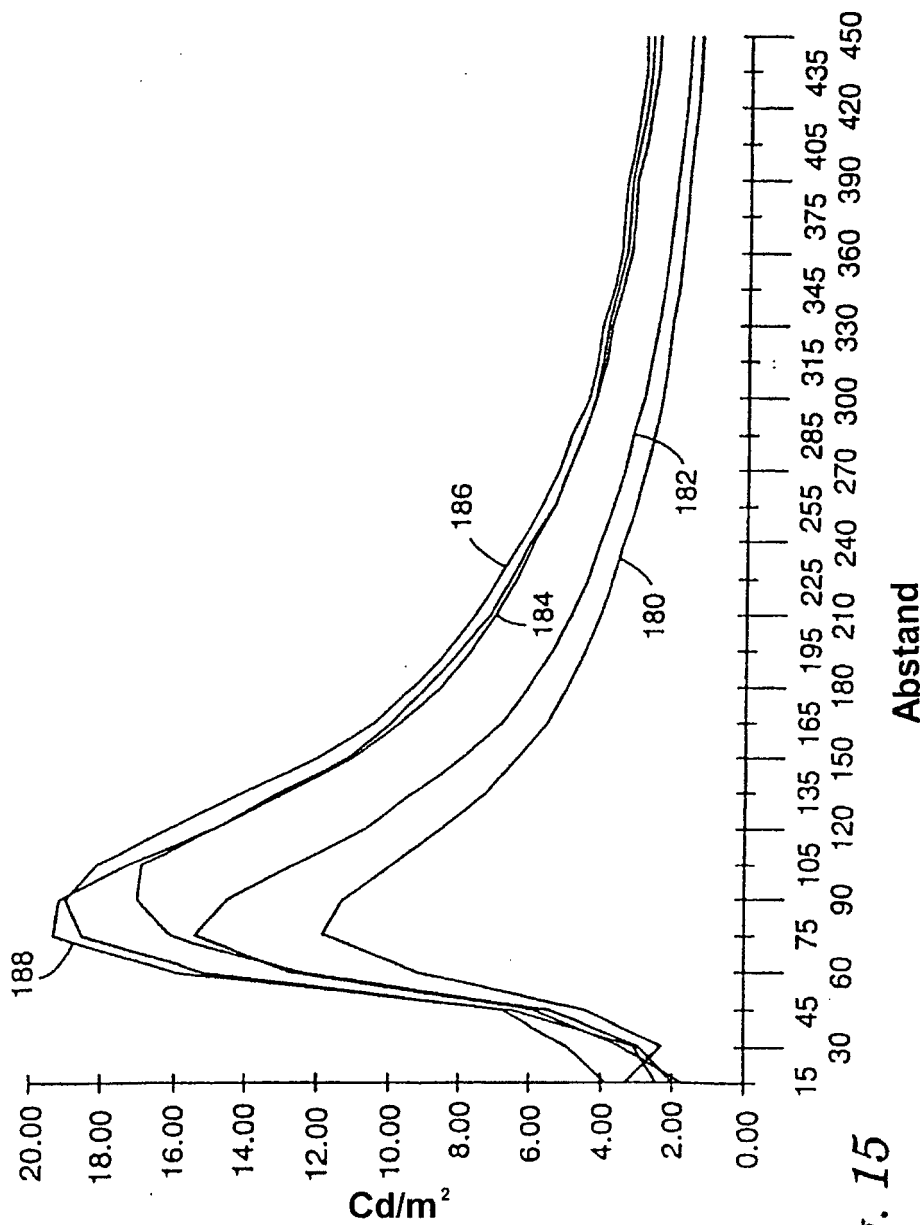


Fig. 15

Fig.16A

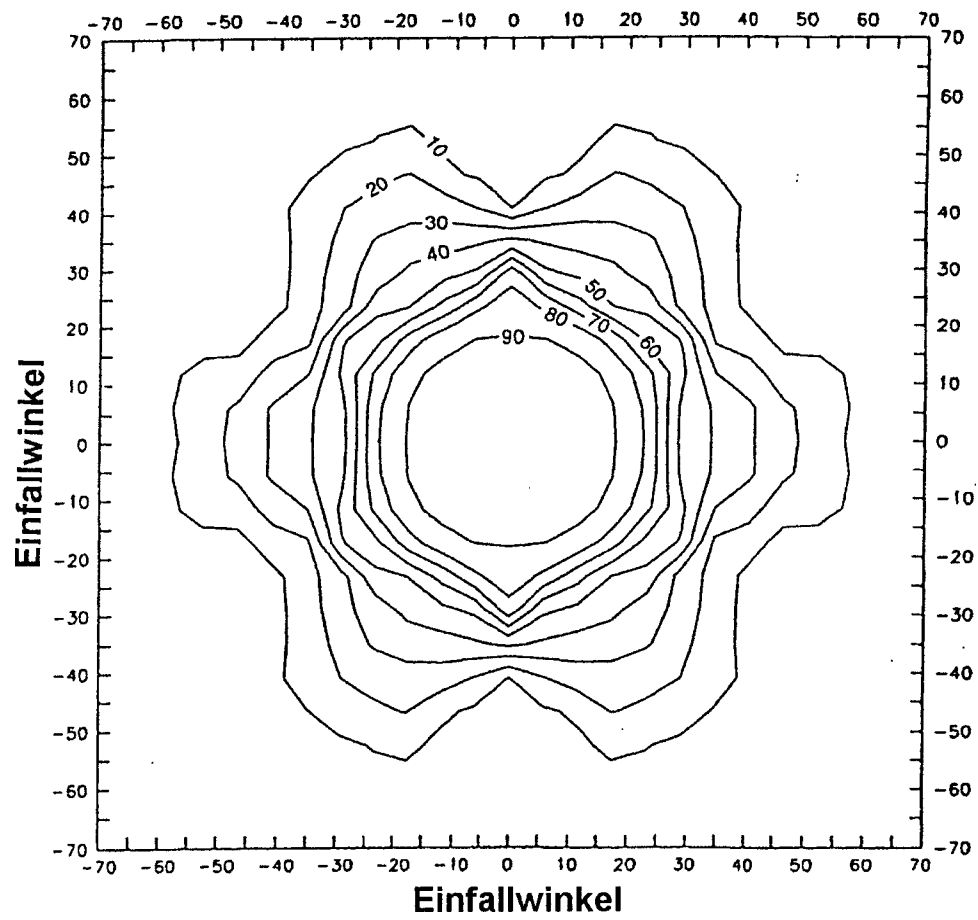


Fig. 16B

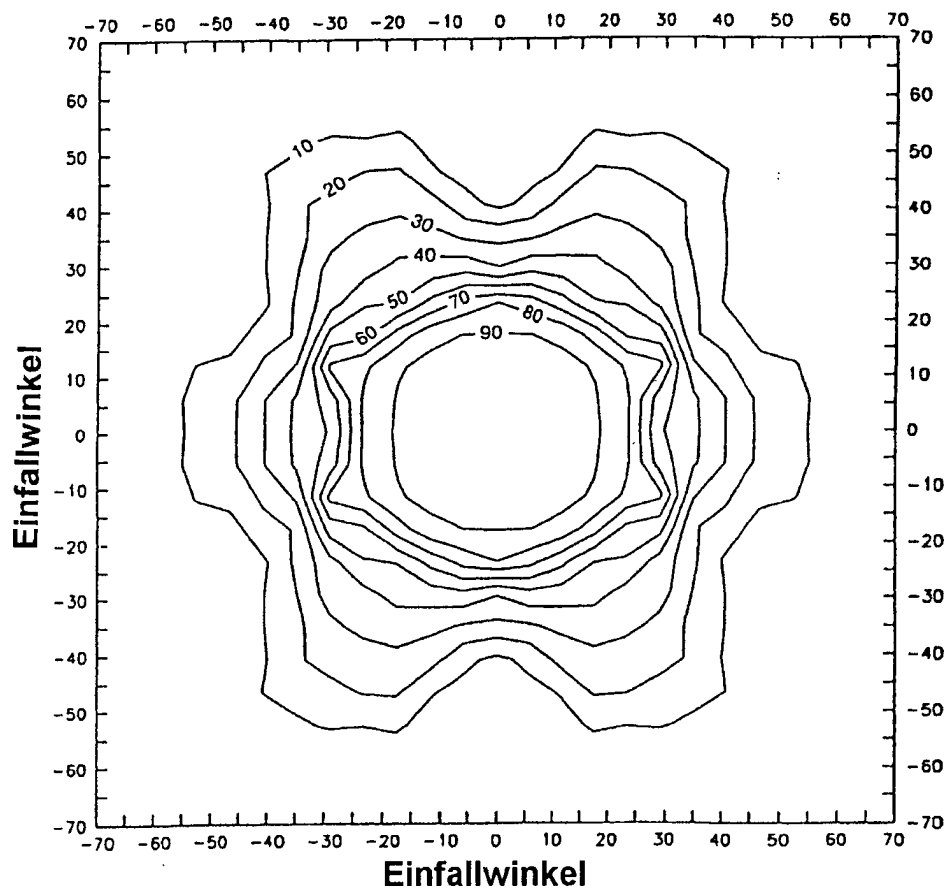


Fig. 16C

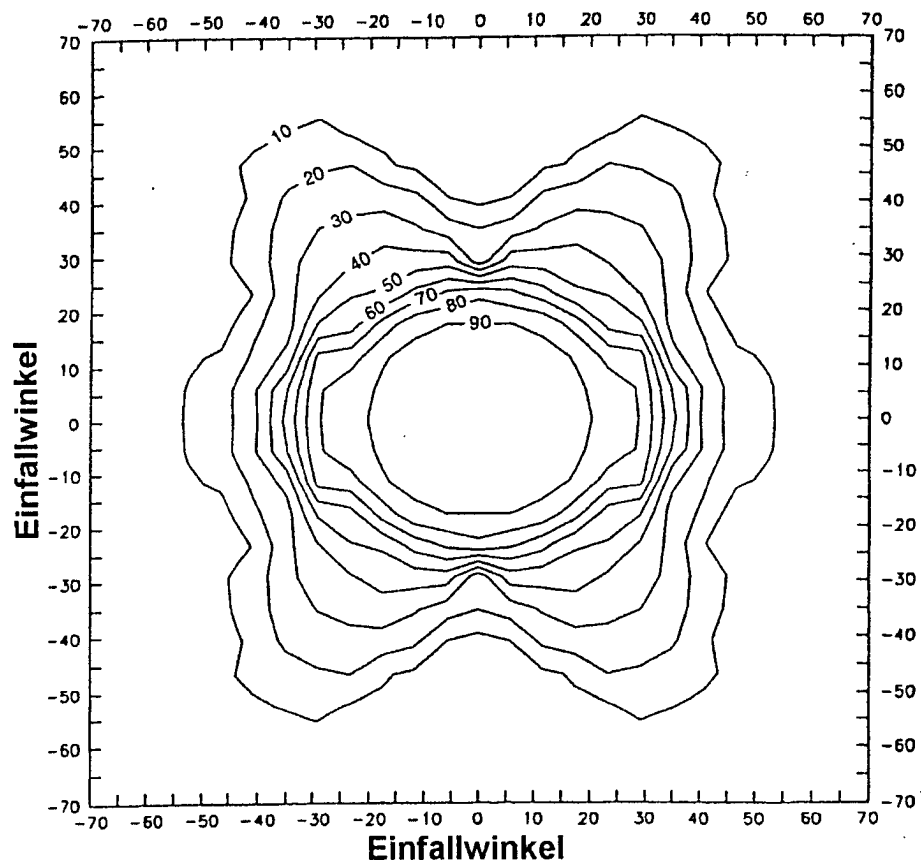


Fig.16D

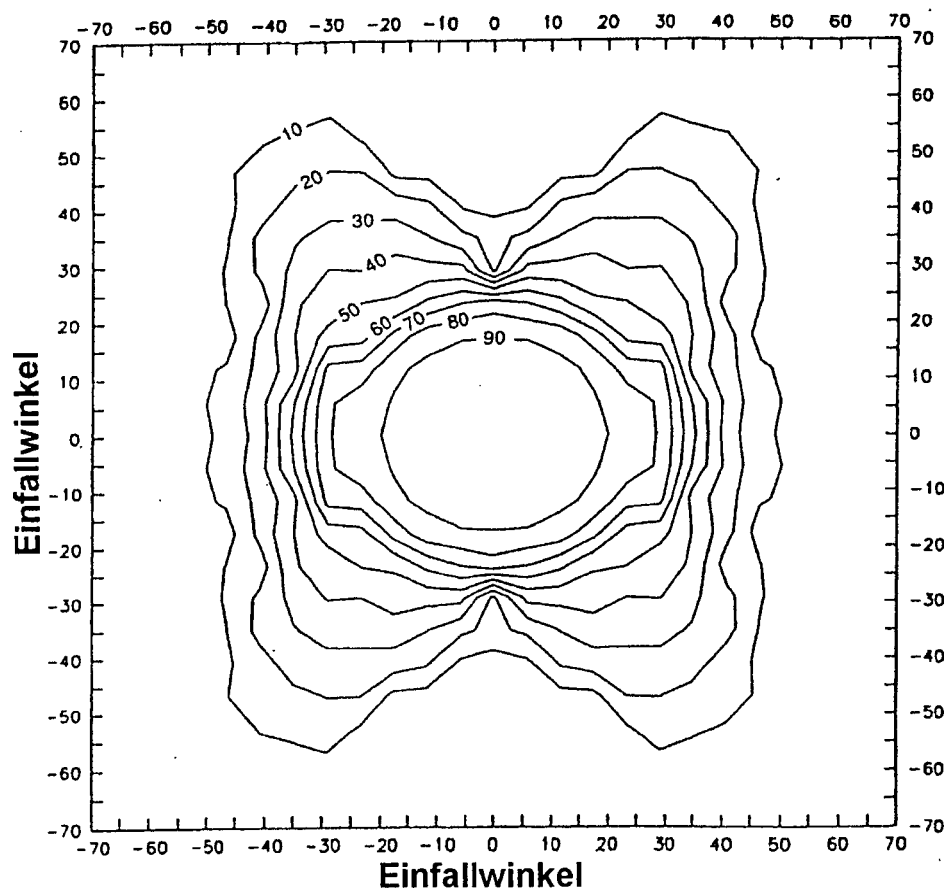


Fig. 16E

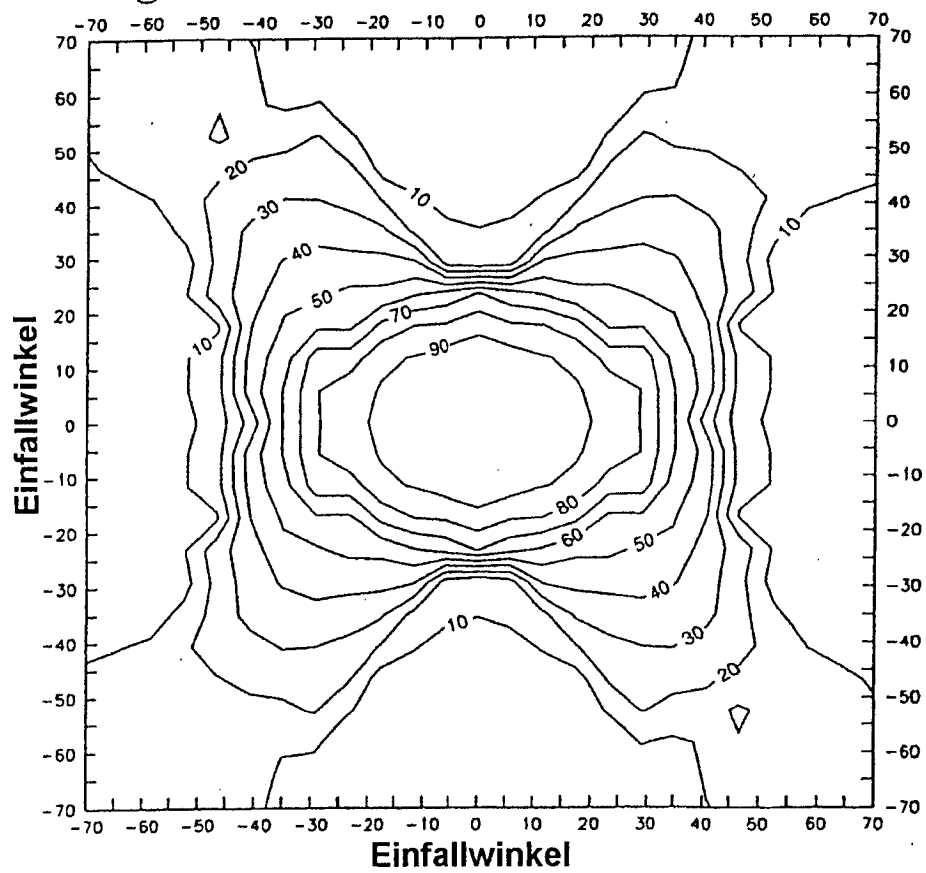


Fig. 16F

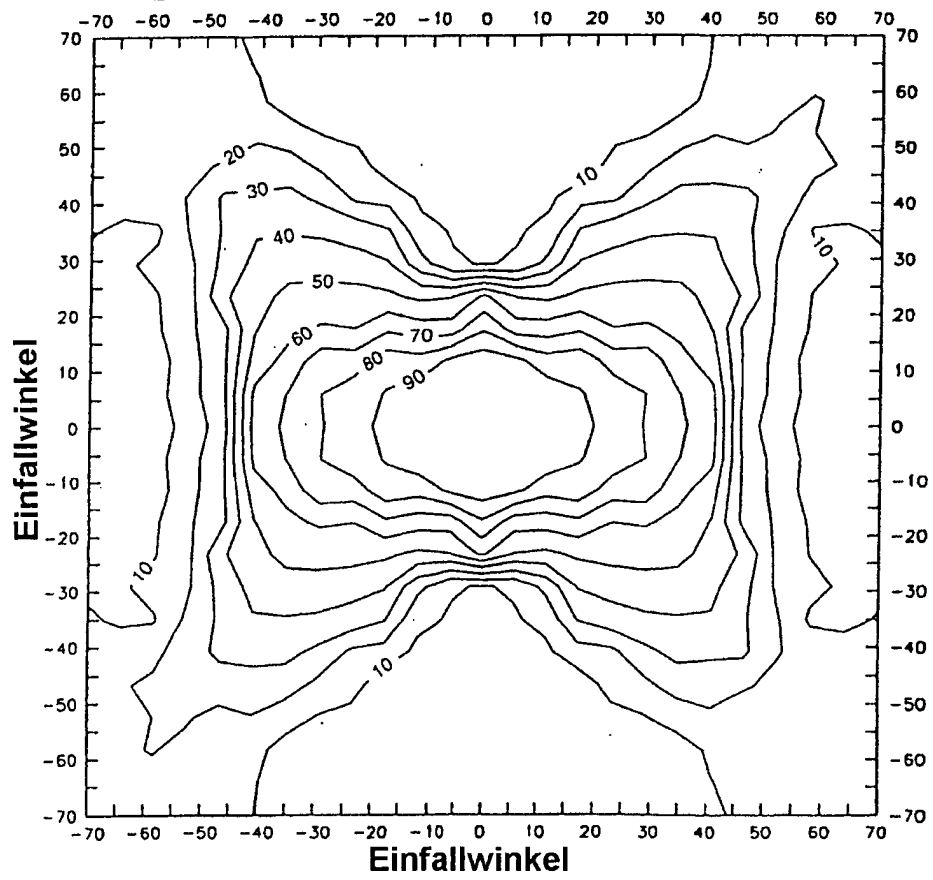


Fig. 16G

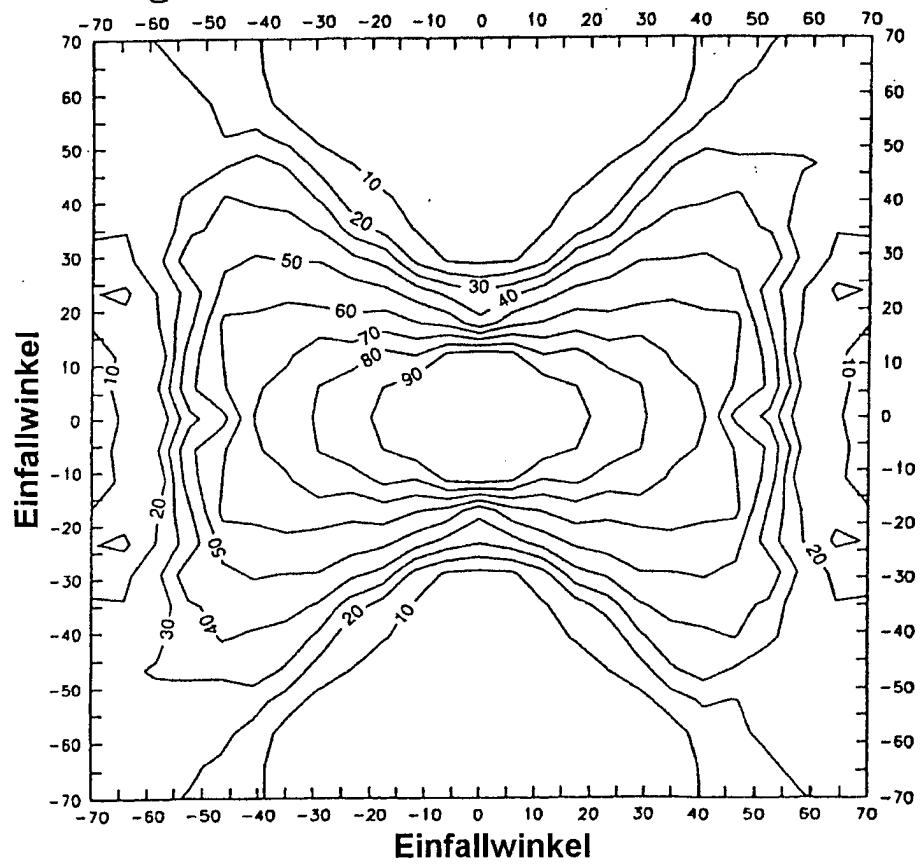


Fig.16H

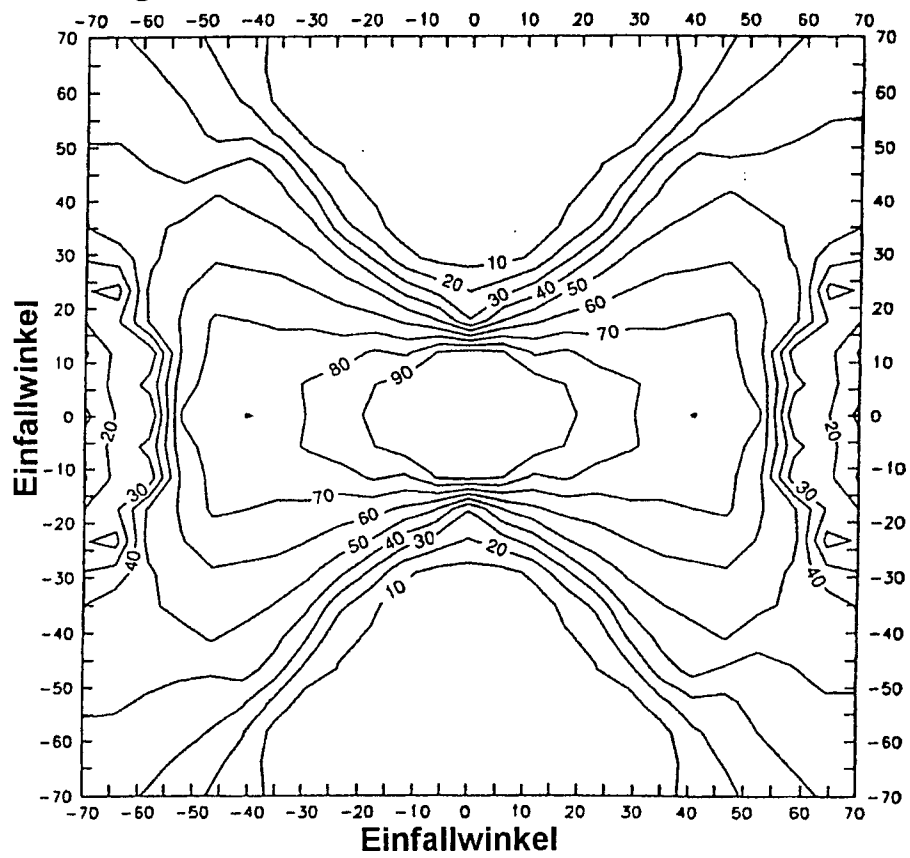


Fig.16I

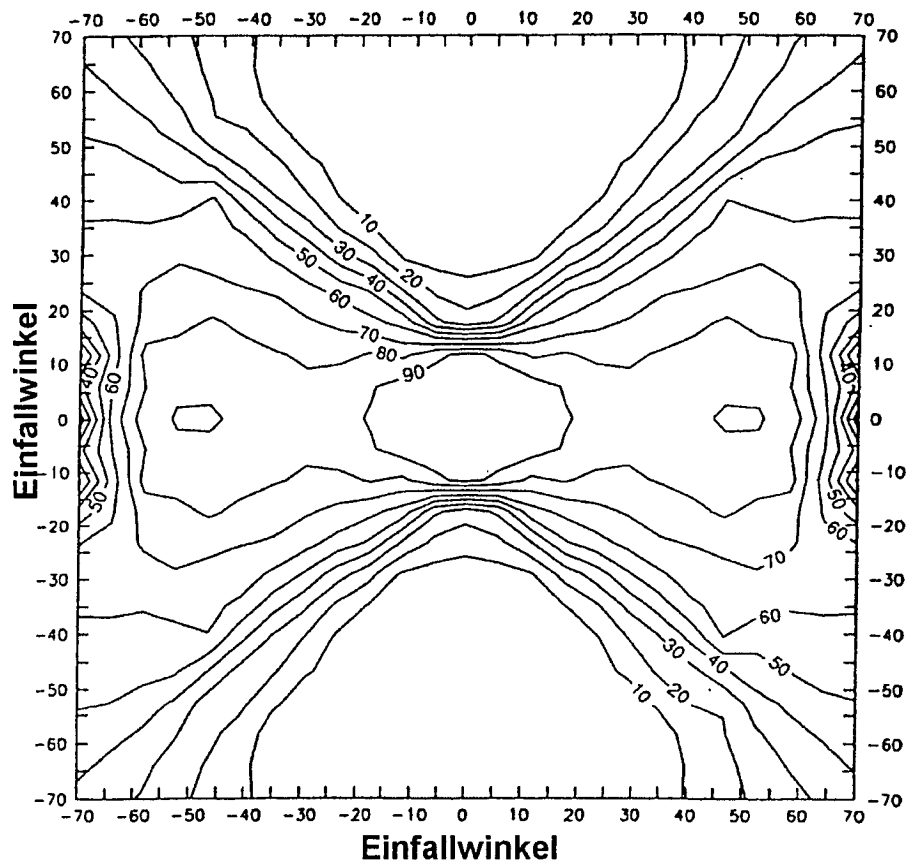


Fig.16J

