



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 696 29 685 T2 2004.06.17**

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 830 623 B1**

(51) Int Cl.⁷: **G02B 5/124**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **696 29 685.3**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US96/09232**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **96 918 236.9**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 96/042024**

(86) PCT-Anmeldetag: **06.06.1996**

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: **27.12.1996**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **25.03.1998**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **27.08.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **17.06.2004**

(30) Unionspriorität:

90 P 09.06.1995 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, ES, FR, GB, IT, NL

(73) Patentinhaber:

**Minnesota Mining and Mfg. Co., Saint Paul, Minn.,
US**

(72) Erfinder:

**SMITH, L., Kenneth, Saint Paul, US; BENSON, M.,
Gerald, Saint Paul, US**

(74) Vertreter:

Vossius & Partner, 81675 München

(54) Bezeichnung: **RETROFLEKTIERENDER, WÜRFLECKIGER KÖRPER MIT UNGLEICHSEITIGEN BASISDREIECKEN**

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 schiefwinkligen Basisdreiecken aufweist, und 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 'Einfallwinklichkeit' 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 Einfallwinklichkeit 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 gekippte, schräg abgeschnittene Würfeckenelemente einsetzt, eine schlechte Retroreflexionsleistung als Antwort auf Licht auf, das auf die Folie unter hohen Einfallswinkeln einfällt.

[0006] Viele Anwendungen könnten von einer retroreflektierenden Folie profitieren, die eine ausgedehnte Einfallwinklichkeit 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 Einfallwinklichkeit aufweist. Zeichen-Anwendungen würden ebenfalls von einer retroreflektierenden Folie profitieren, die eine ausgedehnte Einfallwinklichkeit in mehreren Ebenen aufweisen. Insbesondere reduziert eine retroreflektierende Folie, die mehrere Ebenen mit einer ausgedehnten Einfallwinklichkeit aufweist, die Wichtigkeit, die Folie in einer bestimmten Orientierung auf dem Zeichen anzuordnen.

[0007] Ein Verfahren zur Herstellung eines retroreflektierenden Gegenstands, der eine ausgedehnte Einfall-

winkligkeit in mehreren Ebenen aufweist, das allgemein in der Technik als 'Fliesen' bekannt ist, umfaßt das Anordnen von mehreren diskreten Fliesen von gekippten Würfeckenfeldern 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 4,588,259 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 könnte, 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 wird in den unabhängigen Ansprüchen 1 und 5 spezifiziert.

[0011] Die vorliegende Erfindung ist auf eine retroreflektierende Würfecken-Folie, die eine verbesserte Einfallwinkligkeit in einer oder mehreren Ebenen aufweist, und auf Bezugsformgegenstände 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 weist ein Feld zusammenpassender Würfeckenelementpaare auf, die durch drei sich schneidende Sätze von im wesentlichen parallelen Rillen gebildet werden. Nur zwei Rillensätze schneiden sich unter einem Winkel, der kleiner als 60 Grad ist, und mehrere Würfeckenelemente im Feld weisen ein Basisdreieck auf, das durch eine Rille aus jedem der drei sich schneidenden Rillensätze begrenzt ist, wobei das Basisdreieck schiefwinklig 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 gekippter zusammenpassender Würfeckenelementpaare auf, die durch drei gegenseitig sich schneidende Sätze von im wesentlichen parallelen Rillen gebildet werden, wobei jedes zusammenpassende Paar ein erstes Würfeckenelement und ein optisch gegenüberliegendes zweites Würfeckenelement aufweist. Mehrere Würfeckenelemente im Feld weisen ein Basisdreieck auf, das durch eine Rille aus jedem der drei sich schneidenden Rillensätze begrenzt wird und schiefwinklig ist. Zusätzlich sind die Symmetrieachsen mehrerer Würfeckenelemente im Feld in einer ersten Ebene gekippt, und die Folie weist ihren weitesten 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 eines Würfeckengegenstands;

[0014] **Fig. 2** ist eine Querschnittansicht des in **Fig. 1** dargestellten Würfeckengegenstands;

[0015] **Fig. 3** ist eine graphische Darstellung von Kurven gleicher Helligkeit, die die vorhergesagte Retroreflexionsleistung eines retroreflektierenden Gegenstands gemäß dem in **Fig. 1** dargestellten Gegenstand darstellt;

[0016] **Fig. 4** ist eine graphische Darstellung von Kurven gleicher Helligkeit, die die gemessene Retroreflexionsleistung eines retroreflektierenden Gegenstands gemäß dem in **Fig. 1** dargestellten Gegenstand darstellen

[0017] **Fig. 5** ist eine graphische Darstellung der gesamten Lichtreflexion als Funktion des Einfallwinkels des einfallenden Lichts für die in den **Fig. 1–2** dargestellte Würfeckengeometrie;

[0018] **Fig. 6** ist eine graphische Darstellung, die die Gesamtlichtreflexion als Funktion des Einfallwinkels des einfallenden Lichts für die in den **Fig. 1–2** 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 schiefwinkligem Basisdreieck einsetzt;

[0022] **Fig. 10** ist eine graphische Darstellung von Kurven gleicher Helligkeit, die die vorhergesagte Retroreflexionsleistung eines retroreflektierenden Gegenstands gemäß dem in **Fig. 9** dargestellten Gegenstand darstellen;

[0023] **Fig. 11** ist eine perspektivische Ansicht einer retroreflektierenden Folie, die Würfeckenelemente mit schiefwinkligem Basisdreieck einsetzt;

[0024] **Fig. 12** ist eine graphische Darstellung von Kurven gleicher Helligkeit, die die vorhergesagte Retroreflexionsleistung eines retroreflektierenden Gegenstands gemäß dem in **Fig. 11** dargestellten Gegenstands 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; **Fig. 15** ist eine graphische Darstellung, die die optische Leistung der in **Fig. 13** dargestellten Folie mit der in **Fig. 14** dargestellten Folie vergleicht;

[0027] **Fig. 16a–16j** sind graphische Darstellungen gleicher Helligkeit, die Profile gleicher Helligkeit retroreflektierender zusammenpassender Würfeckenelementpaare über zunehmende Kippwinkel darstellen. Die **Fig. 1, 2, 7–9, 11, 13 und 14** sind nicht maßstabsgerecht.

Detaillierte Beschreibung

[0028] 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 Einfallwinkligkeit aufweist. Obwohl es nicht notwendig ist, wird es bevorzugt, daß ein erfindungsgemäßer Gegenstand mindestens zwei Ebenen einer ausgedehnten Einfallwinkligkeit aufweist. Es wird sogar noch mehr bevorzugt, daß ein erfindungsgemäßer Gegenstand bei einem gegebenen Einfallswinkel in jeder Ebene einer ausgedehnten Einfallwinkligkeit im wesentlichen dieselbe Lichtmenge reflektiert.

[0029] Ein Aspekt der vorliegenden Erfindung liegt in der Erkenntnis, daß bestimmte stillschweigende Annahmen in der früheren Würfeckentechnologie nicht für alle Würfeckengeometrien gelten. Insbesondere ist eine wichtige stillschweigende Annahme in der früheren Würfeckentechnologie, daß Kippen der optischen Achsen der Würfeckenelemente um einen gegebenen Winkel in einer bestimmten Ebene die Einfallwinkligkeit 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 Einfallwinkligkeit aufweisen, die nicht mit der Ebene zusammenfallen, in der die optischen Achsen von Würfeckenelemente liegen, verbessert werden kann, indem die Ebenen ausgedehnter Einfallwinkligkeit bei einem bestimmten Orientierungswinkel relativ zu einer Kante der Folie ausgerichtet werden. Vorzugsweise sollten die ausgedehnten Ebenen der Einfallwinkligkeit annähernd parallel mit einer der Kanten der Folie orientiert sein.

[0030] **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 Rillensätze gebildet werden, die einen primären Rillensatz **30** und zwei Sätze sekundärer Rillen **36, 37** aufweisen. Die Würfeckenelemente **12, 14** weisen drei annähernd gegenseitig senkrechte Flächen **16, 18, 20** und ein Basisdreieck auf, das durch eine Rille in jedem der drei Rillensätze im Substrat begrenzt ist. Der Abstand zwischen angrenzenden Rillen in jedem Rillensatz mißt vorzugsweise zwischen weniger als etwa 600 Mikrometer und mißt bevorzugter etwa 150–200 Mikrometer, jedoch sollte erkannt werden, daß die präzisen Messungen der Würfeckenelemente nicht entscheidend sind. Die eingeschlossenen Winkel der Basisdreiecke der Würfeckenelemente **12, 14**, die in **Fig. 1** dargestellt werden, messen annähernd 65 Grad, 65 Grad und 50 Grad, jedoch ist die besondere Geometrie des Basisdreiecks der Würfeckenelemente **12, 14** nicht entscheidend, und es wird erkannt werden, daß die vorliegende Erfindung nicht auf Würfeckenelemente beschränkt ist, die diese spezifischen Basisdreieckmaße aufweisen.

[0031] Die Bezeichnung eines Rillensatzes **30** als einen primären Rillensatz und der Rillensätze **36, 37** als sekundäre Rillensätze ist im wesentlichen eine beliebige Konvention. Für Würfeckenelemente, die gleichschenkelige Basisdreiecke aufweisen, wie die in **Fig. 1** dargestellten Würfeckenelemente, weisen die sekundären Rillensätze **36, 37** im wesentlichen identische Rillenwinkel (z. B. 38,721°) auf. Im Gegensatz dazu unterscheidet sich der Rillenwinkel α_1 der primären Rille **30** (z. B. 27,795°) vom Rillenwinkel der sekundären Rillensätze **36, 37**. Indem die Konvention übernommen wird, einen Rillensatz als einen primären Rillensatz zu bezeichnen, kann die Orientierung eines Würfeckenfelds relativ zur Kante des Substrats, auf dem das Feld

angeordnet ist, durch den Winkel definiert werden, mit dem der primäre Rillensatz **30** die Kante des Substrats schneidet.

[0032] **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 wird erkannt werden, daß die strukturierte Fläche **10** sich weder direkt gegenüber der Basisfläche **6** befinden noch koplanar zu ihr sein muß.

[0033] Bezugnehmend auf **Fig. 2**, sind die Symmetrieachsen **24**, **26** der Würfeckenelemente **12**, **14** um einen Kippwinkel α von annähernd 7,47 Grad von einer Achse **28** gekippt, die sich im wesentlichen normal zur Basisfläche **6** erstreckt und den Scheitelpunkt der jeweiligen Würfeckenelemente **12**, **14** schneidet. Es wird jedoch erkannt werden, daß der genaue Kippwinkel α nicht entscheidend ist, und die vorliegende Erfindung erwägt einen Kippwinkelbereich, 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 gekippt, die annähernd senkrecht zur primären Rille **30** liegt. Genauer sind die Würfeckenelemente **12**, **14** so gekippt, daß die Symmetrieachsen **24**, **26** in einer Ebene liegen, die annähernd senkrecht zur primären Rille **30** und zur Basisfläche **6** ist. Gekippte Würfeckenelemente, wie jene, die in den **Fig. 1-2** dargestellt werden, können als 'rückwärts' gekippte Würfeckenelemente bezeichnet werden. Rückwärts gekippte Würfeckenelemente können ferner dadurch gekennzeichnet werden, 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 gekippte Würfel dadurch gekennzeichnet werden, daß zwei der eingeschlossenen Winkel des Basisdreiecks weniger als 60 Grad messen und ein einziger eingeschlossener Winkel des Basisdreiecks mehr als 60 Grad mißt.

[0034] **Fig. 2** zeigt auch, daß der Rillenseitenwinkel α_1 der primären Rille **30** annähernd 29,795 Grad mißt. Obwohl in **Fig. 2** nicht gezeigt, messen die Rillenseitenwinkel der sekundären Rillen **36**, **37** annähernd 38,721 Grad. Eine retroreflektierende Folie, die im wesentlichen Würfeckenelemente enthält, wie in den **Fig. 1** und **2** dargestellt, wird im US-Patent Nr. 2,310,790 (Jungersen) offenbart.

[0035] **Fig. 3** ist eine graphische Darstellung einer Kontur gleicher Helligkeit, die die vorhergesagte Gesamtlichtreflexion für ein retroreflektierendes zusammenpassendes Würfeckenelementpaar darstellt, das durch rückwärts gekippte 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 zusammenpassendes 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.

[0036] 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 für Würfel, 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 für Würfel, 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 (typischerweise Luft).

[0037] Standardoptiktexte, wie Hecht, „Optics“, 2. Auflage, Addison Wesley, 1987, erläutern Oberflächen-Durchlaßverluste und die innere Totalreflexion.

[0038] Die wirksame Fläche für ein einfaches oder einzelnes Würfeckenelement 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 für ein einzelnes Würfeckenelement 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 üblichen Optik-Fachleuten bekannt sind, oder kann numerisch unter Verwendung herkömmlicher Strahlengangverfolgungstechniken bestimmt werden. Die prozentuale aktive Fläche für ein zusammenpassendes Würfecken-Paarfeld kann durch Durchschnittsbildung der prozentualen aktiven Fläche der beiden einzelnen Würfeckenelemente im zusammenpassenden Paar berechnet werden. Anders gesagt, 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.

[0039] Bezugnehmend auf **Fig. 3**, repräsentiert der Vektor V_1 die Ebene, die die Symmetrieachsen **24**, **26** der Würfeckenelemente **12**, **14** enthält. Zum Beispiel liegt in **Fig. 1** der Vektor V_1 in einer Ebene, die im wesentlichen senkrecht zur primären Rille **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 graphischen 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 zusammenpassendes 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.

[0040] **Fig. 4** ist eine graphische Darstellung gleicher Helligkeit, die ähnlich zur graphischen Darstellung ist, die in **Fig. 3** präsentiert wird, die die gemessene Gesamtlichtreflexion eines zusammenpassenden Würfeckenelementpaares darstellt, das dieselbe Geometrie wie das zusammenpassende Würfeckenelementpaar aufweist, das in den **Fig. 1** und **2** dargestellt wird. Die Würfeckenelemente bestehen aus BK7-Glas, das einen Brechungsindex von 1,517 aufweist. Obwohl infolge von Herstellungsmängeln und Meßfehlern leichte Variationen in den graphischen Darstellungen vorhanden sind, stimmen die gemessenen Ergebnisse, die in **Fig. 4** dargestellt werden, mit der Form der Profile gleicher Helligkeit überein, die in **Fig. 3** dargestellt werden.

[0041] Es sollten zwei Aspekte der graphischen Darstellungen gleicher Helligkeit, die in den **Fig. 3–4** dargestellt werden, beachtet werden. Erstens demonstrieren die graphischen Darstellungen, daß ein zusammenpassendes Paar von Würfeckenelementen **12**, **14** zwei Ebenen ausgedehnter Einfallswinkligkeit aufweist, die im wesentlichen senkrecht zueinander sind und die in einer Ebene liegen, die nicht mit der Ebene zusammenfällt, in der die Würfeckenelemente gekippt sind, die durch den Vektor V_1 angezeigt wird. Für das zusammenpassende Würfecken-Paar, das in den **Fig. 1–2** dargestellt wird, sind die beiden ausgedehnten Ebenen der Einfallswinkligkeit unter annähernd 45 Grad relativ zur Ebene orientiert, in der die Würfeckenelemente gekippt sind, und können auf den graphische Darstellungen gleicher Helligkeit als zwei im wesentlichen senkrechte Ebenen **40**, **42** identifiziert werden, die mit den ausgedehnten Keulen der graphischen Darstellung gleicher Helligkeit zusammenfallen.

[0042] Ein zweiter Aspekt der Kurven gleicher Helligkeit, die in den **Fig. 3–4** dargestellt werden, rührt von der Tatsache her, daß die Würfel **12**, **14** im wesentlichen symmetrisch zur Ebene V_1 sind. Folglich wird ein zusammenpassendes Paar Würfeckenelemente, die die in den **Fig. 1–2** dargestellte Geometrie aufweisen, entweder in der Ebene **40** oder der Ebene **42** annähernd denselben Prozentsatz Licht bei einem gegebenen Einfallswinkel reflektieren. Dieser Aspekt wird detaillierter in **Fig. 5** dargestellt, die die vorhergesagte Gesamtlichtreflexion der Würfeckenelemente **12**, **14** als eine Funktion des Einfallswinkels des Lichts graphisch 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 zusammenpassenden 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 zusammenpassende 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 zusammenpassendes Würfeckenelementpaar, das aus einem Material besteht, das einen Brechungsindex von 1,5 aufweist.

[0043] **Fig. 6** vergleicht die Retroreflexionsleistung der Geometrie des zusammenpassenden Würfeckenelementpaares, das in den **Fig. 1–2** dargestellt wird, mit der Geometrie des vorwärts gekippten zusammenpassenden Würfeckenelementpaares, das im US-Patent 4,588,258 (dem '258-Patent) dargestellt wird. Die Kurve **52** stellt graphisch die Gesamtlichtreflexion als eine Funktion des Einfallswinkels in der weitesten Ebene der Einfallswinkligkeit in der Geometrie des '258-Patents dar. Diese Ebene wird im '258-Patent als die 'X'-Ebene identifiziert. Die Kurve **54** stellt graphisch die Gesamtlichtreflexion als eine Funktion des Einfallswinkels in der zweiten weitesten Ebene der Einfallswinkligkeit in der 258-Geometrie dar. Diese Ebene wird im '258-Patent als die

'Y'-Ebene identifiziert. Die Kurven **56** und **58** stellen die Gesamtlichtreflexion als eine Funktion des Einfallswinkels für die beiden ausgedehnten Ebenen der Einfallswinkligkeit für die Geometrie graphisch dar, die in **Fig. 1** dargestellt wird. **Fig. 6** demonstriert, daß bei Einfallswinkeln von mehr als etwa 35–40 Grad, das zusammenpassende Würfeckenelementpaar, wie in **Fig. 1** dargestellt, einen größeren Prozentsatz von Licht in beiden Ebenen ausgedehnter Einfallswinkligkeit **40**, **42** reflektiert als die Geometrie, die im '258-Patent dargestellt wird, in der 'Y'-Ebene reflektiert.

[0044] **Fig. 7** ist eine schematische Draufsicht einer repräsentativen retroreflektierenden Folie **60** gemäß Prinzipien der vorliegenden Erfindung, die zwei ausgedehnte Ebenen der Einfallswinkligkeit 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 den **Fig. 1-2** dargestellt wird. Die strukturierte Fläche weist ein Feld zusammenpassender Würfeckenelementpaare auf, die durch drei sich schneidende Sätze von im wesentlichen parallelen Rillen definiert werden, die eine primäre Rille **66** und zwei Sätze sekundärer Rillen **68**, **69** aufweisen. Da die Würfeckenelemente gleichschenkelige Basisdreiecke aufweisen, sind zwei der eingeschlossenen Basiswinkel dieselben. Der primäre Rillensatz kann als der Rillensatz definiert werden, der die beiden gleichen Winkel des Basisdreiecks verbindet. Die restlichen Rillensätze können als sekundäre Rillensätze betrachtet werden. In der in **Fig. 7** dargestellten Ausführungsform erstreckt sich das Feld im wesentlichen vollständig über die Oberfläche der Folie. Jedes zusammenpassende Paar Würfeckenelemente weist zwei gegenüberliegende einzelne Würfeckenelemente **70**, **72** auf, die in einer Ebene gekippt sind, die im wesentlichen senkrecht zur primären Rille **66** ist. Zusätzlich liegt ein Hauptabschnitt von im wesentlichen jeder primären Rille **66**, und vorzugsweise die gesamte primäre Rille **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 Rillen typischerweise zwischen etwa 60 und 600 Mikrometer.

[0045] Obwohl gegenüberliegende Würfeckenelemente **70**, **72** jedes zusammenpassenden Paares, die in **Fig. 7** dargestellt werden, physikalisch direkt gegenüber einer primären Rille **66** zueinander angeordnet sind, wird erkannt werden, daß eine solche relative physikalische Anordnung keine Anforderung der vorliegenden Erfindung ist. Im seinem weitesten Sinne kann der Ausdruck 'gegenüberliegend', wie er hierin verwendet wird, 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 Rille anzuordnen, wie in **Fig. 7** dargestellt. Jedoch wird zu erkennen sein, daß gegenüberliegende Würfeckenelemente auf der Folie physikalisch voneinander entfernt sein könnten. Zusätzlich wird erkannt werden, daß gegenüberliegende Würfeckenelemente keine perfekten physikalischen Spiegelbilder zueinander sein müssen, um optisch gegenüberliegende Würfeckenelemente zu ergeben. Leichte Variationen der physikalischen Form gegenüberliegender Würfeckenelemente werden nur leichte Variationen des Retroreflexionsmusters ergeben, 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.

[0046] 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 wird. Da jedoch das Feld der Würfeckenelemente so orientiert ist, daß die primären Rillen **66** in einer Ebene liegen, die die Kante der Folie unter einem Winkel von annähernd 45 Grad schneidet, ist eine ausgedehnte Ebene der Einfallswinkligkeit, die der Ebene **40** der **Fig. 3** entspricht, annähernd parallel zu den Längskanten **62** der Folie **60**. Die andere ausgedehnte Ebene der Einfallswinkligkeit, die der Ebene **42** der **Fig. 3** entspricht, ist annähernd senkrecht zu den Längskanten der Folie **60**. Ein Fachmann wird erkennen, 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 wird. Solche kleineren Variationen werden im Rahmen der vorliegenden Erfindung berücksichtigt.

[0047] 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 Einfallswinkeln reflektiert wird, zu maximieren, sollte seine am weitesten ausgedehnte Ebene der Einfallswinkligkeit im wesentlichen parallel zu seiner Längskante **62** sein. Um im Ge-

gensatz dazu die Lichtmenge, die durch den vertikal orientierten Streifen der retroreflektierenden Folie **60** bei großen Einfallswinkeln reflektiert wird, zu maximieren, sollte seine am weitesten ausgedehnte Ebene der Einfallswinkligkeit im wesentlichen senkrecht zu seiner Längskante **62** sein.

[0048] Die retroreflektierende Folie **60** ist besonders gut für solche Fahrzeug-Auffälligkeitsanwendungen geeignet. Wenn die Folie **60** am Fahrzeug **82** in die horizontale Orientierung angeordnet ist, ist eine ausgedehnte Ebene der Einfallswinkligkeit im wesentlichen parallel mit der Längskante **62** der retroreflektierenden Folie **60** ausgerichtet, wodurch die Lichtmenge maximiert wird, die durch den horizontalen Streifen **84** bei großen Einfallswinkeln reflektiert wird. Entsprechend ist, wenn die Folie **60** am Fahrzeug in die vertikale Orientierung angeordnet ist, eine ausgedehnte Ebene der Einfallswinkligkeit im wesentlichen senkrecht zur Längskante **62** der retroreflektierenden Folie **60** ausgerichtet, wodurch die Lichtmenge maximiert wird, die durch den vertikalen Streifen **86** bei großen Einfallswinkeln 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.

[0049] Die Folie **60** ist ähnlich vorteilhaft bei Folienanwendungen für Autobahnschilder. Wie oben erläutert, hängt die Retroreflexionsleistung der meisten gekippten Würfecken-Folienprodukte von der Orientierung der Folie auf dem Schild ab. Zum Beispiel weist die Folie, die im '258-Patent dargestellt wird, eine bessere Einfallswinkligkeit in der Ebene auf, die als die X-Ebene identifiziert wird. Um die beste optische Leistung der Folie des '258-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 wird, so orientiert sein, daß jede Ebene der ausgedehnten Einfallswinkligkeit mit der Einfallsebene des einfallenden Lichts zusammenfällt.

[0050] Für die 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. Für die in **Fig. 7** dargestellte Würfecken-Geometrie entspricht dies einer strukturierten Fläche, in der der Hauptabschnitt der primären Rillen **66**, und vorzugsweise die gesamte Länge jeder primären Rille **66**, in einer Ebene liegt, die eine Längskante **62** der Folie unter einem Winkel schneidet, der 45 Grad mißt. Jedoch wird durch einen üblichen Fachmann erkannt werden, daß die primären Rillen nicht in Ebenen liegen müssen, die die Kante eines Stücks der Folie mit exakt 45 Grad schneiden. Obwohl die Retroreflexionshelligkeit des Gegenstands abnehmen wird, wenn der Winkel, mit dem die primäre Rille **66** die Kante **62** des Gegenstands schneidet, von 45 Grad abweicht, wird die Abnahme graduell sein. Abhängig von den Leistungsanforderungen können die Vorteile der vorliegenden Erfindung mit der Geometrie erhalten werden, die in **Fig. 7** dargestellt wird, vorausgesetzt, die primäre Rille **66** schneidet die Kante **62** unter einem Winkel, der zwischen etwa 35 und 55 Grad und bevorzugter zwischen etwa 40 und 50 Grad mißt. Zusätzlich existieren zahlreiche andere Würfecken-Geometrien, die Ebenen ausgedehnter Einfallswinkligkeit aufweisen, die von der Ebene winklig versetzt sind, in der die optische Achse des Würfeckenelements gekippt ist. Ein üblicher Fachmann der Retroreflexionstechnik wird erkennen, daß die Leistung einer <TEXT FEHLT>onstechnik wird erkennen, 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 werden.

[0051] 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 schiefwinklige Basisdreiecke aufweisen, weisen Profile gleicher Helligkeit auf, die zur Herstellung einer retroreflektierenden Folie gemäß Aspekten der vorliegenden Erfindung geeignet sind. Würfeckenelemente mit schiefwinkligem Basisdreieck können dadurch gekennzeichnet werden, daß keiner der drei eingeschlossenen Winkel des Basisdreiecks des Würfeckenelements derselbe ist.

[0052] Ein Beispiel einer strukturierten Fläche **100**, die eine repräsentative Würfeckenelementgeometrie mit schiefwinkligem 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 Rillenseitenwinkel der Rille **102** (α_2) mißt annähernd 42,295 Grad; der Rillenseitenwinkel der Rille **104** (α_1) mißt annähernd 26,284 Grad; und der Rillenseitenwinkel der Rille **106** (α_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 gekippt, die annähernd parallel zur Rille **104** und senkrecht zur Basisfläche des Materials ist.

[0053] **Fig. 10** ist ein vorhergesagtes Profil gleicher Helligkeit einer retroreflektierenden Folie, die zusammenpassende Würfeckenelementpaare einsetzt, die aus einem Material bestehen, das einen Brechungsindex von 1,590 aufweist, und die eine Geometrie aufweisen, die in **Fig. 9** dargestellt wird. Der Vektor V_1 entspricht der Ebene, in der die Würfeckenelemente gekippt sind (d. h. der Ebene, die die Symmetrieachsen der Würfeckenelemente enthält). Die in **Fig. 9** dargestellte Würfecken-Geometrie weist zwei Ebenen ausgedehnter Einfallswinkligkeit auf, die durch die Ebenen **110**, **112** bezeichnet werden, die von der Ebene, in der die Würfeckenelemente gekippt 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 wird, daß die Rille **104** eine Längskante einer retroreflektierenden Folie mit entweder 30 Grad oder 120 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.

[0054] **Fig. 11** stellt eine strukturierte Fläche **120** dar, die eine andere Würfeckengeometrie mit schiefwinkligem Basisdreieck aufweist, die zwei ausgedehnte Ebenen der Einfallwinkligkeit aufweist, die von der Ebene winklig versetzt sind, in der gegenüberliegende Würfeckenelemente gekippt sind. Die eingeschlossenen Winkel der Basisdreiecke der Würfeckenelemente, die in **Fig. 11** dargestellt werden, messen annähernd 68,71 Grad, 63,29 Grad und 48,00 Grad (β_1 , β_2 bzw. β_3). Der Rillenseitenwinkel der Rille **122** (α_2) mißt annähernd 42,295 Grad; der Rillenseitenwinkel der Rille **124** (α_1) mißt annähernd 26,284 Grad und der Rillenseitenwinkel der Rille **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 gekippt, die die Rille **122** unter einem Winkel von annähernd 45 Grad schneidet.

[0055] 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 gekippt sind, um etwa 26 Grad bzw. 116 Grad winklig versetzt sind. Wenn folglich die strukturierte Fläche so orientiert wird, daß die Rille **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 die andere ausgedehnte Ebene der Einfallwinkligkeit senkrecht zur Längskante der Folie ausgerichtet.

[0056] Würfeckenelement-Gestaltungen, die schiefwinklige Basisdreiecke einsetzen, weisen einige zusätzliche Vorteile gegenüber Würfeckenelementen auf, die gleichschenkelige Basisdreiecke aufweisen. Ein Vorteil ist es, daß eine strukturierte Fläche, die Würfeckenelemente mit schiefwinkligem Basisdreieck aufweist, einen größeren Grad des Kippens gegenüberliegender Würfeckenelemente im Herstellungsprozeß zulassen wird, ohne eine physikalische Beschädigung angrenzender Würfeckenelemente zu verursachen.

[0057] Bei direkt bearbeiteten Würfeln, die drei Sätze sich gegenseitig schneidender Rillen verwenden, tritt ein Abschneiden der Würfel auf, wenn irgendeiner der Rillenseitenwinkel 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 Würfeckenelementgeometrie, die im US-Pat. Nr. 4,588,258 dargestellt wird, in einem herkömmlichen Feld nicht über einen Kippwinkel von 9,736 Grad hinaus gekippt werden. In Tabelle I unten werden repräsentative schiefwinklige Geometriewerte für eingeschlossene Basisdreieck-Winkel (β) und Rillenseitenwinkel (α) für das Kippen gegenüberliegender Würfeckenelemente in einer Ebene gezeigt, die ungefähr parallel zu einer Rille und senkrecht zur Basisebene ist.

[0058] Schiefwinklige Geometrien können größere Kippbeträge zulassen, bevor irgendein Rillenseitenwinkel 45° überschreitet, wodurch ein Kippen der Würfeckenelemente über die bekannten Beschränkungen infolge mechanischen Abschneidens, das durch ein Schneidwerkzeug verursacht wird, zugelassen wird. Zum Beispiel demonstriert Tabelle I, daß ein Kippen oder ein Kippwinkel von bis zu ungefähr 13,376 Grad ohne Kanten-Abschneiden genutzt werden kann.

Tabelle 2

β_2	β_3	β_1	a_1	a_2	a_3	Kippwinkel
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

[0059] In Kombination mit den Lehren dieser Erfindung, die eine verbesserte bevorzugte Einfallswinklichkeit nicht in der Ebene des Kippens betrifft, ermöglichen Würfeckenelementfelder mit einer Geometrie einer schiefwinkligen Basis auch ein Kippen über die früher bekannten Grenzen hinaus, bei der die Gesamtlichtreflexion für Licht zusammenbricht, das senkrecht oder normal zur Basis der Würfel einfällt. Die Gesamtlichtreflexion (TLR) für eine retroreflektierende Folie wird vom Produkt der prozentualen aktive Öffnung und der retroreflektierten Lichtstrahlenintensität abgeleitet. Für einige Kombinationen von 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 Würfel Flächen 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 schiefwinkligem Basisdreieck bevorzugt.

[0060] Tabelle II zeigt begrenzende Gesamtlichtreflexionsgeometrien für normal einfallendes Licht und Würfel mit einem Brechungsindex von 1,586. Für ein Würfeckenelement mit Basiswinkeln $52,2^\circ$ – $52,2^\circ$ – $74,6^\circ$ beträgt der begrenzende Kippwinkel $15,60^\circ$, wie zum Beispiel im US-Pat. Nr. 4,588,258 (Hoopman) gezeigt. Jedoch

kann diese Begrenzung unter Verwendung von Geometrien mit schiefwinkliger Basis, zum Beispiel $15,41^\circ$ ($45,40^\circ-58,57^\circ-76,03^\circ$) oder sogar $18,830^\circ$ ($77,358^\circ-65,642^\circ-37,00^\circ$) ohne einen Zusammenbruch der Gesamtlichtreflexion 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	Kippung
75,600	52,200	52,200	50,867	26,505	26,505	15,602
75,749	49,900	55,351	50,939	24,769	29,080	15,857
76,030	45,400	58,570	50,924	22,949	29,689	16,408
76,623	41,400	61,977	50,985	20,940	31,290	17,476
77,358	37,000	65,642	50,816	18,582	33,064	18,830

[0061] Die Prinzipien der vorliegenden Erfindung können auch auf eine geflieste retroreflektierende Folie angewendet werden. Wie sie hierin verwendet wird, weist eine geflieste strukturierte Fläche mehrere diskrete Felder zusammenpassender 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 Einfallswinkligkeit 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.

[0062] Die Brauchbarkeit des Fliesens kann unter Bezugnahme auf die retroreflektierende Folie erläutert werden, die in **Fig. 7** dargestellt wird. Wie oben erläutert, weist die strukturierte Fläche der in **Fig. 7** dargestellten retroreflektierenden Folie ein einzelnes Feld zusammenpassender Würfeckenelementpaare auf, was zu zwei ausgedehnten Ebenen der Einfallswinkligkeit 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 Einfallswinkligkeit 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 Einfallswinkligkeit aufweisen. Im allgemeinen kann für die in

[0063] **Fig. 7** dargestellte Würfeckengeometrie eine retroreflektierende Folie, die eine Anzahl von X ausgedehnten Ebenen der Einfallswinkligkeit aufweist, durch eine strukturierte Fläche hergestellt werden, die mehrere geflieste Felder aufweist, die unter X/2 unterschiedlichen Orientierungen relativ zur Kante der Folie angeordnet sind.

[0064] Erfindungsgemäß sollte mindestens eines der Felder zusammenpassender Würfeckenelementpaare so orientiert sein, daß eine ausgedehnte Ebene der Einfallswinkligkeit annähernd parallel mit der Kante der Folie angeordnet ist. Folglich sollte für die in **Fig. 7** dargestellte Würfeckenelementgeometrie ein Feld zusammenpassender Würfeckenelementpaare so orientiert sein, daß die primäre Rille die Kante des Gegenstands unter einem Winkel von annähernd 45 Grad schneidet.

[0065] Die Orientierung der restlichen Felder hängt von der Anzahl diskreter Felder zusammenpassender 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 zusammenpassender Würfeckenelementpaare ausgedrückt werden durch die Formel:

$$\alpha = 90/N$$

wobei N die Anzahl diskreter Felder von Würfeckenelementen repräsentiert. Folglich sollte in einer retroreflektierenden Folie, die vier ausgedehnte Ebenen der Einfallswinkligkeit 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

Rille 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 α der Orientierung der Würfeckenfelder annähernd 30 Grad messen. Folglich sollte ein zweites Feld von Würfeckenelementen so orientiert sein, daß die primäre Rille die Kante des Gegenstands relativ zu einer Längskante der Folie unter einem Winkel von annähernd 15 Grad schneidet, und ein drittes Feld von Würfeckenelementen sollte so orientiert sein, daß die primäre Rille relativ zu einer Längskante der Folie die Kante des Gegenstands unter einem Winkel von annähernd 75 Grad schneidet. Diese Reihe kann über so viele unterschiedliche Orientierungen wie gewünscht **13** ist eine fortgesetzt werden 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 zusammenpassender 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 Rille die Kante **152** unter einem spitzen Winkel von 15 Grad schneidet, eine zweite Gruppe von Feldern **158**, die so angeordnet sind, daß die primäre Rille 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 Rille die Kante **152** unter einem spitzen Winkel von 45 Grad schneidet, eine vierte Gruppe von Feldern **155**, die so angeordnet sind, daß die primäre Rille die Kante **152** unter einem spitzen Winkel von 45 Grad schneidet, eine fünfte Gruppe von Feldern **159**, die so angeordnet sind, daß die primäre Rille 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 Rille die Kante **152** unter einem spitzen Winkel von 15 Grad schneidet. Jedes der Felder wird durch zusammenpassende Würfeckenelementpaare gebildet, die im wesentlichen identisch zu jenen sind, die in Verbindung mit den **Fig. 1** und **2** oben beschrieben werden. Die Vektoren **156**, **160**, und **164** repräsentieren jeweils die Richtung der primären Rillen jedes Felds **154**, **158**, **162** von Würfeckenelementen. Entsprechend repräsentieren die Vektoren **157**, **161** und **165** jeweils die Richtung der primären Rille der Felder **155**, **159** und **163**. Obwohl es nicht notwendig ist, wird 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.

[0066] 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.

[0067] 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 wird zu erkennen sein, daß die Folie **150** eine größere oder kleinere Anzahl von Feldern enthalten könnte, um eine retroreflektierende Folie mit einer entsprechend größeren oder kleineren Anzahl ausgedehnter Ebenen der Einfallwinkligkeit zu erzeugen.

[0068] Wie oben in Verbindung mit Einzelfeld-Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung erläutert, müssen die Felder nicht präzise ausgerichtet sein, um die Vorteile der Erfindung zu erzielen. Für viele Anwendungen wird eine Anordnung der Würfeckenfelder innerhalb von etwa fünf Grad von der bevorzugten Orientierung ausreichen, um die erforderliche Helligkeit bei einem gegebenen Einfallswinkel zu erzeugen.

[0069] **Fig. 14** ist eine schematische Darstellung einer retroreflektierenden Folie **170**, die mehrere geflieste Felder rückwärts gekippter zusammenpassender Würfeckenelementpaare einsetzt, die ähnlich zu den in den **Fig. 1–2** dargestellten sind. Die in **Fig. 14** dargestellte Folie ist kommerziell von Stimsonite Corporation of Miles, 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 zusammenpassender Würfeckenelementpaare auf, die mit mehreren verschiedenen Orientierungen relativ zu einer Längskante **172** der Folie **170** angeordnet sind. Die Würfeckenfelder sind so orientiert, daß die primären Rillen 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.

[0070] 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 geflierten Folie, die in **Fig. 14** dargestellt wird. Diese Leistungssteigerung werden 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 Rillenausrichtungswinkel 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 die 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, von Woltman und Szczech, Transportation Research Record, 1213, Human Performance and Highway Visibility- Design Safety and Methods, Transportation Research Board, National Research Council, S. 21–26, (1989) gefunden werden.

[0071] 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 nahezu doppelt so hell im kritischen Bereich von Entfernungen, der sich von etwa 50 Meter bis etwa 150 Meter erstreckt.

[0072] 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 im US-Patent Nr. 3,684,348 gelehrt, oder indem ein vorgeformter Film über die Vorderseite einzeln geformter Elemente laminiert wird.

[0073] 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 werden. In dem Ausmaß, in dem die vorliegende Erfindung Gegenstände beschreibt, die neuartige strukturierte Flächengeometrien aufweisen, sind die Ansprüche der vorliegenden Erfindung dazu bestimmt, Kopien, Werkzeugbestückung und Formen abzudecken, die beim Herstellungsverfahren der retroreflektierenden Folie verwendet werden.

[0074] 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 durch Rohm and Haas Company hergestellt wird; Polycarbonate, die einen Brechungsindex von etwa 1,59 aufweisen; reaktive Materialien, wie im UK-Patent Nr. 2,027,441 und in den US-Patenten Nr. 4,576,850, 4,582,985 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 den Material(ien) bestehen; ein Polymermaterial, das aus der Gruppe ausgewählt wird, die besteht aus: Poly(carbonat), Poly(methylmethacrylat), Poly(ethylenterephthalat) und vernetzten Polymeren von multifunktionalen Acrylatmonomeren; auf Polyethylen beruhenden Ionomen, wie jenen, die unter dem Markennamen SURLYN durch E. I. DuPont de Nemours und Co., Inc. vermarktet werden; Polyester, Polyurethane und Zelluloseacetatbutyraten. 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 Trenn- oder schräg abgeschnit-

tenen Flächen Licht durch diese Abschnitte des Gegenstands oder der Folie durchlassen werden.

[0075] Der Einbau 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, werden niedrige Brechungsindizes des Gegenstands den Bereich des Lichts verbessern, das durch den Gegenstand durchgelassen wird. In diesen Anwendungen ist der vergrößerte Durchlaßbereich von Acryl (Brechungsindex von etwa 1,5) wünschenswert.

[0076] Bei vollständig retroreflektierenden Gegenständen werden 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 Indizes des Materials und Luft zu erhöhen, wodurch folglich die Retroreflexion erhöht wird. Polycarbonate werden im allgemeinen auch wegen ihrer Temperaturstabilität und Schlagzähigkeit bevorzugt.

[0077] Die Erfindung erwägt auch die Verwendung eines Gieß- und Härtungsherstellungsverfahrens, wobei die optischen Würfeckenelementgestaltungen verwendet werden, die darüber offenbart werden, 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 Würfeckenkomponente können die einzelnen Würfeckenelemente abhängig von der Zusammensetzung des Würfeckenmaterials ein bestimmtes Maß an Schrumpfung erfahren. Wenn das 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, mit einer sich ergebenden Verschlechterung der optischen Leistung. Wenn der Elastizitätsmodul des Überzugfilms 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.

[0078] Alternativ muß 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, muß die Differenz zwischen dem Elastizitätsmodul des Würfeckenelements und dem Überzugfilm nicht so groß sein, vermutlich weil die kleineren Würfeckenelemente während der Härtung keiner so großen Schrumpfung unterliegen, in absoluten Abmessungseinheiten gemessen, und der Überzugfilm nicht in einem so großen Ausmaß mit den Würfeckenelementen wie mit den größeren Würfeckenelementen auf die Erzeugung von Dreh- und Formspannungen hin wechselwirkt. Im allgemeinen ist es möglich festzustellen, daß die Moduldifferenz 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 für dieses Moduldifferenz 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.

[0079] Neben den Überlegungen, die den relativen Elastizitätsmodul zwischen den Würfeckenelementen und dem Überzugfilm betreffen, auf dem 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 die Anwendung einer elastischen Spannung auf die Überzug/Würfecken-Materialien vor der Verarbeitung erreicht werden, oder kann sich aus dem Verfahren ergeben, einfach die Materialien aus der Verarbeitungsvorrichtung zu entfernen. Dies stellt darin eine erhebliche Effizienz bei der Verarbeitung dar, daß merkliche Arbeitsgänge nach dem Gießen,

um festere Abquetschflächen zu breche, um denselben Effekt zu erzielen, überflüssig sind, mit resultierenden Einsparungen bei den Verarbeitungskosten.

[0080] 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 merkbare Vorteile aus dieser Entkopplung. Der erste davon ist die sehr hohe Flexibilität, die für die Materialien angestrebt wird. Die entkoppelten optischen Elemente sind nicht länger durch die Wirkung der Abquetschfläche mechanisch eingeschränkt, unabhängig von der Dicke der Abquetschfläche. Dies läßt eine merkliche Deformation des elastischen Überzug-/Würfecken-Kompositmaterials zu, während gleichzeitig eine im wesentlichen vollständige mechanische Erholung des Kompositmaterials nach der Deformation zugelassen wird. Auch macht es die Entkopplung der einzelnen Würfeckenelemente möglich, irgendwelche Deformationsspannungen zu isolieren, die auf das Kompositmaterial ausgeübt werden. 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 Würfecken-zusammensetzung ausgeübt wird, auf die angrenzenden Flächen übertragen werden, mit dem Ergebnis, daß ein merklicher Verlust der optischen Eigenschaften auf eine sehr viel größere Fläche des retroreflektierenden Materials ausgebreitet wird.

[0081] In einem anderen unähnlichen Verfahren zum Erzielen eines bestimmten Ausmaßes an Flexibilität in einem retroreflektierenden Gegenstand ist es der erste Schritt, 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 dem Basismaterial gegossen wird. Dann wird eine reflektierende Schicht auf den Würfeckenelementen durch Metallisieren oder andere Mittel gebildet. Es wird dann ein Substrat auf der reflektierenden Schichtseite der Würfeckenelemente befestigt. Die Folie des Basismaterials wird entfernt, wobei ein freigelegtes Feld von verhältnismäßig frei stehenden Würfeckenelementen hinterlassen wird, die auf dem Substrat gebildet worden sind.

[0082] Eine geeignete Trägerschicht kann aus irgendeinem transparenten oder lichtundurchlässigen Material bestehen, einschließlich farbigen oder nicht farbigen Material, 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 weite Vielfalt von Laminaten, die aus diesen und anderen Materialien bestehen.

[0083] Die Trägerschicht oder Folie kann mit den reflektierenden Würfeckenelemente in einem Gittermuster oder in irgendeiner 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-Pat. 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 vorteilhaft sein, die verhältnismäßig lange schmale Streifen retroreflektierender Folie benötigen.

[0084] Wenn zusätzliche Festigkeit oder Zähigkeit im Verbundstoff erforderlich ist, können Trägerfolien aus Polycarbonat, Polybutyrat oder faserverstärkten Kunststoff verwendet werden. Abhängig von 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 irgendein Substrat nutzbar zu machen, ohne den zusätzlichen Schritt, ein Klebemittel aufzubringen oder andere Befestigungseinrichtungen zu verwenden.

[0085] Während es in Verbindung mit allen Ausführungsformen, die oben erläutert werden, nicht spezifisch offenbart wird, werden verschiedene Modifikationen oder Kombination, die vorhandene Merkmale der retroreflektierenden Würfeckentechnik enthalten, durch die vorliegende Erfindung erwogen. Zum Beispiel wäre es für einen üblichen Fachmann offensichtlich, eine Trennfläche in den Rillen 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 wird ein üblicher Fachmann erkennen, daß die Raumwinkel zwischen angrenzenden Würfeckenelementen variiert werden können, wie im US-Pat. Nr. 4,775,219 von Appleton offenbart. Produkte, die solche offensichtlichen Modifikationen oder Kombinationen enthalten, werden so betrachtet, daß sie im Rahmen der vorliegenden Erfindung liegen.

Beispiel I

[0086] Dieses Beispiel veranschaulicht den Winkelbereich des Würfeckenelementkippens, der zu einem gewünschten Winkelabweichungsbetrag zwischen einer Ebene, in der die optischen Achsen der Würfecken-

elemente gekippt werden, und einer Ebene der weitest ausgedehnten Einfallwinkligkeit führen. Die **Fig. 16A** bis **16J** sind Kurven gleicher Helligkeit, die die vorhergesagte Retroreflexionsleistung eines zusammenpassenden Würfeckenelementpaars darstellen, wie in dem **Fig. 1–2** dargestellt. Die unter Bezugnahme auf die **Fig. 16A** bis **16J** beschriebenen Beispiele bilden keinen Teil der vorliegenden Erfindung. Im allgemeinen demonstrieren die **Fig. 16A** bis **16E** die zunehmende Winkelverschiebung der weitest ausgedehnten Ebenen der Einfallwinkligkeit von der Ebene, in der die Würfeckenelemente gekippt sind, wenn die Elemente um einen zunehmenden Kippwinkel bis zu einem Kippwinkel gekippt werden, der zu einem 65-65-50-Basisdreieck führt. Danach führt eine Zunahme des Kippwinkels gegenüberliegender Würfeckenelemente zu einer abnehmenden Winkelverschiebung zwischen den ausgedehnten Ebenen der Einfallwinkligkeit und der Ebene, in der die Würfeckenelemente gekippt sind.

[0087] **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 Würfeckenelement mit gleichseitigem Basisdreieck ergibt. Die **Fig. 16B** bis **16J** veranschaulichen die Verzerrung des Musters gleicher Helligkeit eines zusammenpassenden Würfeckenelementpaars, wenn die gegenüberliegenden Würfeckenelemente um einen zunehmenden Kippwinkel gekippt werden. Die gegenüberliegenden Würfeckenelemente werden in einer Ebene gekippt, die sich horizontal durch die graphische Darstellung gleicher Helligkeit erstreckt. **Fig. 16B** stellt eine Kippung 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 Kippung 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 Kippung 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 Kippung 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 Kippung um 10,15 Grad dar, die ein gleichschenkeliges Basisdreieck ergibt, das eingeschlossene Winkel aufweist, die annähernd 67 Grad, 67 Grad und 46 Grad messen.

[0088] Eine Untersuchung dieser Abfolge graphischer Darstellungen gleicher Helligkeit veranschaulicht die zunehmende Winkelverschiebung der weitest ausgedehnten Ebenen der Einfallwinkligkeit von der Ebene, in die die gegenüberliegenden Würfeckenelemente gekippt sind.

[0089] Die restlichen graphischen Darstellungen gleicher Helligkeit veranschaulichen die abnehmende Winkelabweichung zwischen der weitest ausgedehnten Ebene der Einfallwinkligkeit und der Ebene, in der die gegenüberliegenden Würfeckenelemente gekippt sind. **Fig. 16G** stellt eine Kippung 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 Kippung 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 Kippung 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 Kippung um 19,72 Grad dar, die ein gleichschenkeliges Basisdreieck ergibt, das eingeschlossene Winkel aufweist, die annähernd 75 Grad, 75 Grad und 30 Grad messen.

[0090] Diese Reihe graphischer Darstellungen gleicher Helligkeit demonstriert, daß wenn gegenüberliegende Würfeckenelemente um zunehmende Kippwinkel bis zu etwa 12 Grad gekippt werden, sich die Einfallwinkligkeit 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 gekippt sind. Weiteres Kippen erhöht die Einfallwinkligkeit in diesen Ebenen und vermindert die Einfallwinkligkeit in einer Ebene, die im wesentlichen mit der Kippungsebene zusammenfällt. Während der optimale Betrag des Kippens annähernd 7,47 Grad zu sein scheint, der einem 65-65-50-Basisdreieck entspricht, wird erkannt werden, daß ein Kippwinkelbereich, 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 Einfallwinkligkeit aufweist, die annähernd senkrecht zueinander orientiert sind.

Patentansprüche

1. Retroreflektierender Würfeckengegenstand mit: einem Substrat, das eine Basisfläche aufweist, die in einer Basisebene angeordnet ist; und einer strukturierten Fläche (**100, 120**), die von der Basisfläche versetzt ist und ein Feld zusammenpassender Würfeckenelementpaare aufweist, die durch drei sich schneidende Sätze von im wesentlichen parallelen Rillen (**102, 104, 106; 122, 124, 126**) gebildet werden, **dadurch gekennzeichnet**, daß:

(a) sich nur zwei Rillensätze (**104, 106; 124, 126**) unter

– einem Winkel schneiden, der kleiner als 60 Grad ist; und

(b) mehrere Würfeckenelemente im Feld ein Basisdreieck aufweisen, das durch eine Rille aus jedem der drei

sich schneidenden Rillensätze (**102, 104, 106; 122, 124, 126**) begrenzt wird, wobei das Basisdreieck schiefwinklig ist.

2. Würfeckengegenstand nach Anspruch 1, wobei: angrenzende Rillen in einem Rillensatz durch einen Abstand getrennt sind, der weniger als 600 Mikrometer mißt.

3. Würfeckengegenstand nach Anspruch 1, wobei: mindestens eine Rille in mindestens einem Rillensatz eine Trennfläche aufweist.

4. Würfeckengegenstand nach Anspruch 1, wobei: der Gegenstand eine retroreflektierende Folie aufweist;
und
ein Abschnitt des Gegenstands mit einer spiegelnd reflektierenden Substanz beschichtet ist.

5. Dünne flexible retroreflektierende Folie, die aus einem im wesentlichen optisch transparenten Material besteht, mit:

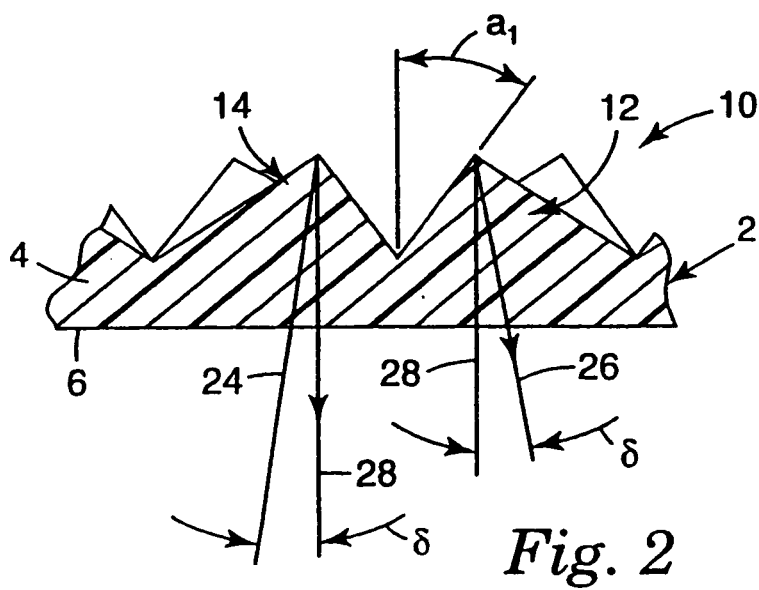
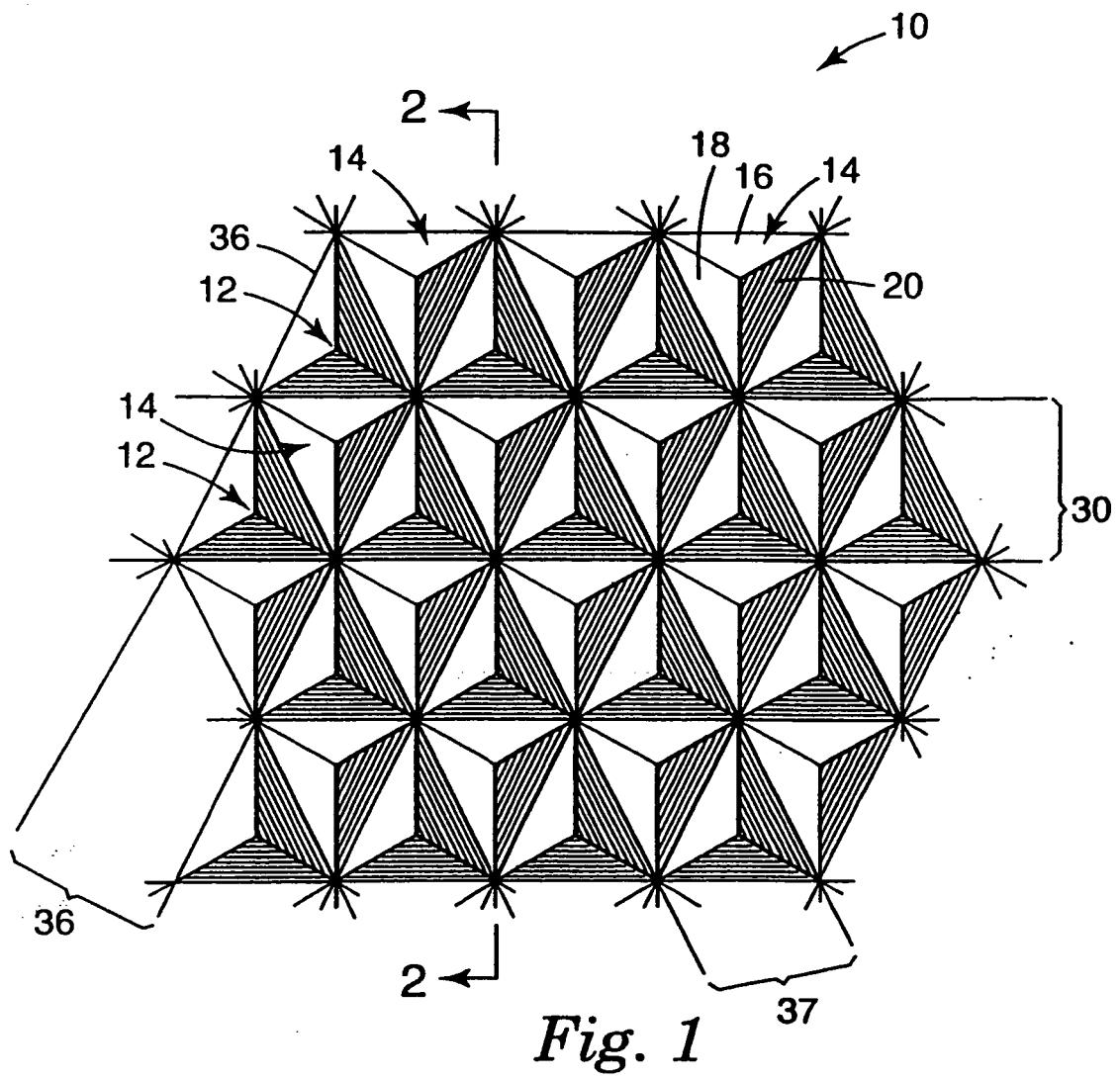
einem Substrat, das eine Basisfläche aufweist, die in einer Basisebene angeordnet ist, einer strukturierten Fläche (**100, 120**), die von der Basisfläche versetzt ist und ein Feld gekippter zusammenpassender Würfeckenelementpaare aufweist, die durch drei sich gegenseitig schneidende Sätze von im wesentlichen parallelen Rillen (**102, 104, 106; 122, 124, 126**) gebildet werden, wobei jedes zusammenpassende Paar ein erstes Würfeckenelement und ein optisch gegenüberliegendes zweites Würfeckenelement aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß:

(a) die Symmetrieachsen mehrerer Würfeckenelemente im Feld in einer ersten Ebene gekippt sind;
(b) mehrere Würfeckenelemente im Feld ein Basisdreieck aufweisen, das durch eine Rille aus jedem der drei sich schneidenden Rillensätze begrenzt wird, wobei das Basisdreieck schiefwinklig ist; und
(c) die Folie ihren weitest ausgedehnten Einfallwinkligkeitsbereich in einer zweiten Ebene zeigt, die von der ersten Ebene winklig versetzt ist.

6. Retroreflektierende Folie nach Anspruch 5, wobei: die Würfeckenelemente so orientiert sind, daß die zweite Ebene eine Kante des Gegenstands unter einem Winkel schneidet, der kleiner als 15° ist.

7. Retroreflektierende Folie nach Anspruch 5, wobei die Folie einen im wesentlichen ähnlich ausgedehnten Einfallwinkligkeitsbereich in einer dritten Ebene zeigt; und die dritte Ebene die zweite Ebene unter einem Winkel zwischen 75° und 90° schneidet.

Es folgen 22 Blatt Zeichnungen



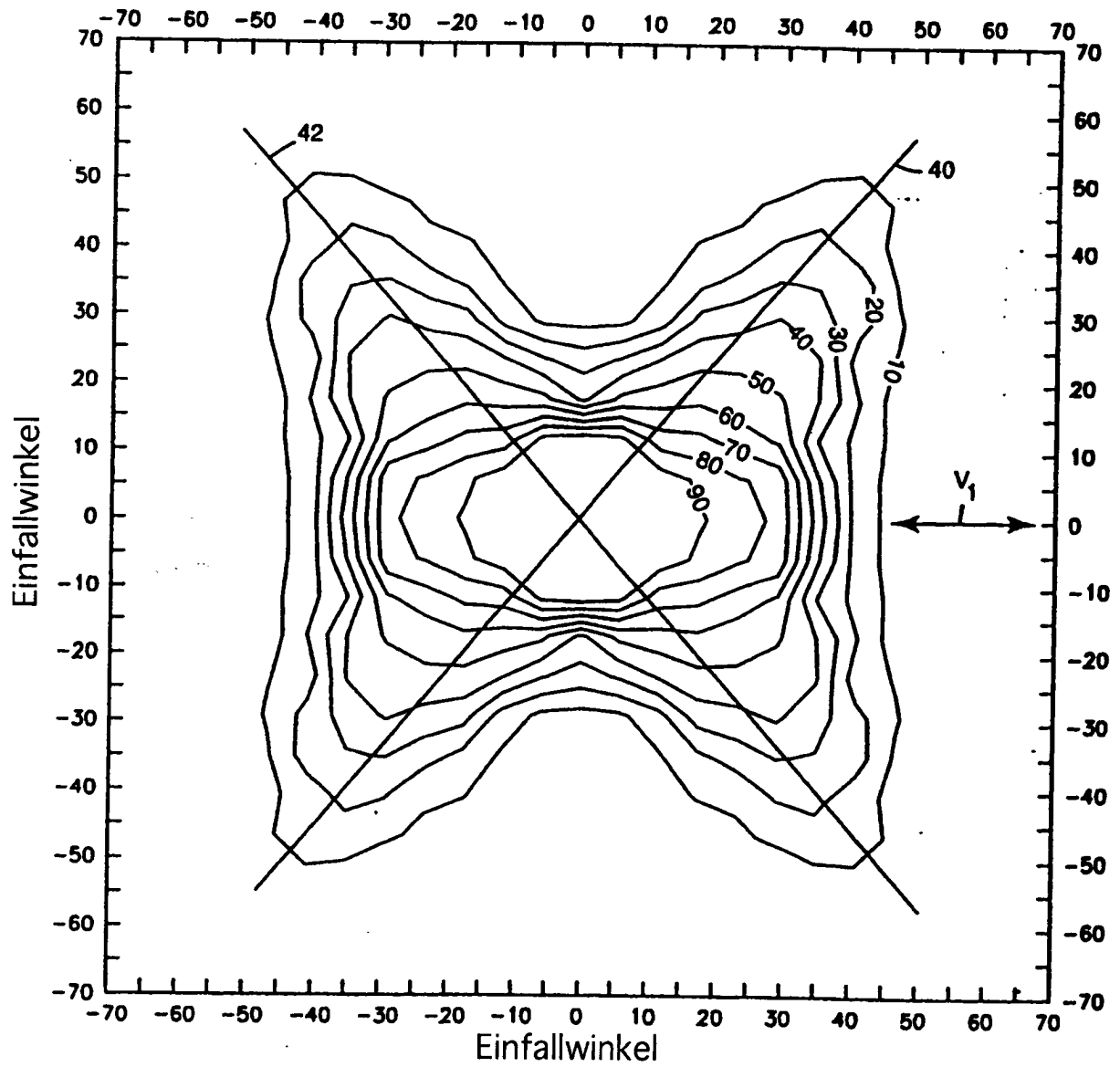
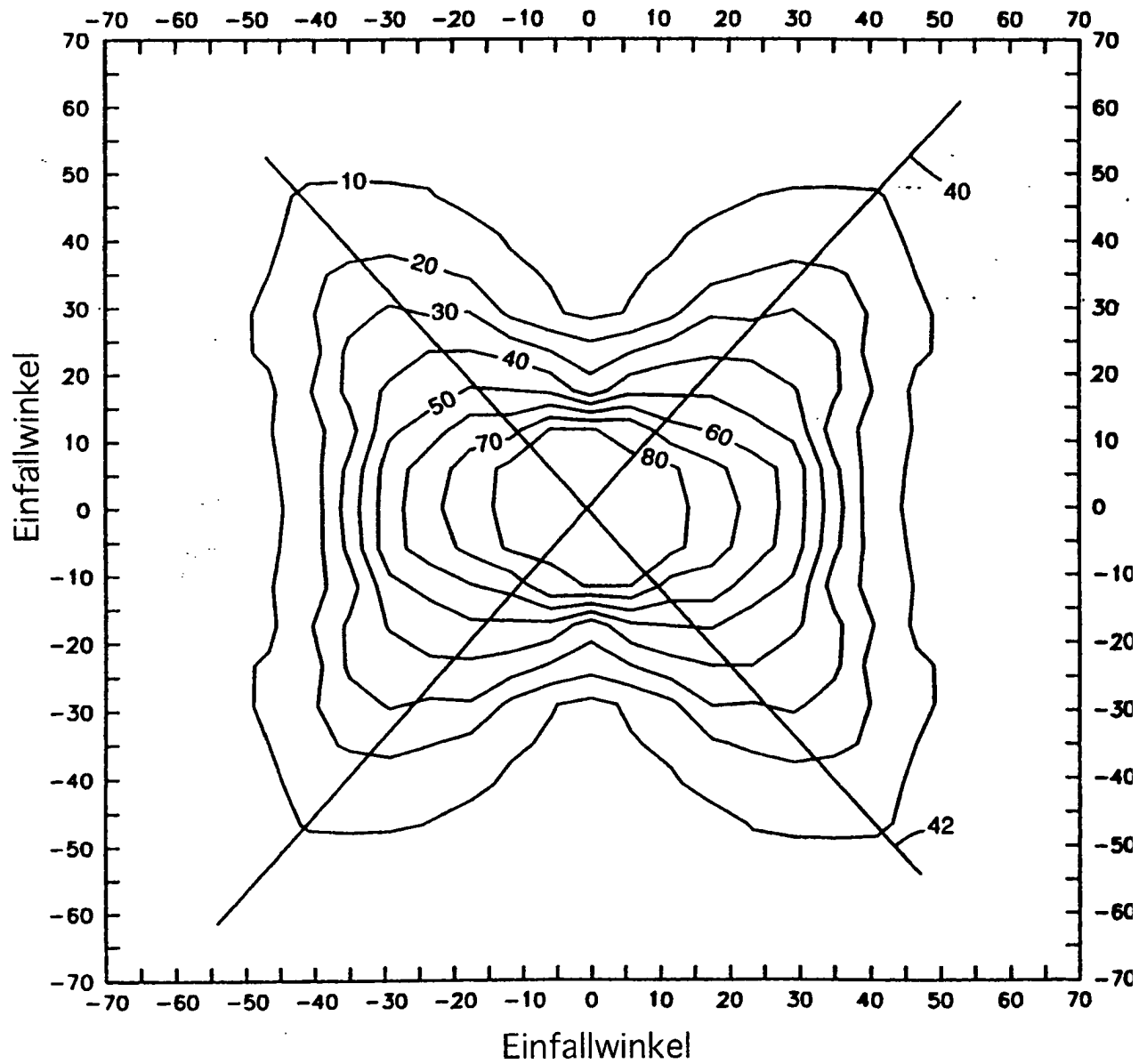
*Fig.3*

Fig.4

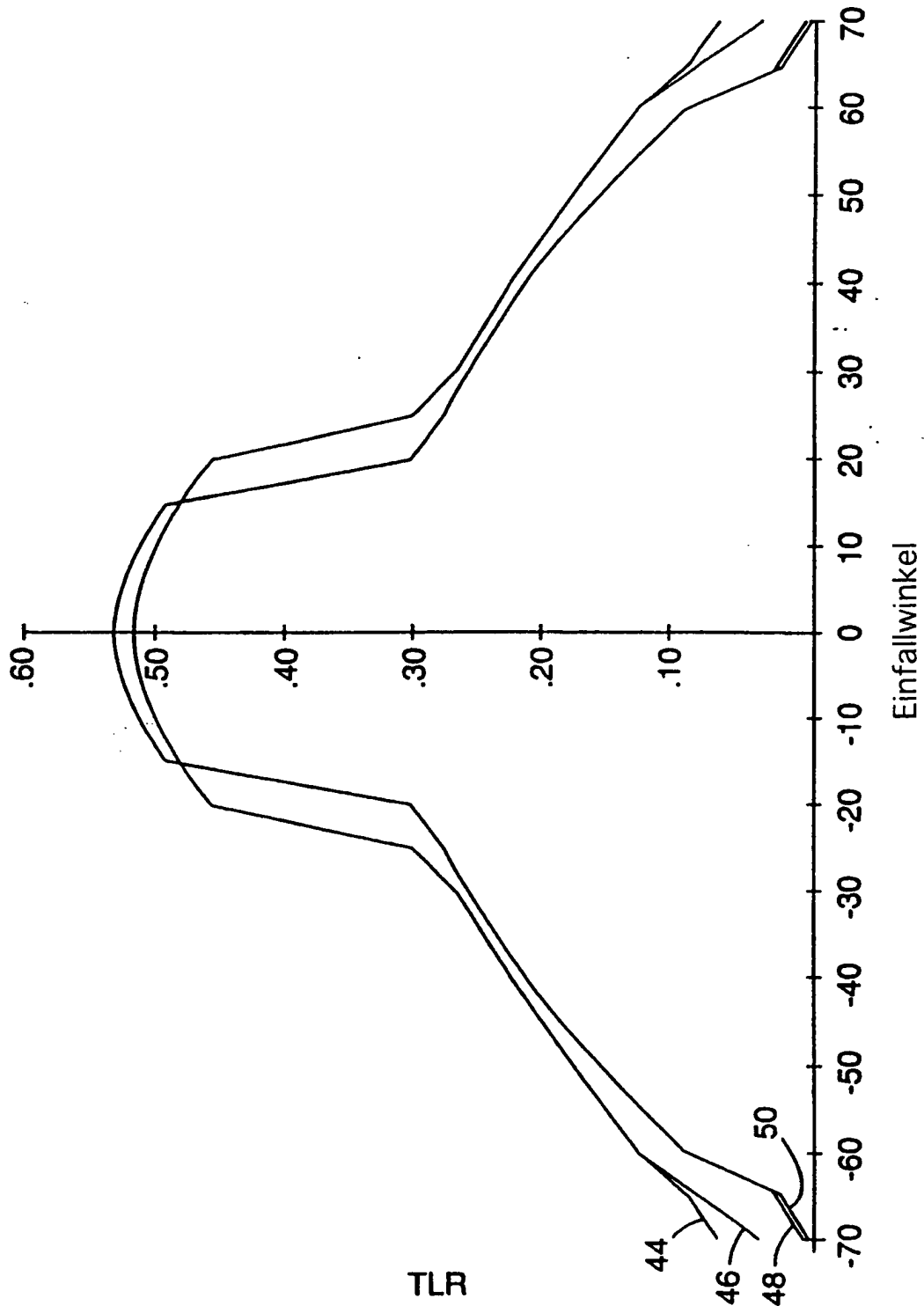


Fig. 5

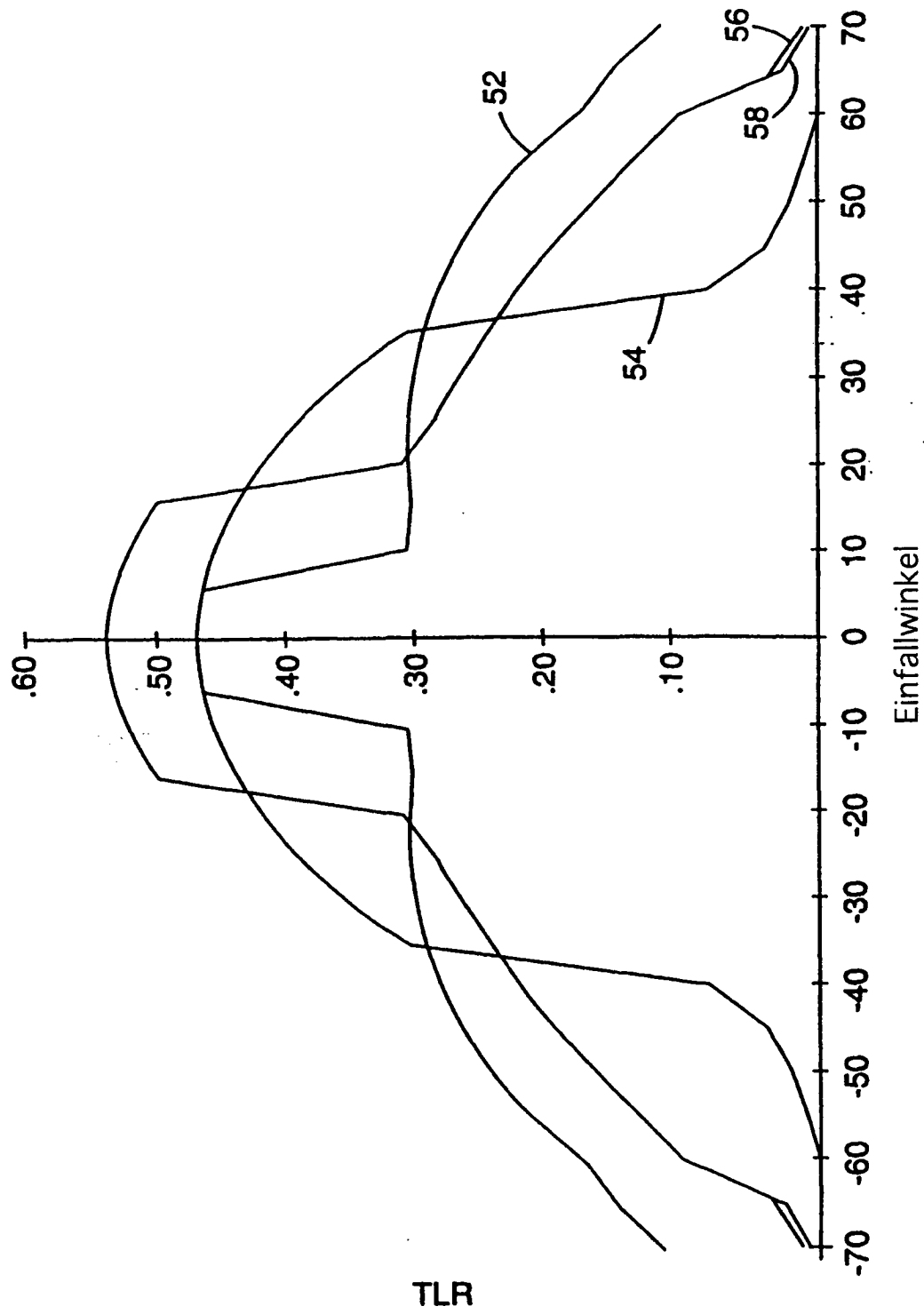
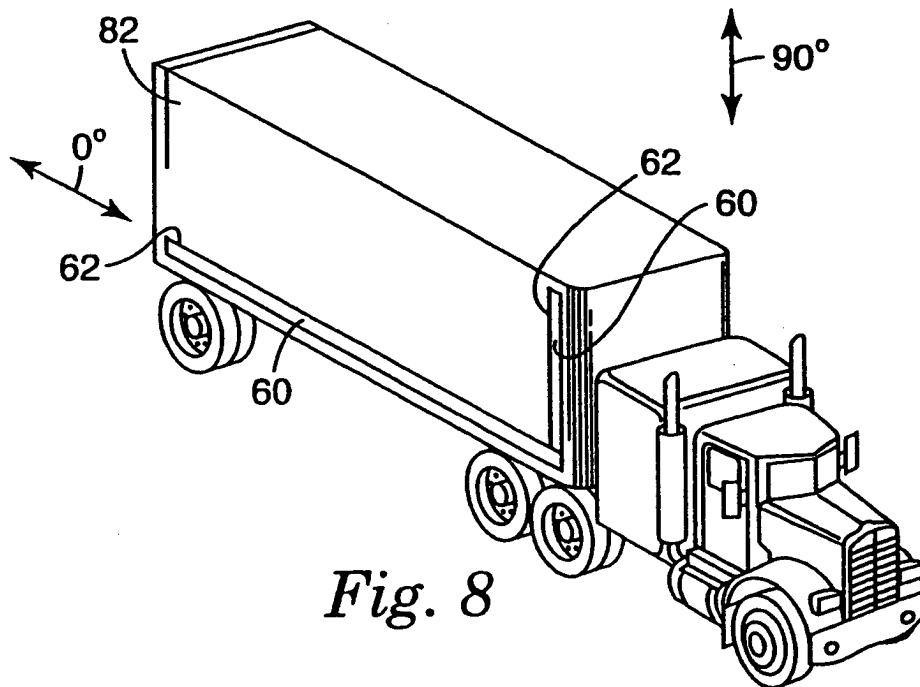
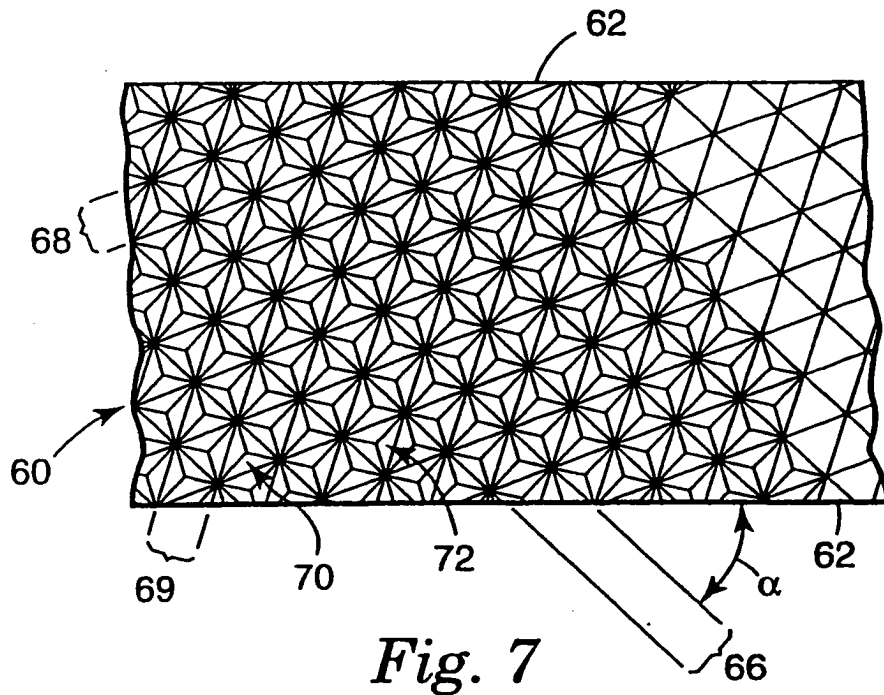


Fig. 6



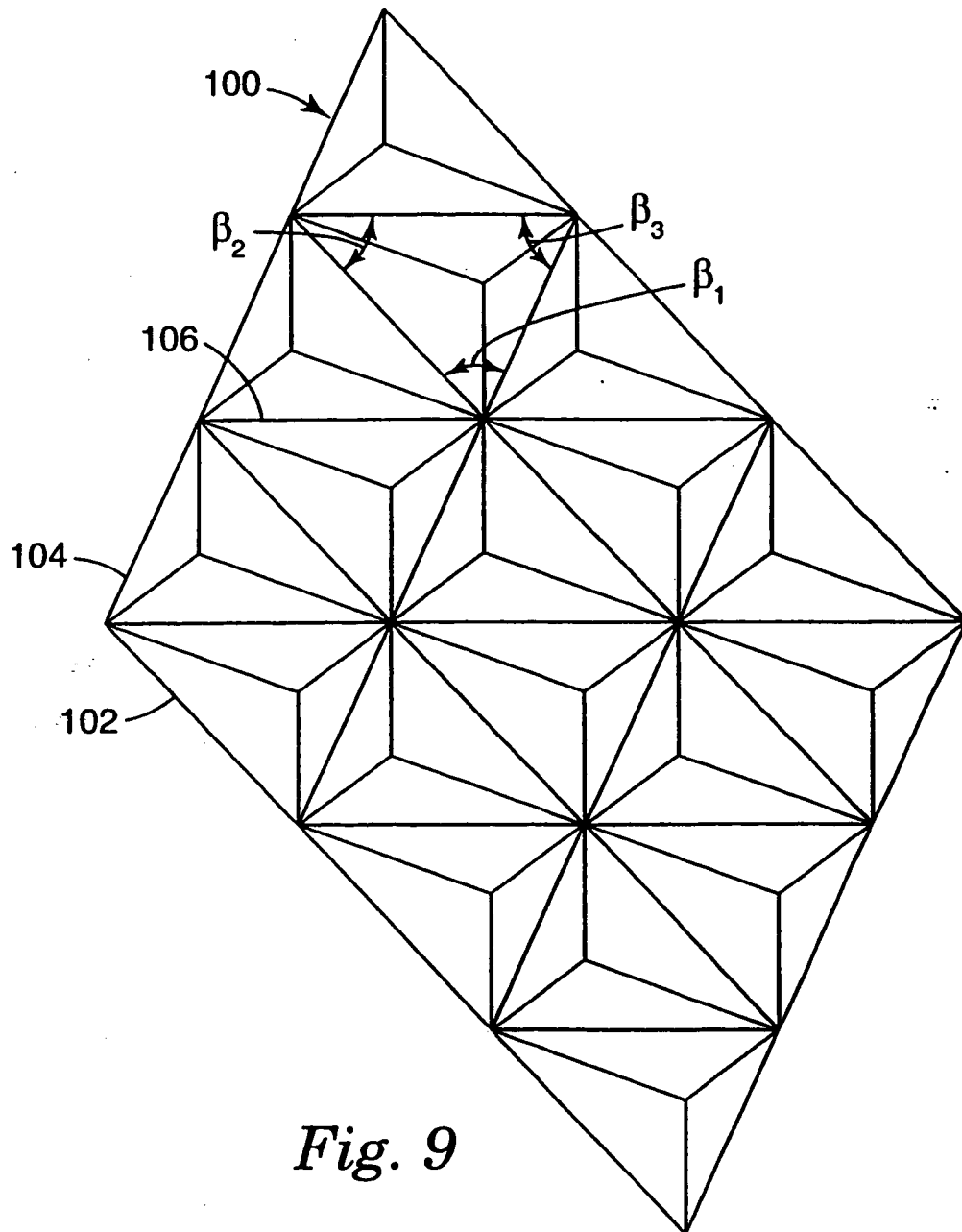
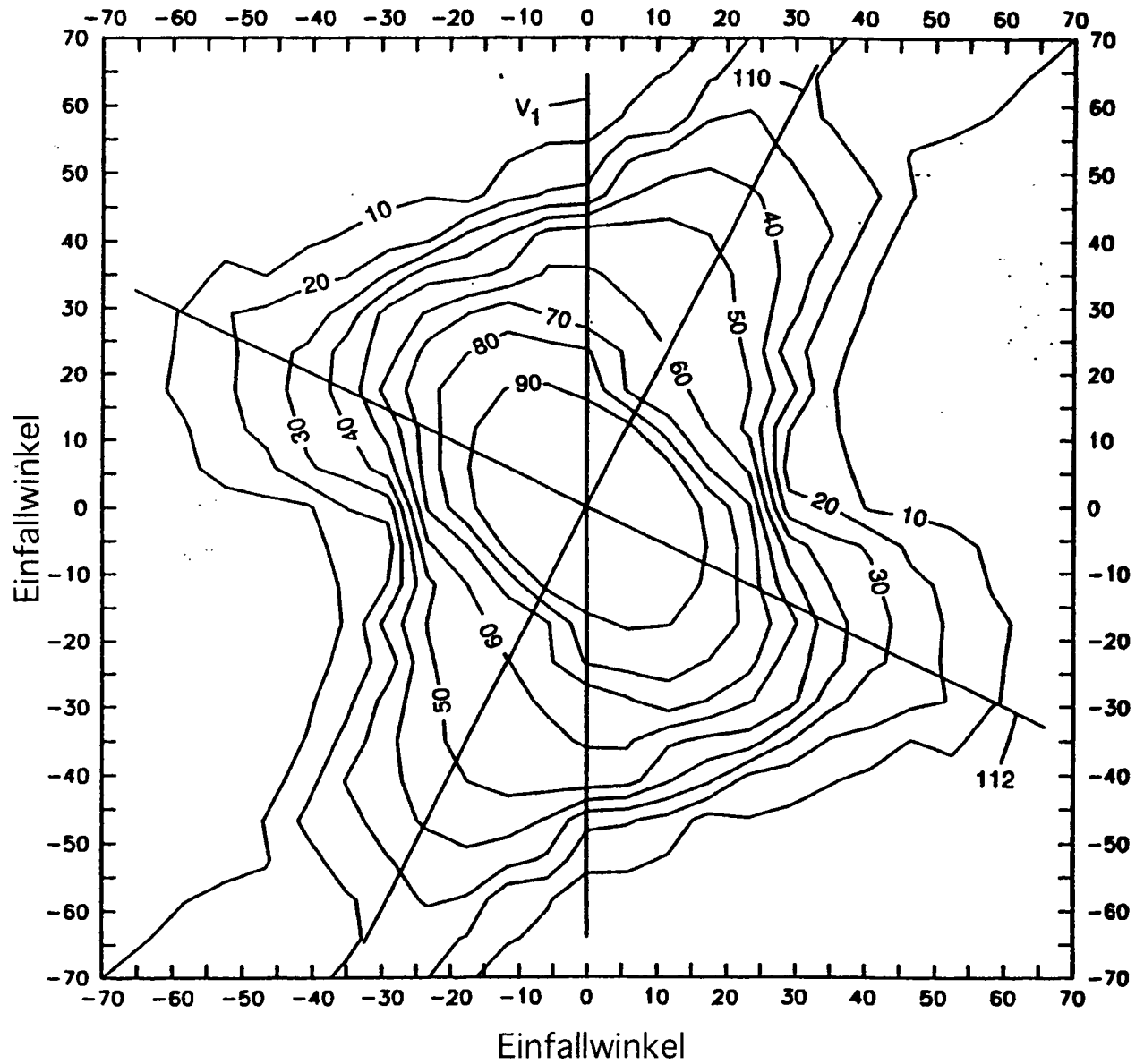


Fig. 9

Fig.10

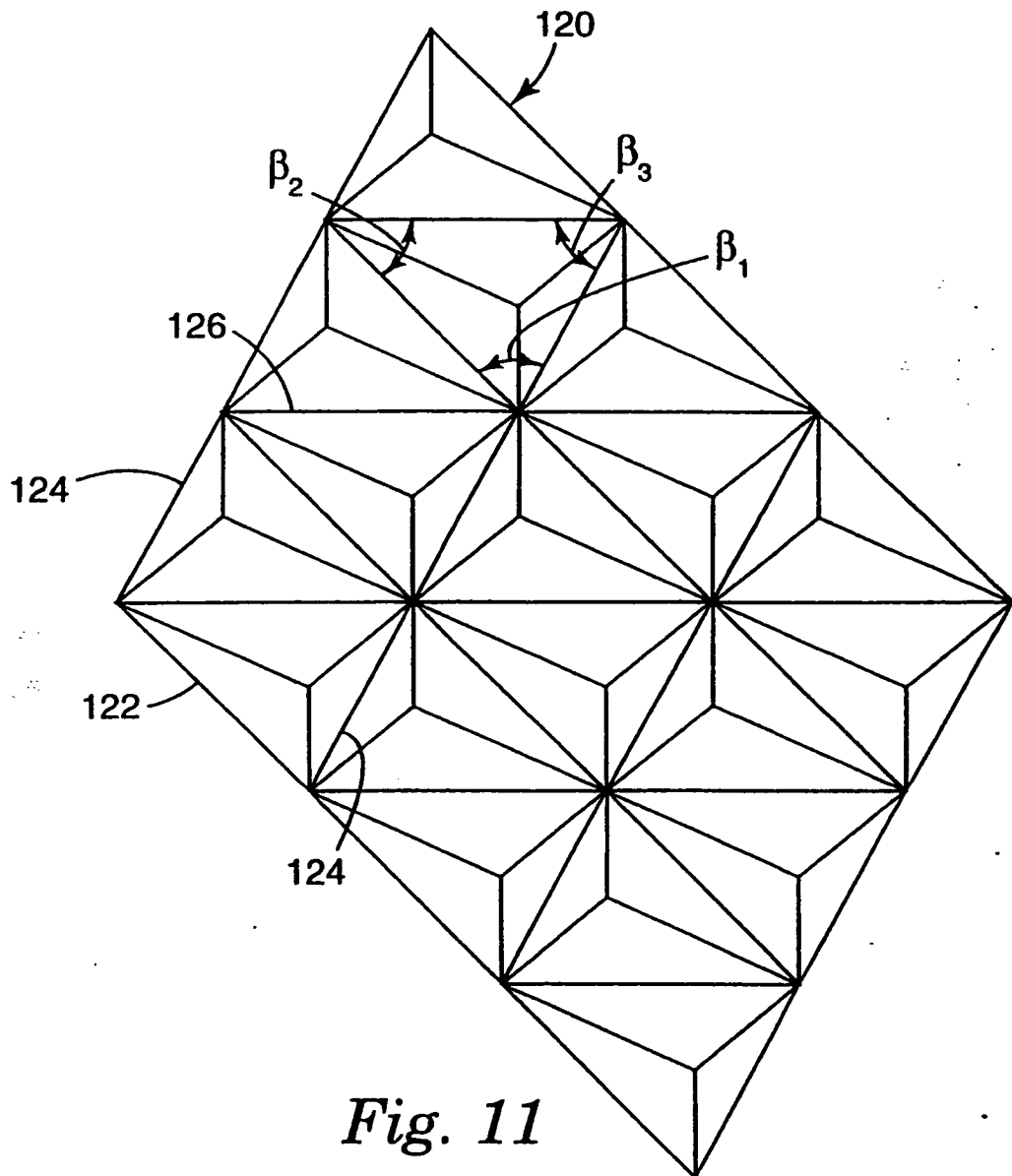
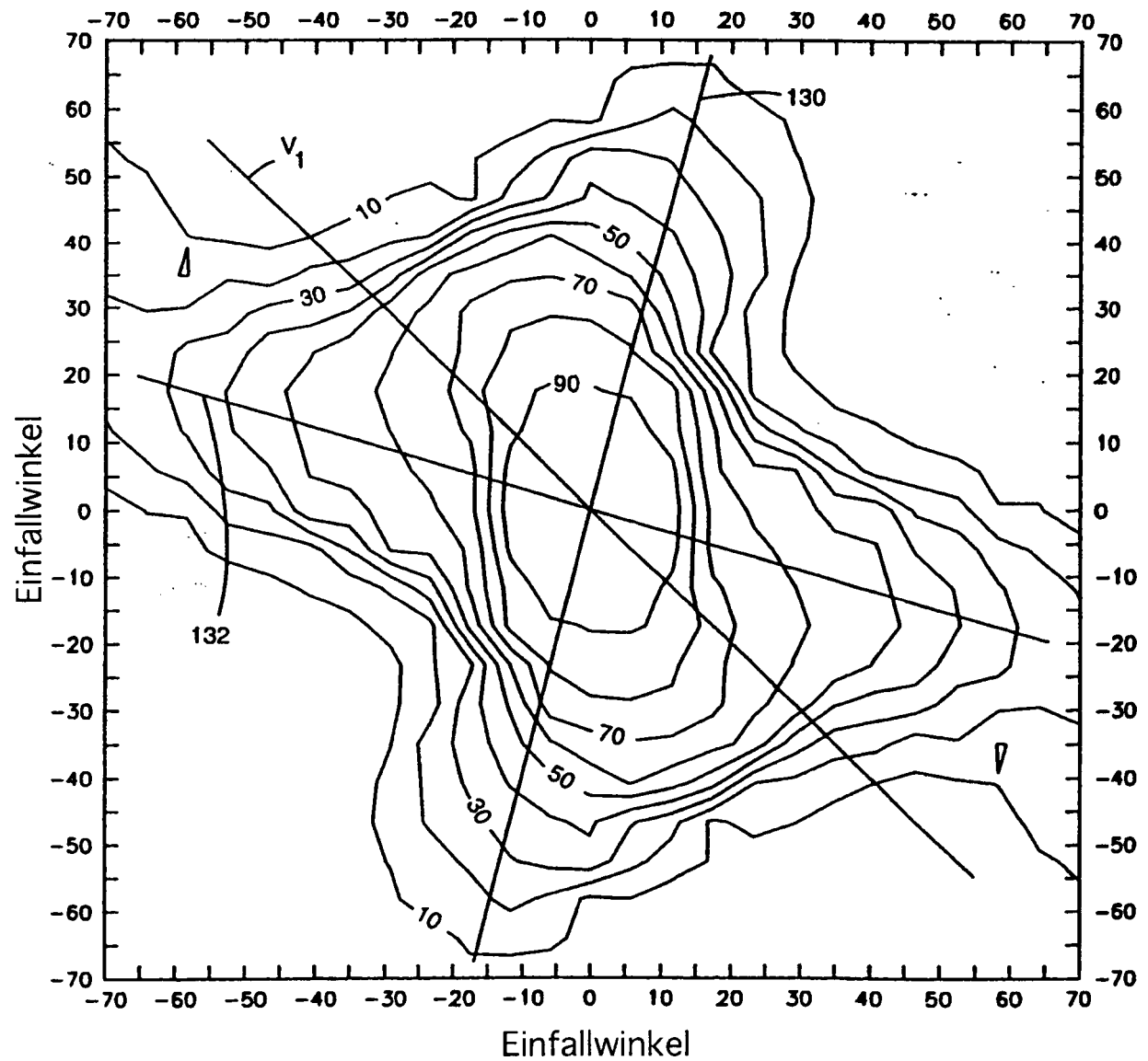


Fig.12

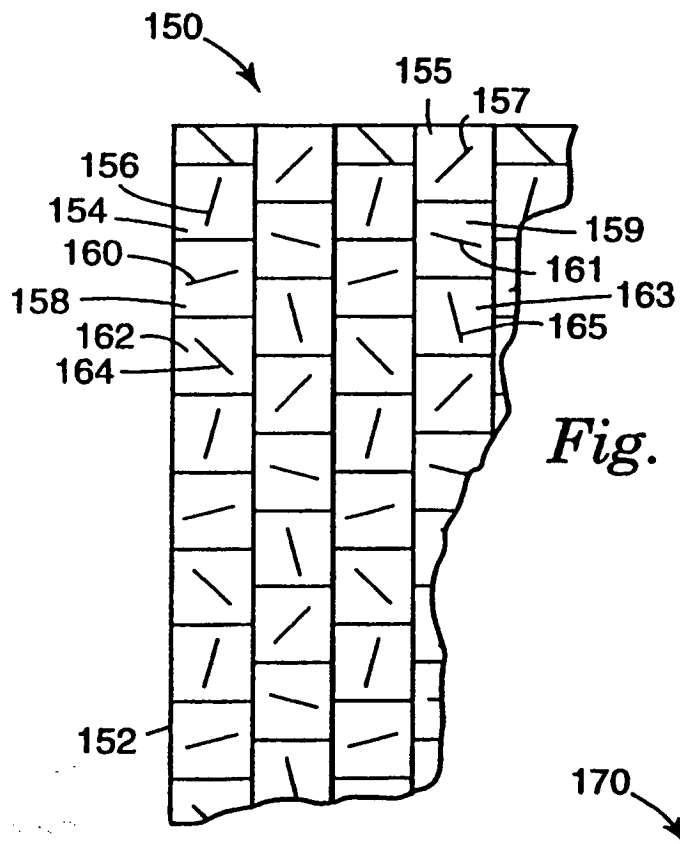


Fig. 13

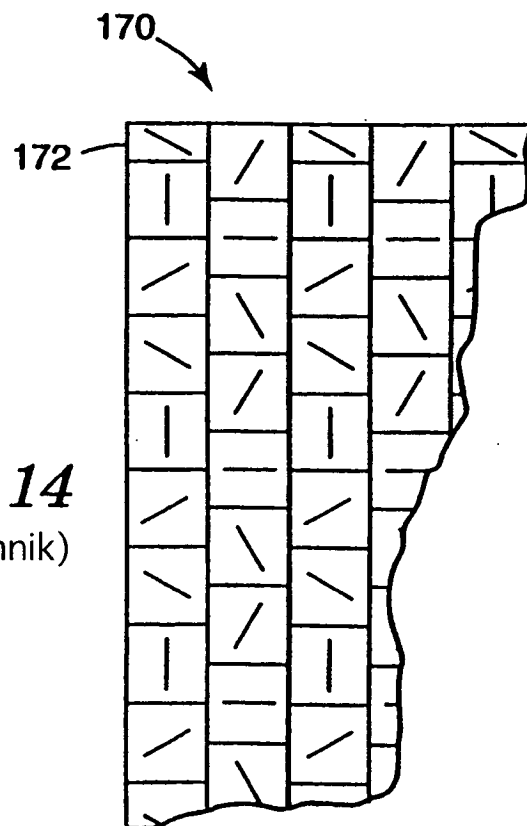


Fig. 14
(Stand der Technik)

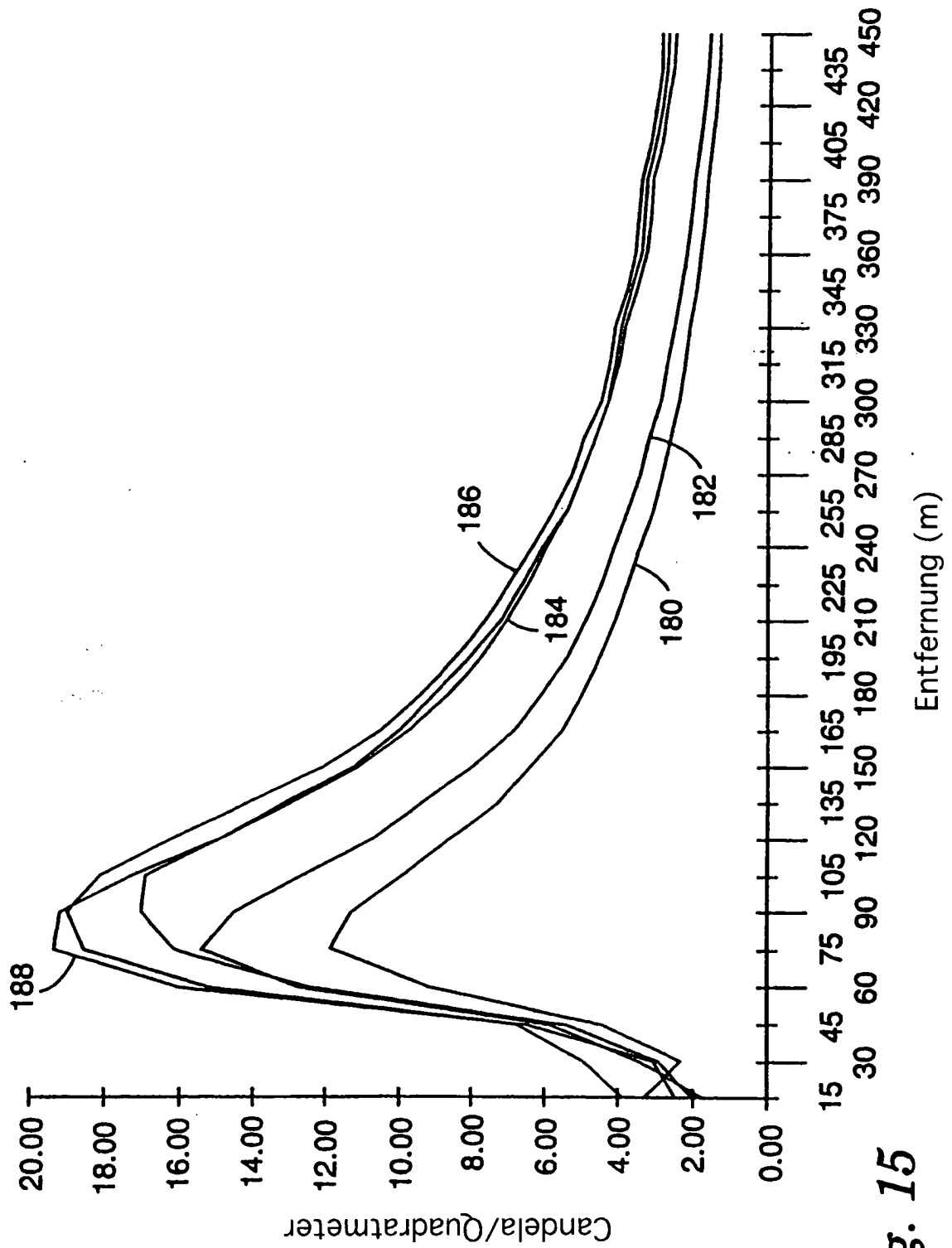


Fig. 15

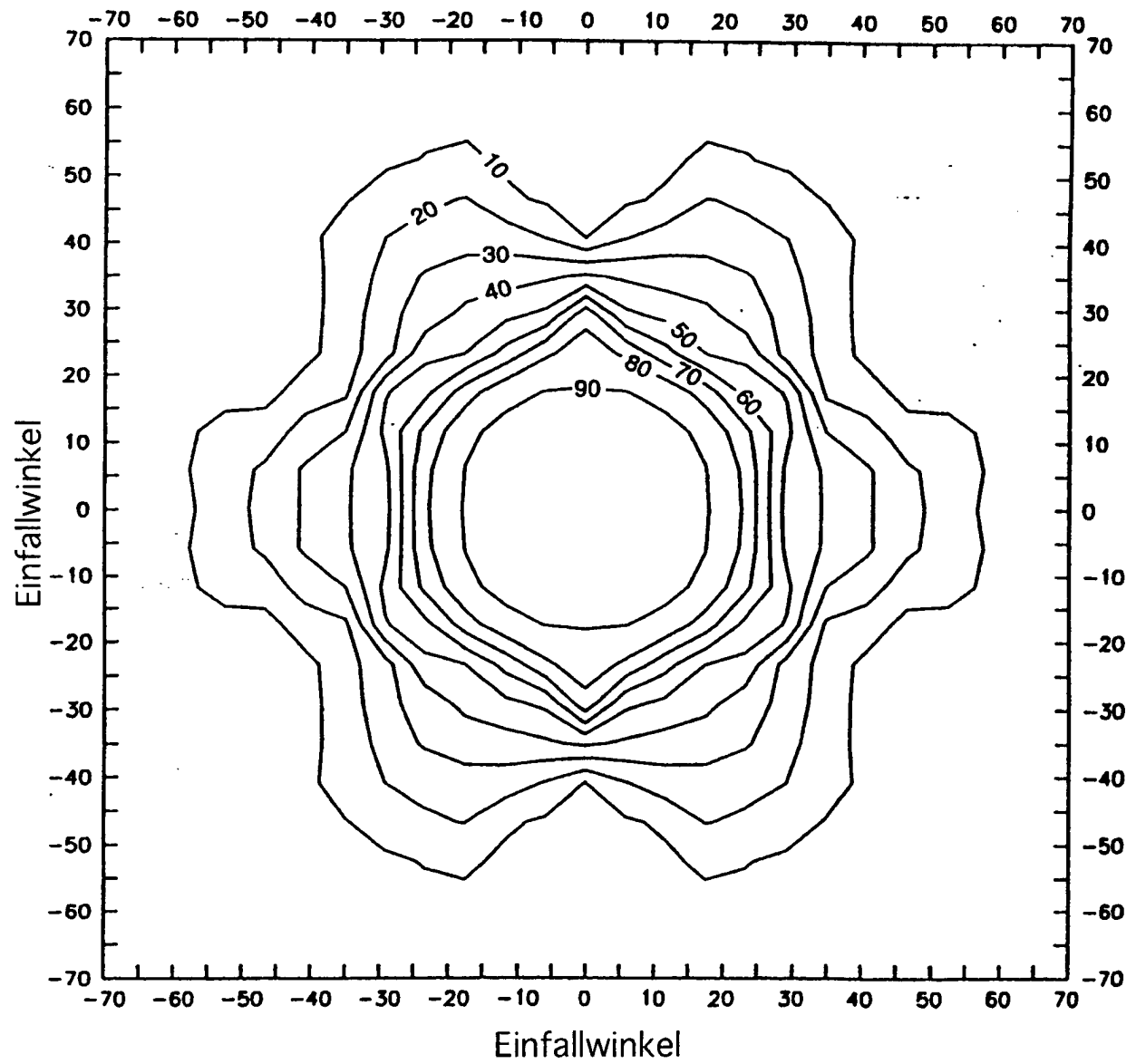
Fig.16A

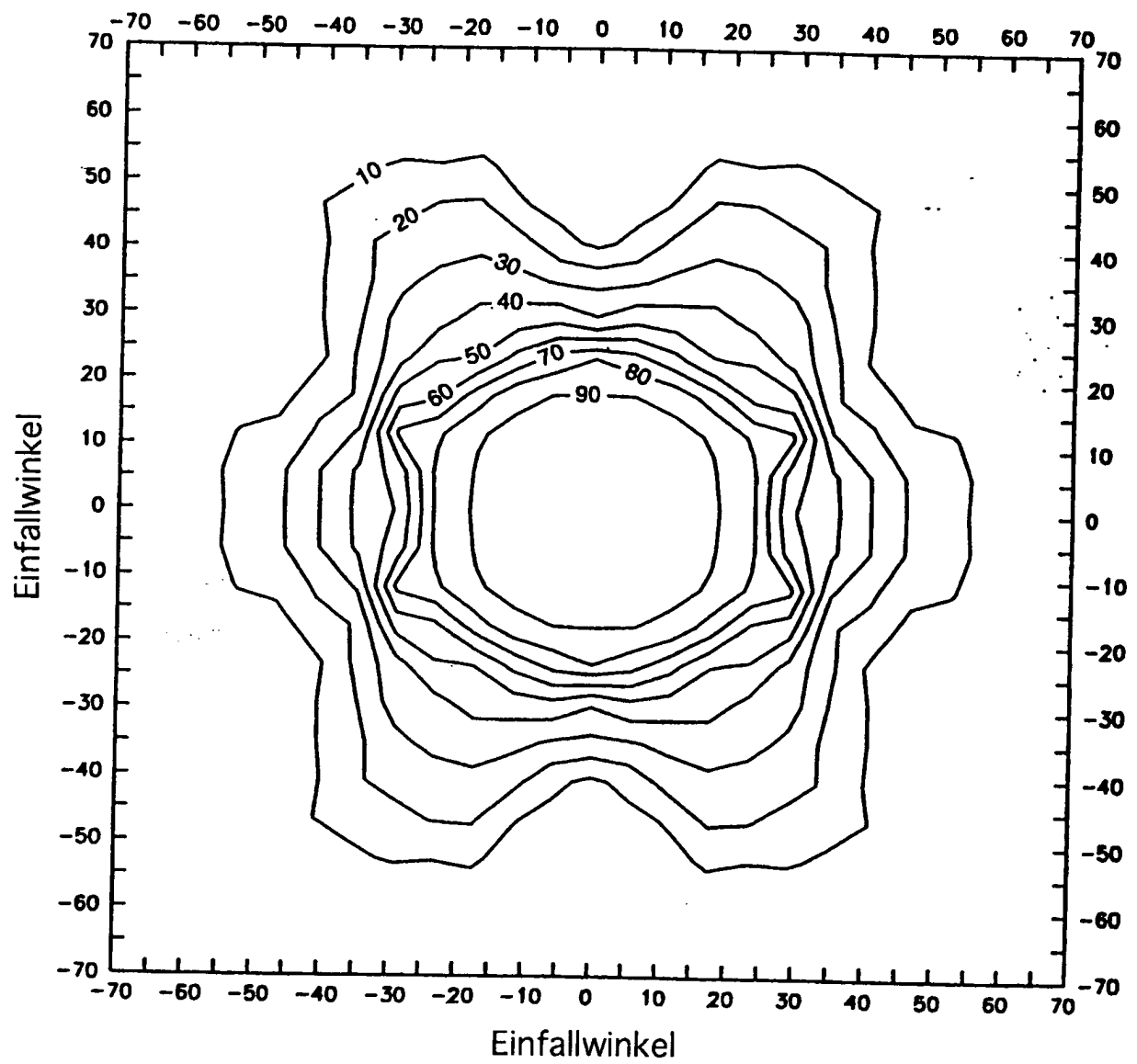
Fig.16B

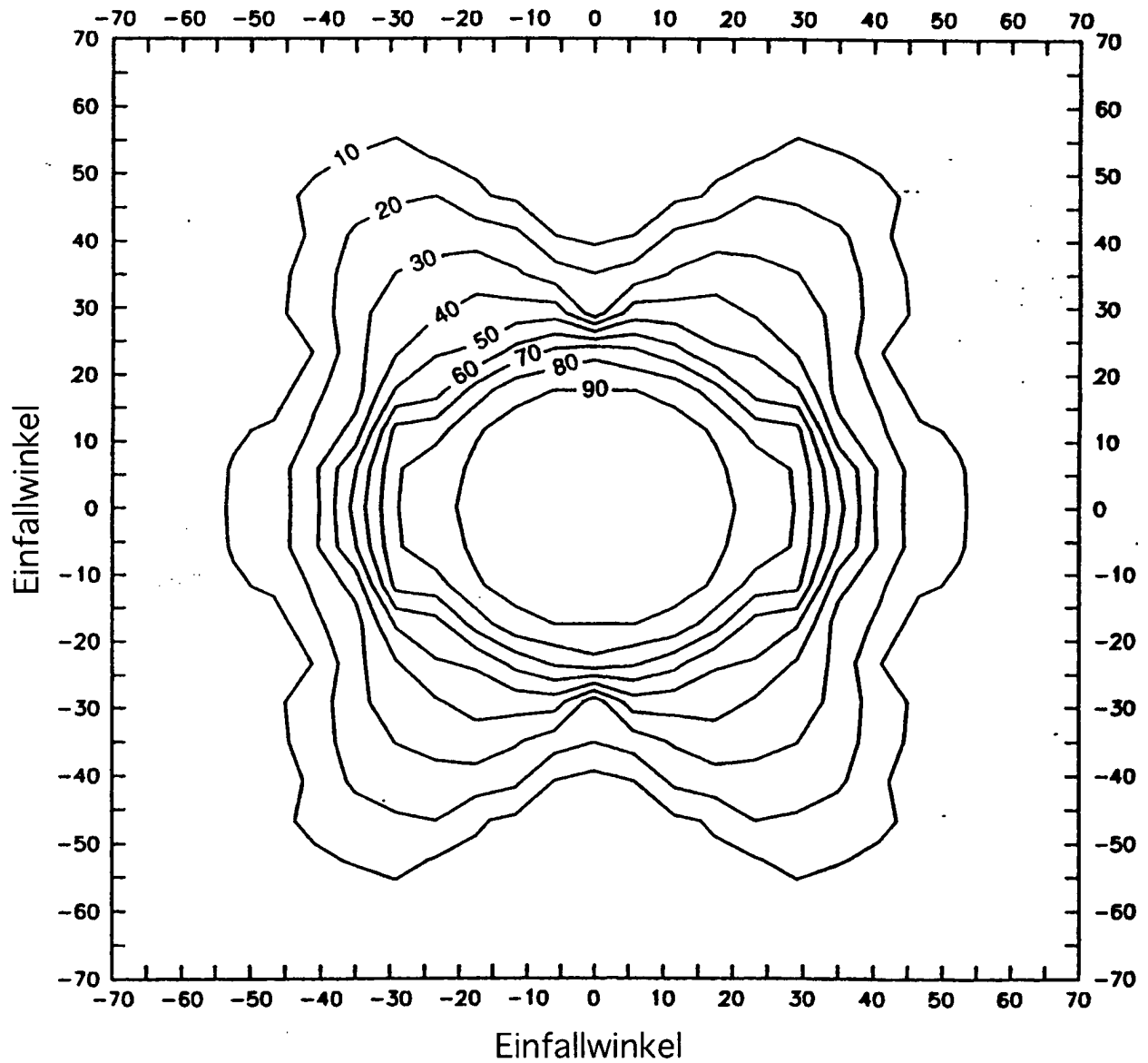
Fig.16C

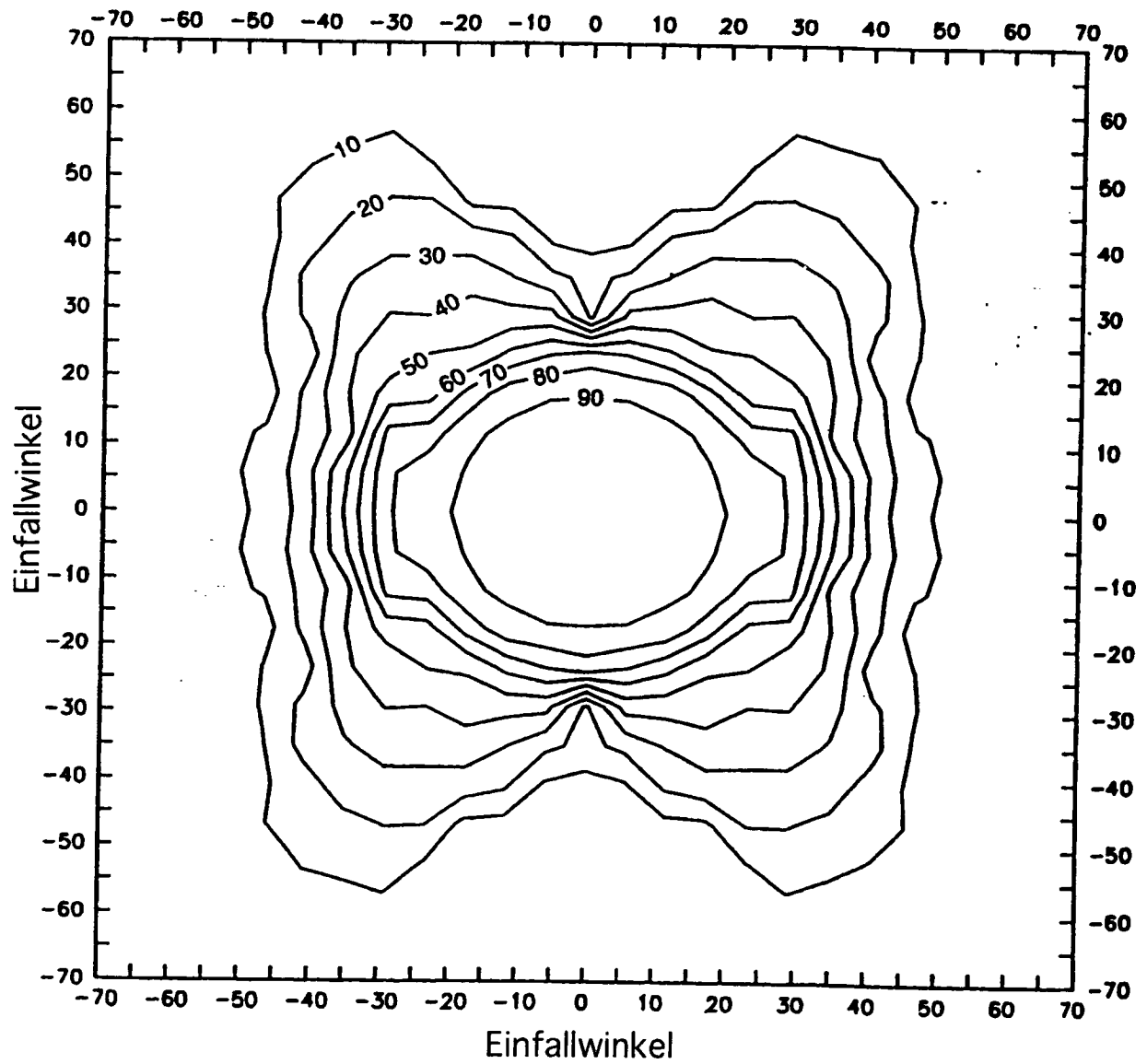
Fig.16D

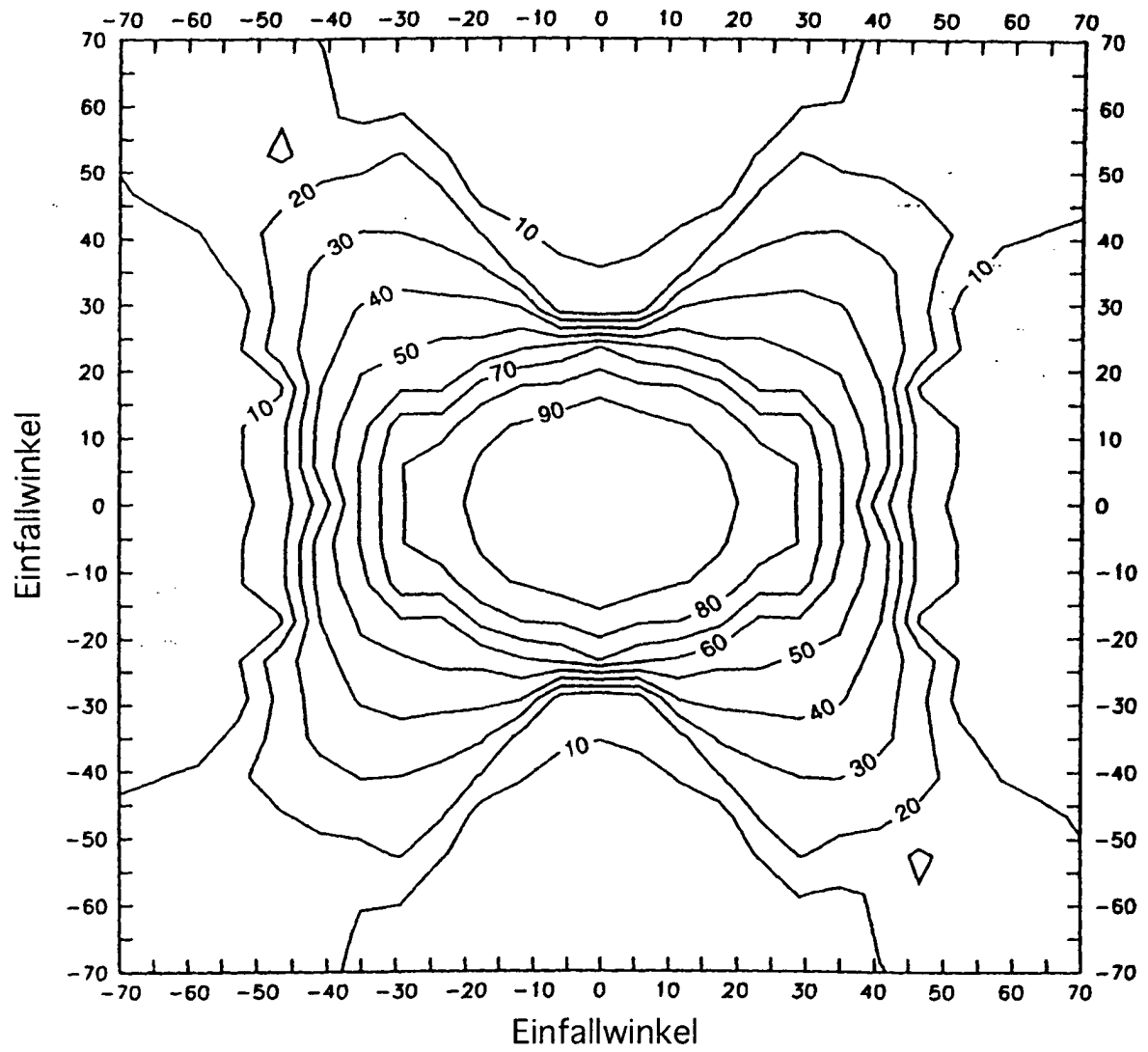
Fig. 16E

Fig. 16F

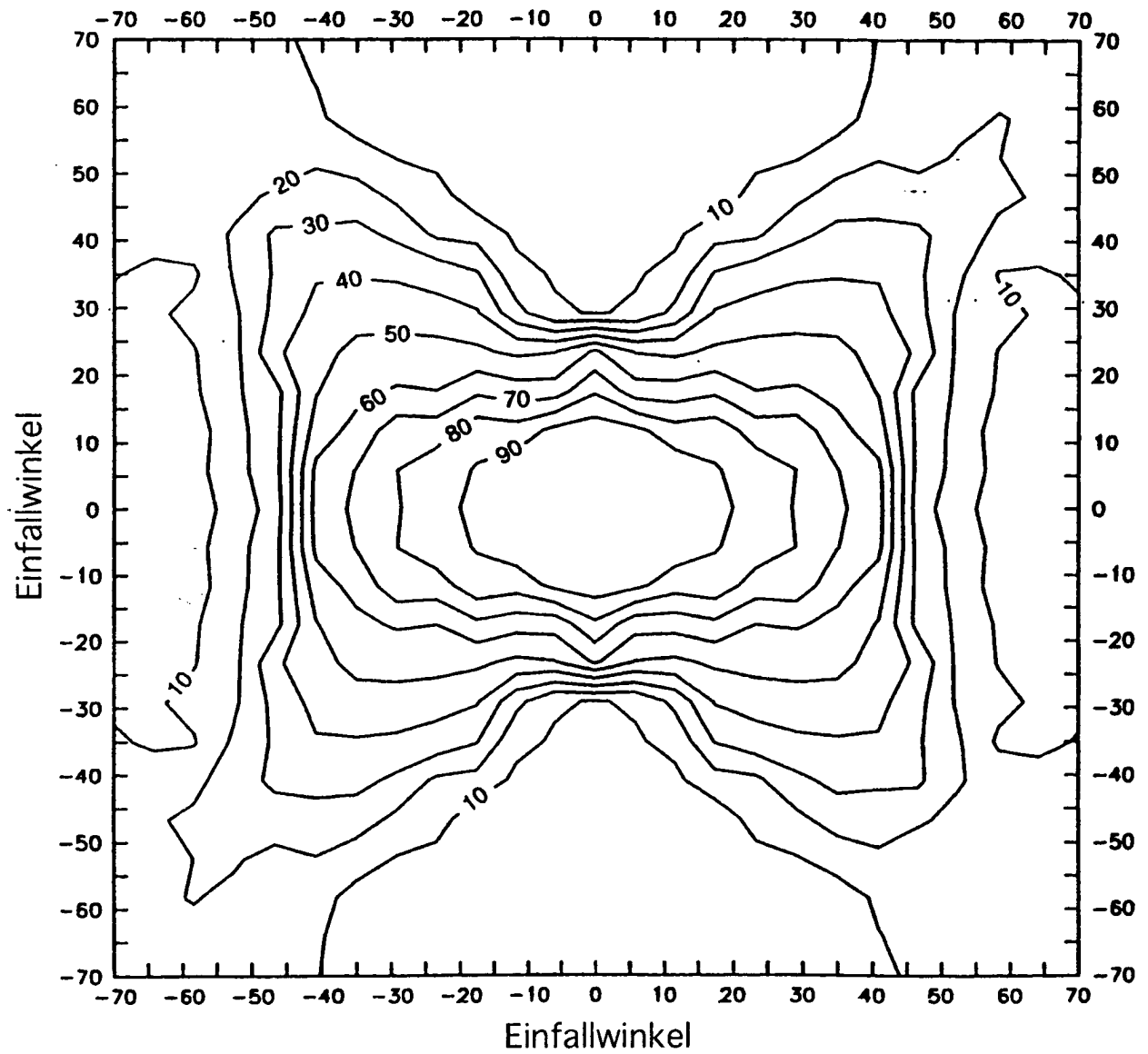


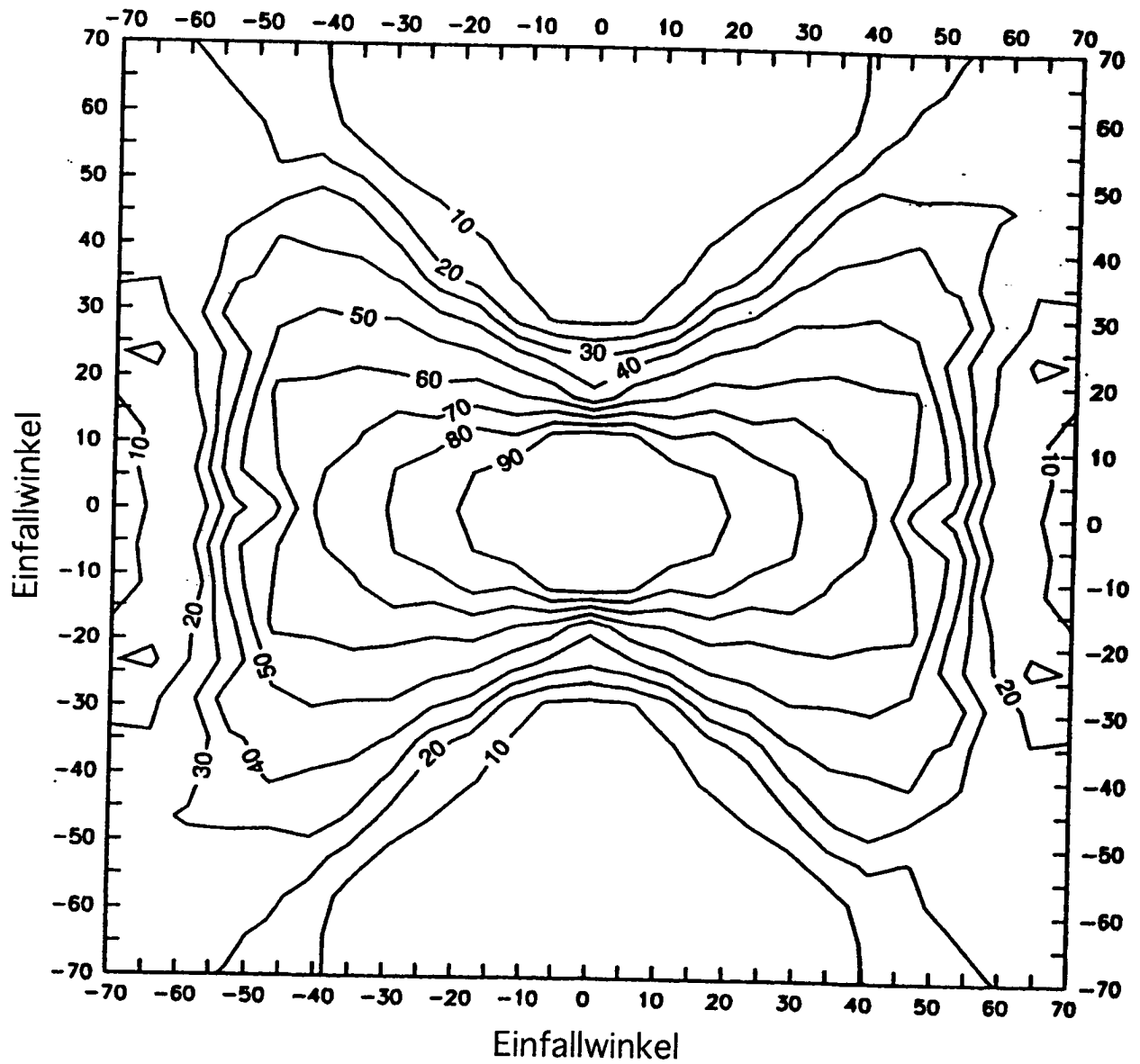
Fig. 16G

Fig.16H

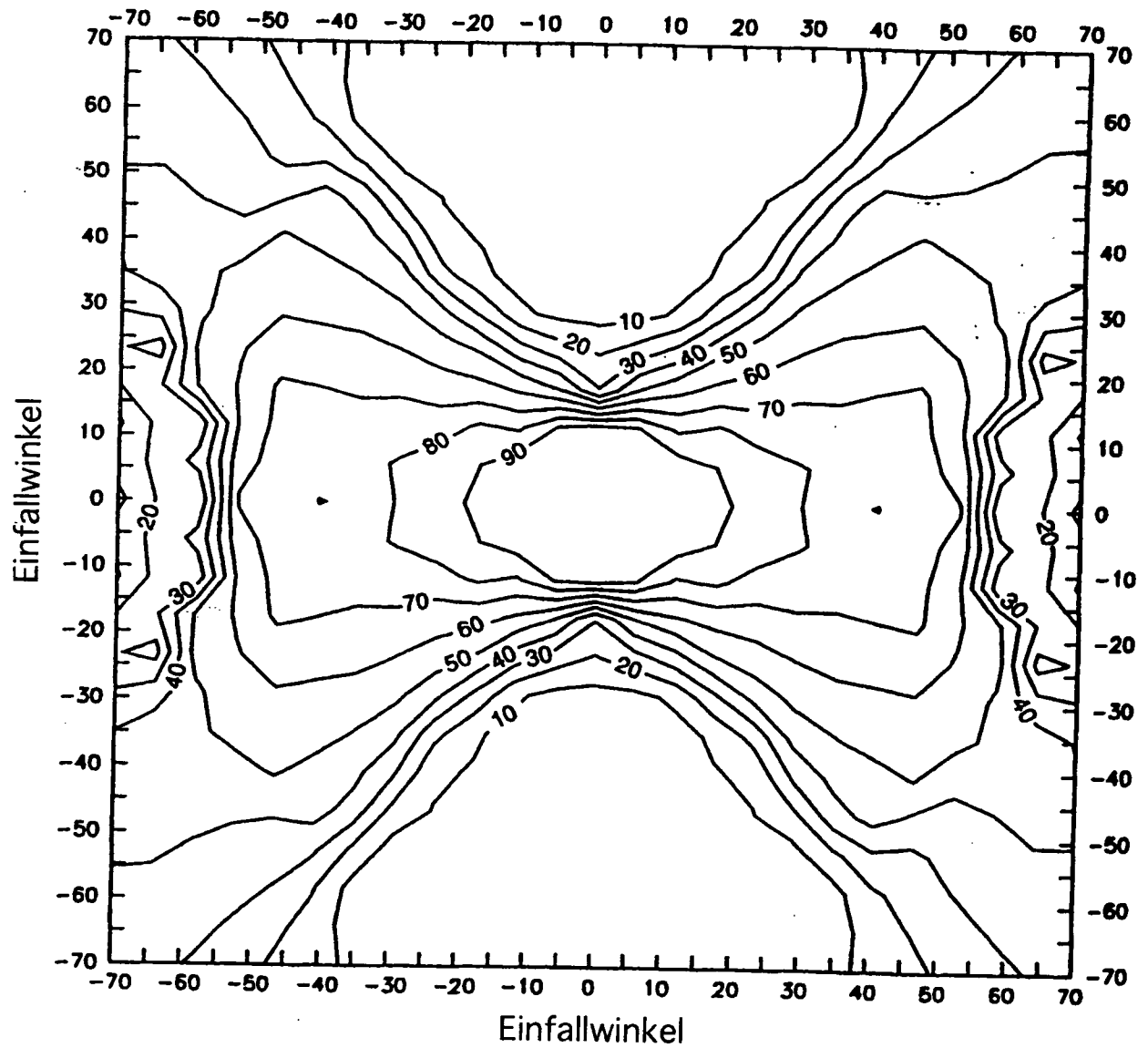


Fig. 16I

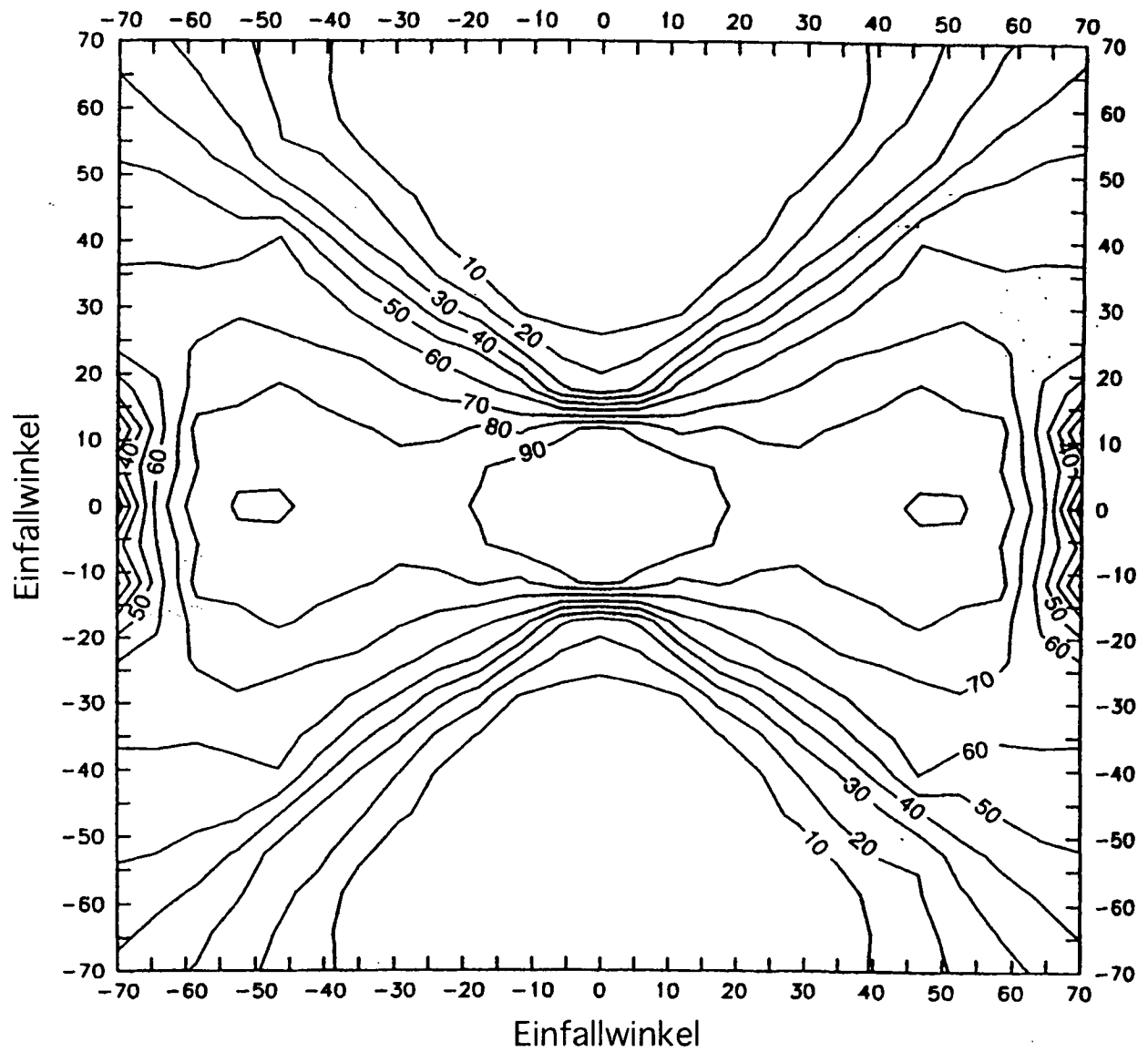


Fig.16J