



(10) **DE 11 2011 104 233 T5** 2013.12.12

(12)

Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2012/076993**
in deutscher Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜG)
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2011 104 233.7**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/IB2011/052529**
(86) PCT-Anmeldetag: **09.06.2011**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **14.06.2012**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **12.12.2013**

(51) Int Cl.: **H04N 5/232 (2013.01)**
G02B 7/36 (2013.01)
G03B 13/36 (2013.01)

(30) Unionspriorität:
PCT/IB2010/055641 07.12.2010 IB

(74) Vertreter:
Graf Glück Kritzenberger, 93049, Regensburg, DE

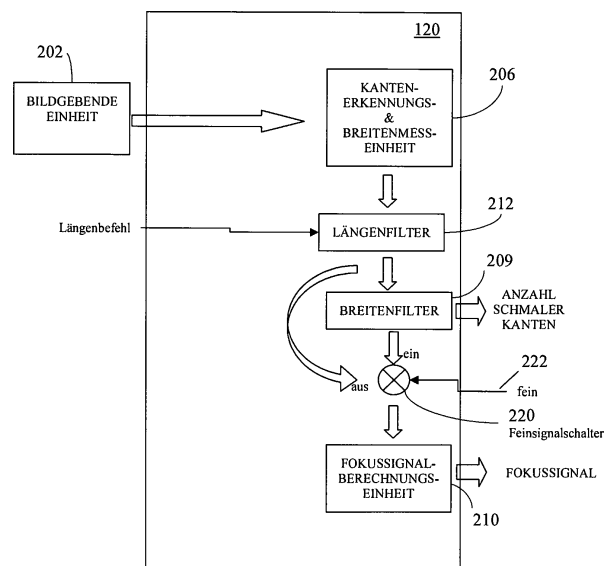
(71) Anmelder:
Tay, Hiok Nam, Singapur, SG

(72) Erfinder:
gleich Anmelder

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Autofokus-Bildsystem**

(57) Zusammenfassung: Ein Autofokus-Bildsystem, das eine mit einem Fokussignalgenerator gekoppelte Pixelanordnung umfasst. Die Pixelanordnung erfasst ein Bild, das mehrere Kanten aufweist. Der Generator generiert ein Fokussignal, das eine Funktion von mehreren Kantenschärfemaßen ist, die jeweils an einer der mehreren Kanten gemessen werden. Wenn erkannt wird, dass die Gradientenfolge eines Bildsignals quer zu der Kante gemäß einem vordefinierten Kriterium keine hinreichende Spiegelsymmetrie aufweist, kann der Generator bestimmen, dass ein relatives Ausmaß, in dem eine Kante zu dem Fokussignal beiträgt, reduziert wird.



BeschreibungQUERVERWEIS AUF
VERWANDTE ANMELDUNGEN

[0001] Diese Patentanmeldung nimmt die Priorität der PCT-Patentanmeldung Nr. PCT/IB2010/055641, eingereicht am 7. Dezember 2010, in Anspruch.

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

1. Gegenstand der Erfindung

[0002] Die Erfindung betrifft die automatische Fokussierung elektronisch erfasster Bilder.

2. Hintergrundinformationen

[0003] Photographische Geräte wie Digitalkameras und digitale Camcorder können elektronische Bildsensoren enthalten, die Licht zur Verarbeitung in Fest- oder Videobilder erfassen. Elektronische Bildsensoren umfassen meistens Millionen von Lichterfassungselementen wie z. B. Photodioden.

[0004] Viele Bilderfassungsgeräte wie z. B. Kameras enthalten ein System zur automatischen Fokussierung. Das Verfahren zur automatischen Fokussierung umfasst die folgenden Schritte: Erfassen eines Bildes, Verarbeiten des Bildes zur Überprüfung der Fokussierung, und, falls das Bild nicht fokussiert ist, Erzeugen eines Rückkopplungssignals, das zur Anpassung einer Position einer Fokuslinse („Fokusposition“) verwendet wird. Es gibt zwei hauptsächliche Methoden der automatischen Fokussierung. Die erste Methode beruht auf einer Kontrastmessung, während bei der anderen die Phasendifferenz eines Bildpaars betrachtet wird. Bei der Kontrastmethode wird der Intensitätsunterschied zwischen nebeneinander liegenden Pixeln analysiert und der Fokus angepasst, bis ein maximaler Kontrast gefunden wird. Die Kontrastmethode ist zwar für Festbilder akzeptabel, aber nicht für bewegte Videobilder geeignet.

[0005] Bei der Phasendifferenzmethode wird ein Eingangsbild in zwei Bilder aufgeteilt, die von getrennten Bildsensoren erfasst werden. Die beiden Bilder werden verglichen, um die Phasendifferenz zu bestimmen. Die Fokusposition wird angepasst, bis die beiden Bilder übereinstimmen. Die Phasendifferenzmethode erfordert zusätzliche Gerätekomponenten wie einen Strahlteiler und einen zusätzlichen Bildsensor. Darüber hinaus wird beim Phasendifferenzverfahren ein verhältnismäßig kleiner Bereich festgelegter Erkennungspunkte analysiert. Aufgrund der geringen Anzahl der Erkennungspunkte ist das Verfahren fehleranfällig, da ein oder mehrere Punkte mit Rauschen überlagert sein können. Diese Methode ist außerdem ineffektiv, wenn die Erkennungspunkte nicht mit einer Bildkante zusammenfallen. Zuletzt ist

anzuführen, dass die Lichtmenge, die einen Lichtsensor erreicht, bei der Phasendifferenzmethode halbiert oder noch stärker reduziert wird, da der Lichtstrahl geteilt wird. Dies kann sich bei schlechter Beleuchtung als problematisch erweisen, wo die Lichtintensität des Bilds ohnehin niedrig ist.

KURZDARSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0006] Ein Autofokus-Bildsystem, das eine mit einem Fokussignalgenerator gekoppelte Pixelanordnung (Pixelarray) umfasst. Die Pixelanordnung erfasst ein Bild, das mehrere Kanten aufweist. Der Generator generiert ein Fokussignal, das eine Funktion von mehreren Kantenschärfemaßen ist, die an den einzelnen der mehreren Kanten gemessen werden. Wenn erkannt wird, dass die Gradientenfolge eines Bildsignals quer zu der Kante gemäß einem vordefinierten Kriterium keine hinreichende Spiegelsymmetrie aufweist, kann der Generator entscheiden, dass ein relatives Ausmaß, in dem eine Kante zu dem Fokussignal beiträgt, reduziert wird.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0007] [Fig. 1](#) ist eine schematische Darstellung einer Ausführungsform einer Autofokus-Bildaufnahmevorrichtung;

[0008] [Fig. 2](#) ist eine schematische Darstellung einer alternativen Ausführungsform einer Autofokus-Bildaufnahmevorrichtung;

[0009] [Fig. 3](#) zeigt ein Blockdiagramm eines Fokussignalgenerators;

[0010] [Fig. 4](#) stellt die Anwendung eines horizontalen Sobel-Operators auf eine Bildsignalmatrix dar;

[0011] [Fig. 5](#) illustriert eine Berechnung der Kantenbreite aus einem horizontalen Gradienten;

[0012] [Fig. 6A](#), [Fig. 6B](#) sind Illustrationen einer Berechnung der Kantenbreite einer vertikalen Kante, die einen Neigungswinkel ϕ aufweist;

[0013] [Fig. 6A](#), [Fig. 6B](#) sind Illustrationen einer Berechnung der Kantenbreite einer horizontalen Kante, die einen Neigungswinkel ϕ aufweist;

[0014] [Fig. 7](#) ist ein Ablaufdiagramm eines Verfahrens zur Berechnung eines Neigungswinkels ϕ und zur Korrektur der Kantenbreite einer vertikalen Kante, die eine Neigung aufweist;

[0015] [Fig. 8](#) zeigt eine vertikale Kantenkette;

[0016] [Fig. 9A](#) zeigt eine Gruppe dicht beieinanderliegender vertikaler Balken;

[0017] [Fig. 9B](#) ist ein Diagramm eines Bildsignals für [Fig. 9A](#);

[0018] [Fig. 9C](#) ist ein Diagramm eines horizontalen Sobel-Gradienten für [Fig. 9A](#);

[0019] [Fig. 10](#) ist ein Ablaufdiagramm eines Verfahrens zur Eliminierung dicht beieinanderliegender Kanten, die eine geringe Modulationstiefe aufweisen;

[0020] [Fig. 11](#) ist ein Histogramm von Kantenbreiten, das einen Kantenbreitenbereich zur Berechnung eines Feinfokussignals zeigt;

[0021] [Fig. 12](#) zeigt eine Szene;

[0022] [Fig. 13](#) ist ein Diagramm, das die Veränderung der Anzahl schmaler Kanten während einer Abtastung des Fokuspositionsbereichs der Szene von [Fig. 12](#) zeigt;

[0023] [Fig. 14](#) ist ein Diagramm, das die Veränderung eines Grobfokussignals während einer Abtastung des Fokuspositionsbereichs der Szene von [Fig. 12](#) zeigt;

[0024] [Fig. 15](#) ist ein Diagramm, das die Veränderung eines Feinfokussignals in einem Fokuspositionsbereich zeigt;

[0025] [Fig. 16](#) ist eine Illustration einer Vorrichtung, die mehrere Objekte in einer Szene und eine Auswahlmarkierung über einem der Objekte anzeigt;

[0026] [Fig. 17](#) zeigt ein Blockdiagramm einer alternativen Ausführungsform eines Fokussignalgenerators;

[0027] [Fig. 18](#) ist eine schematische Darstellung einer alternativen Ausführungsform einer Autofokus-Bildaufnahmeverrichtung;

[0028] [Fig. 19](#) ist eine schematische Darstellung einer Ausführungsform einer Autofokus-Bildaufnahmeverrichtung, die eine Hauptpixelanordnung und eine Hilfspixelanordnung aufweist;

[0029] [Fig. 20](#) ist eine schematische Darstellung einer alternativen Ausführungsform einer Autofokus-Bildaufnahmeverrichtung, die eine Hauptpixelanordnung und eine Hilfspixelanordnung aufweist;

[0030] [Fig. 21](#) ist eine schematische Darstellung einer alternativen Ausführungsform einer Autofokus-Bildaufnahmeverrichtung, die eine Hauptpixelanordnung und eine Hilfspixelanordnung aufweist;

[0031] [Fig. 22](#) zeigt die Veränderung der Kantenbreite von einer Hauptpixelanordnung und die Ver-

änderung der Kantenbreite von einer Hilfspixelanordnung für verschiedene Fokuspositionen;

[0032] [Fig. 23A](#) zeigt einen Gradienten eines Bildsignals quer zu zwei benachbarten Kanten mit entgegengesetzter Polarität (d. h. Vorzeichen), wobei die Kanten nicht miteinander interagieren;

[0033] [Fig. 23B](#) zeigt einen Gradienten eines Bildsignals quer zu zwei benachbarten Kanten mit entgegengesetzter Polarität (d. h. Vorzeichen), wobei die Kanten miteinander interagieren.

[0034] [Fig. 24A](#) zeigt die positiven Gradienten aus [Fig. 23B](#) und veranschaulicht, dass die Distanz zwischen einem Paar interpolierter Gradienten auf einer bestimmten Gradientenhöhe von der interpolierten Spitze in zwei ungleiche Distanzen unterteilt wird;

[0035] [Fig. 24B](#) zeigt die positiven Gradienten aus [Fig. 23B](#) und veranschaulicht, dass die Fläche zwischen zwei Gradientenhöhen, die links und rechts von den beiden Seiten des Gradientenprofils begrenzt wird, von einer vertikalen Linie direkt unter der interpolierten Spitze in zwei Bereiche mit ungleicher Fläche unterteilt wird;

[0036] [Fig. 24C](#) zeigt die positiven Gradienten aus [Fig. 23B](#) und veranschaulicht eine Länge eines Segments des Gradientenprofils zwischen zwei Gradientenhöhen, eine Fläche eines Bereichs vertikal unter dem Segment und der unteren Gradientenhöhe und eine Breite einer Grundlinie des Bereichs;

[0037] [Fig. 24D](#) zeigt die positiven Gradienten aus [Fig. 23B](#) und veranschaulicht ein Verfahren zum Schätzen der ersten Ableitung;

[0038] [Fig. 24E](#) zeigt die positiven Gradienten aus [Fig. 23B](#) und veranschaulicht ein alternatives Verfahren zum Schätzen der ersten Ableitung;

[0039] [Fig. 24F](#) zeigt die positiven Gradienten aus [Fig. 23B](#) und veranschaulicht ein Verfahren zum Schätzen der zweiten Ableitung;

[0040] [Fig. 24G](#) zeigt die positiven Gradienten aus [Fig. 23B](#) und veranschaulicht ein alternatives Verfahren zum Schätzen der zweiten Ableitung;

[0041] [Fig. 24H](#) zeigt die positiven Gradienten aus [Fig. 23B](#) und veranschaulicht eine Distanz zwischen Mittelpunkten auf verschiedenen Gradientenhöhen und zwischen jedem Mittelpunkt und der interpolierten Spitze;

[0042] [Fig. 24I](#) zeigt die positiven Gradienten aus [Fig. 23B](#) und veranschaulicht zwei Gradienten in einer gemeinsamen Distanz zu der interpolierten Spitze;

[0043] **Fig. 24J** zeigt ein symmetrisches Gradientenprofil, bei dem die Mittelpunkte und die interpolierte Spitze zusammenfallen;

[0044] **Fig. 25** veranschaulicht eine Auftragung einer Folge zweiter Ableitungen eines Bildsignals quer zu einer Kante gegen die in Vielfachen des Abstands zwischen aufeinanderfolgenden zweiten Ableitungen gemessene Distanz und zeigt a) eine Breite W_s zwischen einem Paar aus einer positiven und einer negativen Spitze, b) eine Breite W_1 zwischen einem Paar äußerster interpolierter zweiter Ableitungen mit gegebenem Betrag h_1 , c) eine Breite W_2 zwischen einem inneren Paar interpolierter zweiter Ableitungen mit dem gegebenen Betrag h_1 und d) eine Distanz D_1 zwischen einem Nulldurchgang (zwischen dem Paar aus negativer und positiver Spitze) und einer äußersten interpolierten zweiten Ableitung mit dem gegebenen Betrag h_1 ;

[0045] **Fig. 26** veranschaulicht eine Auftragung einer Folge von Bilddaten-Stichproben des Bildsignals gegen die in Vielfachen des Abstands zwischen aufeinanderfolgenden Stichproben gemessene Distanz und zeigt a) eine Breite W_{Kante} und einen Kontrast C_{Kante} zwischen zwei Stichproben an zwei Enden der Kante, b) einen Spitzengradientenwert g_{Spitze} zwischen zwei Stichproben, der die steilste Änderung des Stichprobenwerts anzeigt, c) einen ungeteilten Abschnitt der Kante mit einem Kontrast C_1 und einer Breite W_{Teil1} , und d) einen ungeteilten Abschnitt der Kante mit einem Kontrast C_2 und einer Breite W_{Teil2} ;

[0046] **Fig. 27** veranschaulicht eine Auftragung einer Folge von Gradienten quer zu einer Kante gegen die in Vielfachen des Abstands zwischen aufeinanderfolgenden Gradienten gemessene Distanz sowie eine Fläche eines Bereichs unter der aufgetragenen Gradientenfolge;

[0047] **Fig. 28** veranschaulicht eine Auftragung von Gradienten eines Bildsignals quer zu einer Kante gegen die in Vielfachen des Abstands zwischen aufeinanderfolgenden Gradienten gemessene Distanz, einen Schwerpunkt (d. h. Momentennullpunkt) und Distanzen der Gradienten vom Schwerpunkt;

[0048] **Fig. 29** veranschaulicht das Auffinden der Position einer interpolierten Spitze durch Interpolation;

[0049] **Fig. 30** zeigt eine alternative Ausführungsform eines Fokussignalgenerators.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG

[0050] Die Erfindung betrifft ein Autofokus-Bildsystem, das eine mit einem Fokussignalgenerator gekoppelte Pixelanordnung (Pixelarray) umfasst. Die Pixelanordnung erfasst ein Bild, das über wenigstens eine Kante mit einer Breite verfügt. Der Fokus-

signalgenerator kann ein Fokussignal erzeugen, das eine Funktion der Kantenbreite und/oder von Statistiken der Kantenbreiten ist. Ein Autofokus-Bildsystem, das eine mit einem Fokussignalgenerator gekoppelte Pixelanordnung (Pixelarray) umfasst. Die Pixelanordnung erfasst ein Bild, das über wenigstens eine Kante mit einer Breite verfügt. Der Generator erzeugt ein Fokussignal, das eine Funktion der Kantenbreite und verschiedener Statistiken der Kantenbreite ist. Der Generator kann eine Kante mit einer Asymmetrie eines Gradienten eines Bildsignals eliminieren. Der Generator kann auch eine Kante eliminieren, die nicht einer Vorlage für eine entsprechende Spitzenbildung des Gradienten entspricht. Ein Prozessor empfängt das Fokussignal und/oder die Statistiken der Kantenbreiten und korrigiert eine Fokusposition einer Fokusslinse. Die Kantenbreite kann mit Hilfe verschiedener Methoden ermittelt werden, u. A. durch Verwendung von Gradienten. Es kann ein Histogramm der Kantenbreiten eingesetzt werden, um festzustellen, ob ein bestimmtes Bild fokussiert oder unfokussiert ist. Ein Histogramm, das eine große Anzahl niedriger Kantenbreiten enthält, weist auf ein fokussiertes Bild hin.

Aufbau

[0051] Im Folgenden wird mit Hilfe von Bezugsnummern konkreter auf die Zeichnungen Bezug genommen. **Fig. 1** zeigt eine Ausführungsform eines Autofokus-Bilderfassungssystems **102**. Das System **102** kann Teil einer digitalen Standbildkamera sein. Es versteht sich jedoch von selbst, dass das System in jedem Gerät eingesetzt werden kann, das die kontrollierte Fokussierung eines Bilds erfordert. Das System **102** kann eine Fokusslinse **104**, eine Pixelanordnung und Schaltkreise **108**, einen A/D-Konverter **110**, einen Prozessor **112**, ein Display **114**, eine Speicherkarte **116** und einen Antriebsmotor/-schaltkreis **118** umfassen. Das Licht einer Szene tritt durch die Linse **104** ein. Die Pixelanordnung und Schaltkreise **108** erzeugen ein analoges Signal, das durch den A/D-Konverter **110** in ein digitales Signal umgewandelt wird. Die Pixelanordnung **108** kann ein mosaikartiges Farbmuster umfassen, z. B. die Bayer-Matrix. Das digitale Signal kann an den Prozessor **112** übermittelt werden, der verschiedene Verarbeitungsvorgänge durchführt, z. B. Farbinterpolation, Regelung der Fokusposition, Farbkorrektur, Bildkomprimierung/-dekomprimierung, Steuerung der Benutzeroberfläche und Steuerung des Displays, sowie an den Fokussignalgenerator **120**. Wenn der Fokussignalgenerator **120** und der Prozessor **112** sich in verschiedenen Paketen befinden, kann eine Farbinterpolationseinheit **148** vorgesehen sein, die eine Farbinterpolation für das digitale Signal **130** durchführt, um dem Fokussignalgenerator **120** Schätzwerte der fehlenden Farbsignale der einzelnen Pixel bereitzustellen. Wenn der Fokussignalgenerator **120** und der Prozessor **112** sich stattdessen gemeinsam innerhalb eines Pakets **144** befinden, kann der Fokussi-

gnalgenerator **120** alternativ interpolierte Farbbilder vom Prozessor **112** über den Bus **146** empfangen, wie in [Fig. 2](#) gezeigt, oder ein einzelnes Bildsignal, das von dem ursprünglichen vom A/D-Konverter **110** erzeugten Bildsignal abgeleitet wurde, zum Beispiel ein Graustufensignal.

[0052] Der Fokussignalgenerator **120** empfängt darüber hinaus eine Gruppe von Steuersignalen **132** vom Prozessor **112** und kann Signale **134** an den Prozessor **112** ausgeben. Die Ausgabesignale **134** können eine oder mehrere der folgenden Komponenten umfassen: ein Fokussignal **134**, einen Wert für die Anzahl der schmalen Kanten und einen Satz von Zahlen, die eine Statistik der Kantenbreiten im Bild darstellen. Der Prozessor **112** kann ein Fokussteuersignal **136** erzeugen, das zur Steuerung der Fokusslinse **104** an den Antriebsmotor/-schaltkreis **118** übermittelt wird. Als Ergebnis wird ein fokussiertes Bild auf das Display **114** übertragen und/oder in der Speicherkarte **116** gespeichert. Der Algorithmus bzw. die Algorithmen, die zur Einstellung einer Fokusposition verwendet werden, können vom Prozessor **112** ausgeführt werden.

[0053] Die Pixelanordnung und Schaltkreise **108**, der A/D-Konverter **110**, der Fokussignalgenerator **120** und der Prozessor **112** können sich alle innerhalb desselben Pakets befinden. Alternativ können sich die Pixelanordnung und Schaltkreise **108**, der A/D-Konverter **110** und der Fokussignalgenerator **120** als der in [Fig. 1](#) gezeigte Bildsensor **150** innerhalb eines Pakets **142** befinden und vom Prozessor **112** getrennt sein. Alternativ können sich der Fokussignalgenerator **120** und der Prozessor **112** als die in [Fig. 2](#) gezeigte Kamerasteuerung **160** zusammen in einem Paket **144** befinden und von der Pixelanordnung **108** und dem A/D-Konverter **110** getrennt sein. Der Fokussignalgenerator **120** (oder eine alternative Ausführungsform wie die in [Fig. 30](#) gezeigte) und der Prozessor **112** können sich zusammen auf einem Halbleitersubstrat wie einem Siliziumsubstrat befinden.

Fokussignalgenerator

[0054] [Fig. 3](#) zeigt eine Ausführungsform eines Fokussignalgenerators **120**, der ein Bild bzw. Bilder von einer bildgebenden Einheit **202** empfängt. Bei der bildgebenden Einheit **202** kann es sich um die Farbinterpolationseinheit **148** in [Fig. 1](#) oder den Prozessor **212** in [Fig. 2](#) handeln. Der Fokussignalgenerator **120** kann eine Kantenerkennungs- und Breitenmeseinheit (KE-BM-Einheit) **206**, eine Fokussignal-Berechnungseinheit **210**, einen Längensfilter **212** und einen Breitenfilter **209** umfassen. Er kann weiterhin einen Feinsignalschalter **220** umfassen, der über die Eingabe 'fein' **222** gesteuert wird. Der Fokussignalgenerator **120** kann einen Wert für die Anzahl der schmalen Kanten vom Breitenfilter **209** und ein Fokussignal von der Fokussignal-Berechnungseinheit **210** bereitstellen,

wobei das Fokussignal durch die Eingabe 'fein' **222** auf ein Fein- oder Grobfokussignal eingestellt werden kann. Alternativ können sowohl das Fein- als auch das Grobfokussignal berechnet und als Komponente der Ausgabesignale **134** ausgegeben werden. Die Kantenerkennungs- und Breitenmeseinheit **206** empfängt ein Bild bzw. Bilder, die von der bildgebenden Einheit **202** übermittelt werden. Im Zusammenhang mit [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) können Steuersignale wie das Steuersignal 'fein' **222** vom Prozessor **112** als Komponente der Signale **132** bereitgestellt werden. Ebenfalls im Zusammenhang mit [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) können die Ausgabesignale **134** dem Prozessor **112** bereitgestellt werden, der die Funktion einer Fokussystemsteuerung ausübt, welche die Fokusposition der Fokusslinse **104** regelt, um Bilder von Objekten auf der Pixelanordnung **108** zu fokussieren, indem zur Erkennung eines scharfen Objekts im Bild die Ausgabesignale **134** analysiert werden. Im Folgenden werden verschiedene Komponenten des Fokussignalgenerators **120** beschrieben.

[0055] Die KE-BM-Einheit **206** kann das Eingabebild umwandeln, so dass die drei Signale des Bilds, Rot (R), Grün (G) und Blau (B), in ein einziges Bildsignal konvertiert werden. Es können verschiedene Methoden eingesetzt werden, um ein Bild in ein einziges Bildsignal umzuwandeln. Zur Bildung des Einzelbildsignals können RGB-Werte verwendet werden, um einen Luminanz- oder Chrominanzwert zu berechnen, oder aber ein bestimmtes Verhältnis von RGB-Werten. Beispielsweise kann der Luminanzwert aus der Gleichung $Y = 0,2126 \cdot R + 0,7152 \cdot G + 0,0722 \cdot B$ errechnet werden, wobei Y der Luminanzwert ist. Das Einzelbildsignal kann dann mit Hilfe eines Gauß-Filters oder beliebigen Tiefpassfilters verarbeitet werden, um die Bilddaten-Stichprobenwerte benachbarter Pixel zu glätten und Rauschen zu unterdrücken.

[0056] Der Fokussignalgenerator **120**, **120'**, **120''** ist nicht auf Graustufensignale eingeschränkt. Er kann ein beliebiges einzelnes Bildsignal verarbeiten, um darin eine oder mehrere Kanten zu erkennen. Er kann auch eine beliebige Kombination von Bildsignalen verarbeiten, beispielsweise Y, R-G oder B-G. Er kann zur Erkennung von Kanten jedes der R-, G- und B-Signale des Bilds einzeln verarbeiten oder eine oder mehrere beliebige Kombinationen davon. Er kann Statistiken der Kantenbreiten für jedes der Bildsignale R, G und B oder für eine beliebige Kombination dieser erzeugen. Er kann auf Grundlage der Kantenbreiten-Statistik eines oder mehrerer Bildsignale ein Fokussignal erzeugen.

[0057] Der Fokussignalgenerator weist einen Kantendetektor zum Identifizieren einer Kante in einem Bildsignal auf. Der Kantendetektor kann einen Kantendetektionsoperator erster Ordnung wie einen Sobel-Operator, Prewitt-Operator, Roberts-Cross-Operator oder Roberts-Operator verwenden. Der Kanten-

detektor kann zum Identifizieren der Kante auch einen Kantendetektionsoperator höherer Ordnung verwenden, zum Beispiel einen Operator zweiter Ordnung wie einen Laplace-Operator. Der Kantendetektionsoperator kann jeden beliebigen bekannten Kantendetektionsoperator oder jeden beliebigen verbesserten Operator benutzen, der sich mit einem beliebigen der bekannten Operatoren ein gemeinsames Kantendetektionsprinzip teilt.

[0058] Sofern der Kantendetektor einen Kantendetektionsoperator erster Ordnung verwendet, wird ein Gradient (d. h., eine erste Ableitung) des Bildsignals berechnet. Es gibt verschiedene Verfahren zum Berechnen des Gradienten, darunter beliebige von verschiedenen Kantendetektionsoperatoren erster Ordnung wie dem Sobel-Operator, dem Prewitt-Operator, dem Roberts-Cross-Operator oder dem Roberts-Operator. Der Roberts-Operator hat zwei Kerne, bei denen es sich um eine einspaltige bzw. eine einzeilige Matrix $[-1 \ 1]$ und ihre Transponierte handelt. Der Roberts-Operator hat zwei Kerne, bei denen es sich um 2×2 -Matrizen $[+1, 0; 0, -1]$ und $[0, +1; -1, 0]$ handelt, die wie in Matlab als `<erster Zeilenvektor>`; `<zweiter Zeilenvektor>`; `<dritter Zeilenvektor>` angegeben sind. Der Prewitt- und der Sobel-Operator haben im Wesentlichen dieselben Kerne: $[-1, 0, +1]$, der einen Gradienten in Zeilenrichtung berechnet, und seine Transponierte, die einen Gradienten in Spaltenrichtung berechnet, weiterhin multipliziert mit verschiedenen Tiefpassfilter-Kernen, die Tiefpassfiltervorgänge orthogonal zu den jeweiligen Gradientenrichtungen durchführen. Es können beispielsweise mit Hilfe des Sobel-X-Operators bzw. Sobel-Y-Operators die Gradienten in Zeilen- und Spaltenrichtung berechnet werden, um vertikale Kanten bzw. horizontale Kanten zu erkennen. Der Sobel-X-Operator an der Pixelposition $[k, q]$, wobei k eine Zeilennummer und q eine Spaltennummer ist, ergibt sich aus der Gleichung $S_x[k, q] = U[k, q + 1] - U[k, q - 1]$. Der Sobel-Y-Operator an derselben Position ergibt sich aus der Gleichung $S_y[k, q] = U[k + 1, q] - U[k - 1, q]$, wobei U ein Bildsignal des verarbeiteten Bilds ist.

[0059] Sofern als Kantendetektor ein Operator zweiter Ordnung verwendet wird, wird eine zweite Ableitung des Bildsignals (wie etwa der Laplace-Operator) berechnet.

Kennzeichnung der Orientierung

[0060] Jedes Pixel kann entweder als einer horizontalen Kante („H“) oder einer vertikalen Kante („V“) zugehörig gekennzeichnet werden, wenn entweder der Betrag des vertikalen oder des horizontalen Gradienten einen vorgegebenen unteren Grenzwert („Eliminations-Schwellwert“) überschreitet, z. B. 5 bei einem 8-Bit-Bild. Sind beide Bedingungen nicht erfüllt, wird das Pixel als keiner Kante zugehörig gekennzeichnet. Dieser untere Grenzwert verhindert die Fehler-

kennung von Kanten aufgrund von weicher Schattierung oder Rauschen. Ein Pixel kann als Teil einer vertikalen Kante gekennzeichnet werden, wenn der Betrag seines horizontalen Gradienten den Betrag seines vertikalen Gradienten um einen vorgegebenen Hysteresewert oder mehr überschreitet, z. B. 2 bei einem 8-Bit-Bild, und umgekehrt. Wenn sich die Beträge der beiden Gradienten um weniger als den Hysteresewert unterscheiden, wird dem Pixel das gleiche Richtungskennzeichen zugewiesen wie dem nächsten Nachbarpixel, dessen Richtung bereits gekennzeichnet wurde. Wenn das Bild beispielsweise spaltenweise von links nach rechts und zeilenweise von oben nach unten abgetastet wird, können die benachbarten Pixel in der folgenden Reihenfolge überprüft werden: zuerst das Pixel unmittelbar darüber, als zweites das Pixel links darüber, als drittes das Pixel unmittelbar links davon und zuletzt das Pixel rechts darüber. Durch Anwendung dieser Hysterese wird sichergestellt, dass benachbarte Pixel, deren horizontaler und vertikaler Gradient betragsmäßig nahezu übereinstimmen, gleich gekennzeichnet werden. [Fig. 4](#) zeigt das Ergebnis der Kennzeichnung am Beispiel einer Matrix von 6 mal 6 horizontalen und vertikalen Gradienten. In jeder Zelle wird der horizontale Gradient oben links, der vertikale Gradient rechts und die Richtungskennzeichnung unten angegeben. Nur Pixel, bei denen der Betrag des horizontalen oder vertikalen Gradienten 5 überschreitet, werden in diesem Schritt als Kantenpixel eingestuft. Sie sind in Fettdruck dargestellt und verfügen über eine Richtungskennzeichnung.

[0061] Das Bild, die Gradienten und Kennzeichnungen können bei vertikalen Kanten in horizontaler Richtung und bei horizontalen Kanten in vertikaler Richtung abgetastet werden. Eine Gruppe aufeinanderfolgender Pixel einer bestimmten Zeile, deren horizontale Gradienten das gleiche Vorzeichen haben und die alle als Teil einer vertikalen Kante gekennzeichnet sind, kann als vertikale Kante eingestuft werden, sofern keine angrenzenden Pixel links oder rechts davon die gleichen Bedingungen erfüllen. Analog dazu kann eine Gruppe aufeinanderfolgender Pixel einer bestimmten Spalte, deren vertikale Gradienten das gleiche Vorzeichen haben und die alle als Teil einer horizontalen Kante gekennzeichnet sind, als horizontale Kante eingestuft werden, sofern keine angrenzenden Pixel oberhalb oder unterhalb davon die gleichen Bedingungen erfüllen. Auf diese Weise können horizontale und vertikale Kanten erkannt werden.

Kantenbreite

[0062] Kanten können verfeinert werden, indem Pixel entfernt werden, bei denen der Betrag des Gradienten kleiner ist als ein bestimmter Bruchteil des Spitzengradientenbetrags der Kante. [Fig. 5](#) stellt diesen Schritt dar, wobei für die Verfeinerung ein Schwellen-

wert von einem Drittel des höchsten Gradientenbetrags der Kante angesetzt wird. Die Breite der Kante wird damit von den ursprünglichen 9 Pixeln auf 3 reduziert. Durch diese Kantenverfeinerung wird die dominante Komponente des Gradienten hervorgehoben, welche die scheinbare, die visuelle Wahrnehmung prägende Kantenbreite bestimmt, auch wenn ein Bild mehrere sich überlappende Schattierungen aufweist, die zu einer allmählichen Abnahme des Gradienten über mehrere Pixel hinweg führen können.

[0063] Die Kantenbreite kann mit Hilfe verschiedener bekannter Methoden berechnet werden. Eine einfache solche Methode zur Berechnung der Kantenbreite stellt die Zählung der Pixel innerhalb einer Kante dar. Eine alternative Methode zur Berechnung der Kantenbreite wird in [Fig. 5](#) gezeigt. In [Fig. 5](#) wird eine erste Zwischenpixelposition (2,4), die sich zwischen einem ersten äußeren Pixel (Pixel 3) einer verfeinerten Kante und einem benachbarten äußeren Pixel (Pixel 2) befindet, durch Interpolation der Position, die dem Verfeinerungs-Schwellenwert **304** entspricht, ermittelt. Auf analoge Weise wird eine zweite Zwischenpixelposition (5,5) zwischen einem zweiten äußeren Pixel (Pixel 5) und seinem benachbarten äußeren Pixel (Pixel 6) ermittelt. Die Breite der Kante ist die Differenz zwischen diesen beiden Zwischenpixelpositionen, d. h. $5,5 - 2,4 = 3,1$.

[0064] Ein weiteres alternatives Verfahren zur Kantenbreitenberechnung besteht darin, eine Differenz des Bildsignals (mit oder ohne Kantenverfeinerung) quer zum Verlauf der Kante zu berechnen und durch einen Spitzengradienten der Kante zu dividieren.

[0065] Alternativ hierzu kann die Kantenbreite eine Distanz zwischen einem Paar aus einer positiven und einer negativen Spitze (oder interpolierten Spitzen) der zweiten Ableitung des Bildsignals quer zum Verlauf der Kante sein. Weitere Alternativen sind möglich und werden später in dieser Patentschrift unter der Überschrift „Kantenschärfemaß“ beschrieben.

[0066] Später in dieser Patentschrift wird sichtbar werden, dass es weitere Alternativen als eine Breite gibt, bei der es sich lediglich um ein Beispiel für ein Kantenschärfemaß handelt, das im Wesentlichen unabhängig von der Beleuchtung der Szene ist.

Neigungskorrektur

[0067] Zwar ist es möglich, jede Kante einer vorbestimmten Richtung (z. B. vertikale oder horizontale Richtung) oder einer anderen, orthogonalen vorbestimmten Richtung (z. B. horizontale Richtung oder vertikale Richtung) zuzuordnen und ihre Kantenbreite in einer Richtung zu messen, die orthogonal zu der zugeordneten Richtung verläuft, aber die Grenzen zwischen Bereichen unterschiedlicher Bildsignal-

werte im Bild, aus denen diese Kanten entstehen, sind möglicherweise bzw. in der Regel nicht perfekt an einer der beiden vorbestimmten Richtungen ausgerichtet. In [Fig. 6A](#) sind eine bezüglich der vertikalen gestrichelten Linie unter einem Neigungswinkel ϕ geneigte Grenze (schattiertes Band) und eine in der dazu orthogonalen (d. h. horizontalen) Richtung gemessene Breite a gezeigt. Allerdings kommt eine in einer orthogonal zu der Richtung des Verlaufs der Grenze (und damit auch der Richtung einer Kante, die einen Teil der Grenze bildet) verlaufenden Richtung gemessene Breite b (siehe Zeichnung) der tatsächlichen Breite der Grenze (und auch der Kante) näher als die Breite a . Solche Breiten a , die nicht orthogonal zu den Verlaufsrichtungen der jeweiligen Kanten gemessen werden, sind in der Regel zu groß und stehen nicht für die realen Dicken der betreffenden Grenzen.

[0068] Zum Zweck der Berechnung eines Fokussignals anhand von Kantenbreiten müssen die Kantenbreiten, die in der einen oder anderen dieser vorgeschriebenen Richtungen gemessen werden, korrigiert werden, indem sie auf die Breite in einer zur Richtung der jeweiligen Kante orthogonalen Richtung reduziert werden. Die Kantenerkennungs- und Breitenmesseinheit **206** führt eine solche Korrektur der Kantenbreiten durch. Wie in [Fig. 6A](#) gezeigt, stellt die gemessene Breite a die Länge der Hypotenuse eines rechtwinkligen Dreiecks dar, dessen eine Kathete (durch die Breite b gekennzeichnet) orthogonal zur schattierten Grenze (also orthogonal zur Kantenrichtung) verläuft und den Winkel ϕ aufweist. Die korrigierte Breite b kann sodann durch Projektion der gemessenen Breite a auf die zur Verlaufsrichtung der Kante orthogonale Richtung ermittelt werden. Gemäß elementarer Trigonometrie kann eine solche Projektion durch $b = a \cos(\phi)$ ausgedrückt werden. Es kann aber auch eine Näherung verwendet werden, solange eine Abweichung von nicht mehr als 20% nicht überschritten wird. Der Winkel ϕ oder $\cos(\phi)$ selbst kann mit Hilfe einer der im Stand der Technik bekannten Methoden zur Ermittlung der Richtung einer Kante in einem Bild oder durch eine genauere Methode, die im Ablaufdiagramm von [Fig. 7](#) beschrieben wird, ermittelt werden.

[0069] Die Kantenbreite jeder horizontalen oder vertikalen Kante kann um die Neigung relativ zur horizontalen bzw. vertikalen Richtung (den vorgeschriebenen Richtungen) korrigiert werden. Die [Fig. 6A](#) und [Fig. 6B](#) zeigen die Berechnung der Korrektur einer Kantenbreite, die in der horizontalen Richtung gemessen wird, für eine Grenze (und daher die Kanten, die die Grenze bilden), die relativ zur vertikalen Linie geneigt ist. Die [Fig. 6C](#) und [Fig. 6D](#) zeigen die Berechnung der Korrektur einer Kantenbreite, die in der vertikalen Richtung gemessen wird, für eine Grenze (und daher die Kanten, die die Grenze bilden), die relativ zur horizontalen Linie geneigt ist. Zur Korrektur

kann die Kantenbreite, die in einer vorgeschriebenen Richtung wie der vertikalen oder horizontalen Richtung gemessen wird, mit dem Faktor $\cos(\phi)$ multipliziert werden, wobei ϕ ein Neigungswinkel relativ zur vorgeschriebenen Richtung ist.

[0070] [Fig. 7](#) zeigt beispielsweise ein Ablaufdiagramm, das ein Verfahren zur Neigungskorrektur von Kantenbreiten für Kanten, die relativ zu einer vertikalen Linie geneigt sind, darstellt. (Für horizontale Kanten ist im Ablaufdiagramm ‚Spalte‘ durch ‚Zeile‘ zu ersetzen, und die Begriffe ‚vertikal‘ und ‚horizontal‘ sind auszutauschen.)

[0071] Von Schritt **502** bis Schritt **506** wird ein Neigungswinkel ϕ ermittelt. In Schritt **502** wird für jede vertikale Kante die Spaltenposition ermittelt, an welcher der Betrag des horizontalen Gradienten eine Spitze bildet, und der entsprechende horizontale Gradient x ermittelt. In Schritt **504** wird der Ort ermittelt, an dem der Betrag des vertikalen Gradienten in der betreffenden Spalte und in einem Abstand von bis zu zwei Pixeln eine Spitze bildet, und der vertikale Gradient y ermittelt.

[0072] In Schritt **506** wird der Neigungswinkel $\phi = \tan^{-1}(y/x)$ ermittelt. In Schritt **506** kann der Neigungswinkel durch Auslesen aus einer Wertetabelle ermittelt werden. Die Schritte **502** bis **506** stellen nur eine bestimmte Vorgehensweise und Methode zur Ermittlung des Neigungswinkels dar. Es können stattdessen auch andere im Stand der Technik bekannte Vorgehensweisen und Methoden verwendet werden.

[0073] In Schritt **508** schließlich wird die Kantenbreite durch Multiplikation mit $\cos(\phi)$ oder einer Annäherung davon heruntergerechnet, wie dies von einem Fachmann in der Praxis üblicherweise durchgeführt wird.

[0074] Als eine erste Modifikation des in [Fig. 7](#) gezeigten Verfahrens werden Schritt **506** und Teil von Schritt **508** ersetzt, indem eine Wertetabelle bereitgestellt wird, die über Einträge für verschiedene Kombinationen der Eingabewerte x und y verfügt. Für jede Kombination der Eingabewerte x und y liefert die Wertetabelle einen Kantenbreiten-Korrekturfaktor. Der von der Wertetabelle gelieferte Kantenbreiten-Korrekturfaktor kann eine Annäherung von $\cos(\tan^{-1}(y/x))$ mit einer Abweichung von nicht mehr als 20% und bevorzugt von nicht mehr als 5% sein. Die Kantenbreite wird dann mit diesem Korrekturfaktor multipliziert, so dass sich eine neigungskorrigierte Kantenbreite ergibt.

[0075] Als eine zweite Modifikation wird ein Quotient y/x aus einem vertikalen Gradienten y und einem horizontalen Gradienten x berechnet, der als q bezeichnet wird. Anschließend wird q als Eingabe in eine Wertetabelle benutzt, die über Einträge für verschie-

dene Werte von q verfügt. Für jeden Wert von q liefert die Wertetabelle einen Kantenbreiten-Korrekturfaktor. Der Kantenbreiten-Korrekturfaktor kann eine Annäherung von $\cos(\tan^{-1}(q))$ mit einer Abweichung von nicht mehr als 20% und bevorzugt von nicht mehr als 5% sein.

[0076] Zur Berechnung des Neigungswinkels ϕ (oder einer Annäherung davon, so dass der Korrekturfaktor eine Abweichung von nicht mehr als 20% aufweist) und daraufhin des Korrekturfaktors $\cos(\phi)$ (oder einer Annäherung davon) oder zur direkten Ermittlung des Korrekturfaktors ohne Ermittlung des Neigungswinkels ϕ (wie bei der ersten und zweiten Modifikation) können die Werte von x und y in den Schritten **502** bis **506** ermittelt werden, aber es können stattdessen auch andere Methoden angewandt werden.

[0077] Als eine dritte Modifikation werden die folgenden Schritte für jedes einer Mehrzahl von Pixeln in der Kante ausgeführt: (a) Es wird sowohl ein horizontaler Gradient x als auch ein vertikaler Gradient y eines Pixels ermittelt, (b) der Quotient $q = y/x$ für dieses Pixel ermittelt und (c) ein q entsprechender Korrekturfaktor ermittelt, zum Beispiel $\cos(\tan^{-1}(q))$ oder eine Annäherung davon mit einer Abweichung von nicht mehr als 20%. Schließlich wird der Korrekturfaktor für die Kantenbreite durch Mittelung der Korrekturfaktoren der einzelnen Pixel der Mehrzahl von Pixeln ermittelt. Der Mittelwert kann ein gewichteter Durchschnitt sein, wobei zum Beispiel ein Pixel mit einem größeren horizontalen Gradienten eine höhere Gewichtung erhält als ein anderes Pixel, das über einen geringen horizontalen Gradienten verfügt.

[0078] Andere Modifikationen sind gemäß diesen oder anderen Vorschriften möglich.

Schwellenwert für die Filterung

[0079] Zur Bildung des Fokussignals können benachbarte Kanten entweder vollständig ausgeschlossen werden oder ihr Beitrag kann reduziert werden, wenn ihr Spitzengradientenbetrag kleiner als ein vorgegebener Bruchteil des Spitzengradientenbetrags einer benachbarten breiteren Kante ist. [Fig. 9A](#), [Fig. 9B](#) und [Fig. 9C](#) stellen ein Problem dar, das behoben wird.

[0080] [Fig. 9A](#) zeigt drei vertikale weiße Balken, die von zwei schmalen schwarzen Bereichen mit einer Breite von jeweils 2 Pixeln getrennt werden. Der mittlere weiße Balken ist ein schmaler Balken, der zwei Pixel breit ist. In [Fig. 9B](#) ist das Bildsignal in horizontaler Richtung für eine scharfe und eine unscharfe Version des Bilds in [Fig. 9A](#) aufgetragen. In [Fig. 9C](#) sind die Sobel-X-Gradienten von [Fig. 9B](#) für das scharfe und unscharfe Bild aufgetragen. In [Fig. 9C](#) ist erwartungsgemäß die erste Kante (Pixel 2–5) beim

unscharfen Bild breiter als beim scharfen Bild und gleichermaßen die letzte Kante (Pixel 13–15). Die beiden schmalsten Kanten (Pixel 9 & 10 und Pixel 11 & 12) haben jedoch in beiden Bildern die Breite 2. Die entsprechenden Pegeländerungen bei den Pixeln 9 & 10 sowie 11 & 12 in [Fig. 9B](#) verlaufen jeweils über eine Länge von zwei Pixeln. Im unscharfen Bild ist der Betrag des Spitzengradienten der schmaleren Kanten jedoch deutlich – rund 50% – kleiner als derjenige der breiteren Kanten. Das scharfe Bild andererseits weist einen Unterschied von weniger als 10% zwischen den breiteren Kanten und schmaleren Kanten auf.

[0081] Ein deutlich geringerer Spitzengradientenbetrag einer schmalen Kante – z. B. von 20% oder mehr –, die sich neben einer breiteren Kante mit einem Gradienten mit umgekehrten Vorzeichen befindet, ist ein Anzeichen dafür, dass das unscharfe Bild nicht gut fokussiert ist und die schmalere Kante daher keinen zuverlässigen Hinweis auf ein scharfes Bild darstellt.

[0082] In gleicher Weise stellen nebeneinander liegende Kanten wechselnden Gradientenvorzeichens auch dann keinen solchen zuverlässigen Hinweis dar, wenn ihre Kantenbreiten gering sind, sofern sie sich in unmittelbarer Nähe zueinander befinden, z. B. einen Abstand von nicht mehr als einem Pixel aufweisen („Minimaler Kantenabstand“). Der minimale Kantenabstand wird als Anzahl von Pixeln ausgedrückt, z. B. 1, 2 oder ein Wert dazwischen.

[0083] Da außerdem eine Kante aufgrund eines Spitzengradienten, dessen Betrag kleiner als der Schwellenwert für die Eliminierung ist, ausgelöscht worden sein könnte, können auch zwei aufeinanderfolgende schmale Kanten mit gleichem Gradientenvorzeichen und einem Abstand kleiner oder gleich dem doppelten minimalen Kantenabstand plus einer Breite_scharfer_Kanten (Breite_scharfer_Kanten ist eine Zahl, die die Kantenbreite einer scharfen Kante festlegt) als eine Bedingung zur Eliminierung oder Herabstufung des Beitrags einer oder beider der nebeneinander liegenden Kanten verwendet werden.

[0084] Die Kantenerkennungs- und Breitenmessenheit **206** kann anhand eines Filterschwellenwerts, der anhand einer breiteren Kante festgelegt wird, und einer Modulations-Filterkennzeichnung, die aktiviert und deaktiviert werden kann, den folgenden Algorithmus zur Eliminierung dicht beieinander liegender schmalere Kanten ausführen.

[0085] Für jede Kante werden der Filterschwellenwert und die Filterkennzeichnung, die für die unmittelbar nächste Kante mit umgekehrtem Vorzeichen verwendet werden sollen, gemäß dem Verfahren des in [Fig. 10](#) gezeigten Ablaufdiagramms festgelegt.

[0086] Wenn der Filterwert und die Filterkennzeichnung festgelegt sind, kann eine Kante eliminiert werden, sofern nicht eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist: (a) Für diese Kante ist die Filterkennzeichnung deaktiviert, (b) ein Spitzengradientenbetrag der Kante ist nicht kleiner als der Filterschwellenwert für diese Kante. Zu den Bedingungen (a) und (b) kann die folgende Bedingung hinzugefügt werden: (c) Die Kantenbreite ist nicht geringer als die Breite_scharfer_Kanten +1, wobei dem Parameter Breite_scharfer_Kanten eine Zahl zugewiesen wurde, die der Kantenbreite einer scharfen Kante entspricht, und wobei der Summand „+1“ variiert werden kann, um einen Kantenbreitenbereich oberhalb von Breite_scharfer_Kanten festzulegen, innerhalb dessen Kanten eliminiert werden können, wenn sie die Bedingungen (a) und (b) nicht erfüllen. Bei den in den [Fig. 9A–Fig. 9C](#) gezeigten Beispielen kann der Wert von Breite_scharfer_Kanten 2 betragen. [Fig. 10](#) ist ein Ablaufdiagramm für die Festlegung eines Filterschwellenwerts und einer Filterkennzeichnung für Kanten. Bei vertikalen Kanten wird angenommen, dass die Abtastung entlang einer Zeile von links nach rechts erfolgt, was aber keine Voraussetzung ist. (Bei horizontalen Kanten wird angenommen, dass die Abtastung entlang einer Spalte von oben nach unten erfolgt, was aber keine Voraussetzung ist.) Dem Parameter Breite_scharfer_Kanten wird eine Zahl zugewiesen, die bei den in den [Fig. 9A–Fig. 9C](#) gezeigten Beispielen 2 betragen kann. Ausgehend von der ersten Kante in Schritt **702**, werden alle Kanten in Schritt **720** daraufhin überprüft, ob die Kantenbreite größer oder gleich 1 plus Breite_scharfer_Kanten ist, wobei 1 der für diese Darstellung benutzte Wert des minimalen Kantenabstands ist. Es kann jedoch auch ein anderer Wert verwendet werden, zum Beispiel ein Wert zwischen 0,5 und 2,0. Wenn dies der Fall ist, handelt es sich bei der Kante um eine breitere Kante, und im darauffolgenden Schritt **706** wird der Filterschwellenwert für die unmittelbar nächste Kante mit umgekehrtem Vorzeichen auf beta mal einen Spitzengradientenbetrag der Kante festgesetzt, wobei beta zwischen 0,3 und 0,7 und bevorzugt bei 0,55 liegt. Im anschließenden Schritt **708** wird die Filterkennzeichnung für die nächste Kante aktiviert, woraufhin mit der nächsten Kante fortgefahren wird. Falls nicht, handelt es sich bei der Kante nicht um eine breitere Kante. Im darauffolgenden Schritt **730** wird überprüft, ob der Abstand der vorangehenden Kante gleichen Vorzeichens größer als der doppelte minimale Kantenabstand (oder ein anderer vorgegebener Wert) plus Breite_scharfer_Kanten und der Abstand der unmittelbar vorangehenden Kante entgegengesetzten Vorzeichens, sofern vorhanden, größer als der minimale Kantenabstand ist. Falls dies der Fall ist, wird im darauffolgenden Schritt **710** die Filterkennzeichnung für die nächste Kante deaktiviert. Falls nicht, werden Filterkennzeichnung und Filterschwellenwert für die nächste Kante beibehalten und anschließend wird mit der nächsten Kante fortgefahren. Beta kann ein be-

stimmter vorgegebener Bruchteil sein oder anhand einer vorgegebenen Formel berechnet werden, die z. B. eine Funktion der Kantenbreite darstellen kann. Im letzteren Fall kann sich beta zwischen den verschiedenen Teilen des Bilds unterscheiden.

Alternative Ausführungsformen

Orientierung des Pixelgitters:

[0087] Das von dem Fokussignalgenerator **120** eingegebene Bild kann Pixel aufweisen, die in einem rechteckigen Gitter („Pixelgitter“) angeordnet sind, das um 45 Grad gegen einen rechtwinkligen Bildrahmen gedreht ist. In diesem Fall können die x- und y-Richtungen der Kantendetektionsvorgänge und Breitenmessvorgänge entsprechend rotiert werden.

Kantenschärfemaße:

[0088] In der vorstehenden Beschreibung wird die Schärfe eines Bilds einer Kante durch eine Breite der Kante dargestellt, die anhand einer Folge von Gradienten quer zum Verlauf der Kante gemessen wird, wobei die Kanten quer zum Verlauf der Kante ausgerichtet sind. Es gibt Alternativen, die nach einem ähnlichen Prinzip arbeiten. Im Wesentlichen kann das Fokussignal auf diese Weise erzeugt werden, weil die einzelnen Kanten jeweils eine Größe (im Weiteren: „Kantenschärfemaß“) beitragen, die von einer Skalierung der Bilddaten um beispielsweise 20% unabhängig oder im Wesentlichen unabhängig – Veränderung um höchstens 5% bei einer Herunterskalierung der Bilddaten um 20% – ist, was dazu beiträgt, das Fokussignal unabhängig oder deutlich weniger abhängig von der Beleuchtung der Szene des Bilds oder dem Reflexionsvermögen von Objekten in der Szene zu machen als bei dem herkömmlichen Kontrastdetektionsverfahren.

[0089] Bei dem vorliegenden Fokussignalgenerator **120** ist jedes Kantenschärfemaß, das zusätzlich die vorstehend erwähnte Eigenschaft aufweist, unabhängig oder im Wesentlichen unabhängig von einem 20%igen Herunterskalieren der Bilddaten zu sein, eine gute Alternative zu der von einem Gradienten oder interpolierten Gradienten zu einem anderen Gradienten oder interpolierten Gradienten mit demselben Gradientenwert gemessenen Breite.

[0090] Das alternative Kantenschärfemaß weist bevorzugt eine Einheit auf, die frei von Energieeinheiten ist. Die Einheit des Kantenschärfemaßes wird auf der Grundlage zweier Punkte festgelegt: a) Stichproben der Bilddaten, auf die der Kantendetektionsoperator erster Ordnung angewendet wurde, weisen Energieeinheiten auf, und b) Abstände zwischen Stichproben weisen Längeneinheiten auf. Aus a) und b) folgt, dass ein Gradientenwert eine Einheit aufweist, die eine Energieeinheit dividiert durch eine Längen-

einheit ist. Auch der Kontrast quer zum Verlauf der Kante oder quer zu einem beliebigen ungeteilten Abschnitt der Kante weist eine Energieeinheit auf. Daher ist der Kontrast kein gutes Kantenschärfemaß, da aus der Einheit deutlich wird, dass er von der Beleuchtung der Szene und dem Reflexionsvermögen des Objekts beeinflusst wird. Auch der Spitzengradient der Kante ist ungeeignet, da in der Einheit des Spitzengradienten ebenfalls Energieeinheiten stecken, was anzeigt, dass auch diese Größe auf Änderungen der Beleuchtung der Szene reagiert. Der Quotient aus dem Spitzengradienten der Kante und einem Kontrast der Kante dagegen ist ein hinreichend gutes Kantenschärfemaß, da er eine Einheit aufweist, die der Kehrwert einer Längeneinheit ist. Als ein weiteres Beispiel ist die Anzahl der Gradienten, deren Gradientenwerte einen bestimmten vorbestimmten Bruchteil des Spitzengradienten übersteigen, ein gutes Kantenschärfemaß, da die Anzahl einfach ein auf die Größe des Abstands zwischen benachbarten Gradienten quantisiertes Maß für die Distanz ist und daher eine Längeneinheit aufweist.

[0091] Es sei hier darauf hingewiesen, dass bei der Erzeugung eines Kantenschärfemaßes ein Gradient mit einem Kantendetektionsoperator erster Ordnung, der zur Detektion der Kante benutzt wird, oder mit einem anderen Erste-Ableitungs-Operator (d. h. Gradientenoperator) erzeugt werden kann. Während beispielsweise der Sobel-Operator (oder sogar ein Kantendetektionsoperator zweiter Ordnung wie etwa ein Laplace-Operator) zur Detektion der Kante benutzt werden kann, kann zum Erzeugen des Gradienten der Roberts-Operator benutzt werden, dessen Kerne einfach $[-1, +1]$ und die Transponierte davon sind, wodurch einfach eine Bilddatenstichprobe von der nächsten Stichprobe in Richtung des Gradientenoperators subtrahiert wird, wobei der sich ergebende Gradient in der Mitte zwischen den Stichproben angeordnet ist. Die Kanten können unabhängig von einem oder mehreren Ableitungsoperatoren, die zum Erzeugen des Kantenschärfemaßes oder eines beliebigen anderen im nächsten Abschnitt beschriebenen Formmaßes benutzt werden, mit einem Kantendetektionsoperator höherer als erster Ordnung detektiert werden.

[0092] Noch anders betrachtet: Das Kantenschärfemaß sollte eine Einheit aufweisen, die eine Potenz einer Länge ist, zum Beispiel das Quadrat, der Kehrwert, die Quadratwurzel aus der Länge oder die Länge selbst.

[0093] Jedes solche alternative Kantenschärfemaß kann bei dem Fokussignalgenerator **120** die Kantenbreite ersetzen.

[0094] Um eine Neigung der Kante zu korrigieren, muss der oben in Bezug auf die [Fig. 6A](#) bis [Fig. 6D](#) und [Fig. 7](#) beschriebene Korrekturfaktor (im Weiteren

„Breitenkorrekturfaktor“) in dieselbe Potenz konvertiert werden. Wenn zum Beispiel das Kantenschärfemaß der Spitzengradient dividiert durch einen Kontrast ist, was ihm den Kehrwert einer Längeneinheit als Einheit verleiht, so ist der geeignete Korrekturfaktor für das Kantenschärfemaß der Kehrwert des in Bezug auf die [Fig. 6A](#) bis [Fig. 6D](#) und [Fig. 7](#) beschriebenen Korrekturfaktors. Wenn als weiteres Beispiel das Kantenschärfemaß eine Einheit aufweist, die das Quadrat einer Längeneinheit ist, so muss auch der Neigungskorrekturfaktor für das Kantenschärfemaß ein Quadrat des Breitenkorrekturfaktors sein.

[0095] Nachstehend werden anhand der Zeichnungen in den [Fig. 27](#), [Fig. 28](#), [Fig. 25](#) und [Fig. 26](#) mehrere Beispiele für alternative Kantenschärfemaße beschrieben.

[0096] [Fig. 27](#) veranschaulicht eine Auftragung einer Folge von Gradienten quer zu einer Kante gegen die in Vielfachen des Abstands zwischen aufeinanderfolgenden Gradienten gemessene Distanz sowie eine Fläche A_3 eines schraffierten Bereichs unter der aufgetragenen Gradientenfolge. In diesem Beispiel ist der Bereich zwischen zwei Gradientenhöhen L_1 und L_2 definiert, die in Bezug auf einen interpolierten Spitzengradientenwert (alternativ den Spitzengradientenwert) der Gradientenfolge zum Beispiel als vorbestimmter Anteil des interpolierten Spitzengradientenwerts definiert sein können. Der schraffierte Bereich weist vier Ecken auf, bei denen es sich um interpolierte Gradienten handelt. Die Fläche dividiert durch den interpolierten Spitzengradientenwert (alternativ: den Spitzengradientenwert) ist ein gutes Kantenschärfemaß, da es eine Längeneinheit aufweist. Es sei angemerkt, dass alternative Definitionen des Bereichs möglich sind. Zum Beispiel kann der Bereich von oben nicht von der Gradientenhöhe L_1 , sondern von der Gradientenfolge begrenzt werden.

[0097] [Fig. 28](#) veranschaulicht eine Auftragung von Gradienten von Stichproben der Bilddaten quer zu einer Kante gegen die in Vielfachen des Abstands zwischen aufeinanderfolgenden Gradienten gemessene Distanz, einen Schwerpunkt **3401** (d. h. Momentennullpunkt) und Distanzen u_2, u_3, u_4, u_5 und u_6 der Gradienten (mit Gradientenwerten g_2, g_3, g_4, g_5 und g_6) vom Schwerpunkt. Ein gutes Kantenschärfemaß ist ein k -tes Zentralmoment der Gradienten um den Schwerpunkt, und zwar ein gewichtetes Mittel der Distanzen der Gradienten vom Schwerpunkt, wobei die Gewichte Beträge der jeweiligen Gradienten sind und k eine gerade Ganzzahl ist. Zum Beispiel kann k gleich 2 sein, was das Kantenschärfemaß zu einer Varianz macht, so als ob die Gradientenfolge eine Wahrscheinlichkeitsverteilung wäre. In diesem Beispiel weist das Kantenschärfemaß eine Einheit auf, die ein Quadrat einer Längeneinheit ist. Allgemeiner kann das Kantenschärfemaß eine Funktion von Distanzen zwischen mehreren Gradienten aus einer

Gradientenfolge und einer vordefinierten Position relativ zu den Gradienten sein, wobei die Folge als Array quer über die Kante angeordnet ist. Anstelle des Schwerpunkts kann es sich bei der vordefinierten Position auch um eine Position einer interpolierten Spitze für die Gradientenfolge handeln. Zur Teilnahme an dieser Berechnung kann gemäß einem vordefinierten Kriterium eine geeignete Teilmenge der Gradienten der Kante ausgewählt werden. Zum Beispiel kann an die Gradienten die Anforderung gestellt werden, Gradientenwerte aufzuweisen, die mindestens einen vorbestimmten Bruchteil des Spitzengradienten bzw. des Gradientenwerts einer interpolierten Spitze der Gradientenfolge erreichen.

[0098] [Fig. 25](#) veranschaulicht eine Auftragung einer Folge zweiter Ableitungen einer Folge von Stichproben von Bilddaten quer zu einer Kante gegen die in Vielfachen des Abstands zwischen aufeinanderfolgenden zweiten Ableitungen gemessene Distanz und zeigt a) eine Breite W_s zwischen einem Paar aus einer positiven und einer negativen Spitze, b) eine Breite W_1 zwischen einem Paar äußerster interpolierter zweiter Ableitungen mit gegebenem Betrag h_1 , c) eine Breite W_2 zwischen einem inneren Paar interpolierter zweiter Ableitungen mit dem gegebenen Betrag h_1 und d) eine Distanz D_1 zwischen einem Nulldurchgang (zwischen dem Paar aus positiver und negativer Spitze) und einer äußersten interpolierten zweiten Ableitung mit dem gegebenen Betrag h_1 . Jede der drei Breiten W_s, W_1 und W_2 kann als Kantenschärfemaß benutzt werden.

[0099] In dem Beispiel aus [Fig. 25](#) kann das Kantenschärfemaß weiterhin eine gewichtete Summe der Distanzen zwischen den zweiten Ableitungen und dem Nulldurchgang (zwischen dem Paar aus positiver und negativer Spitze, ggf. interpoliert) sein, wobei die Beträge der jeweiligen zweiten Ableitungen als Gewichtungen dienen. Allgemeiner kann das Kantenschärfemaß eine Funktion von Distanzen zwischen mehreren zweiten Ableitungen quer zur Kante und einer vordefinierten Position relativ zu den mehreren zweiten Ableitungen sein. Anstelle der Position des Nulldurchgangs ist auch ein Schwerpunkt ein guter Kandidat für die vordefinierte Position, wobei Beträge der zweiten Ableitungen als Gewichtungen dienen. Ein weiterer guter Kandidat für die vordefinierte Funktion kann der Mittelpunkt zwischen dem Paar aus positivem und negativem Gradienten sein.

[0100] [Fig. 26](#) veranschaulicht eine Auftragung einer Folge von Bilddaten von Pixeln einer Kante gegen die in Vielfachen des Abstands zwischen benachbarten Pixeln gemessene Distanz und zeigt a) eine Breite W_{Kante} und einen Kontrast C_{Kante} zwischen zwei Stichproben an zwei Enden der Kante, b) einen Spitzengradientenwert g_{Spitze} (generiert von dem Roberts-Operator) zwischen zwei Stichproben, der die steilste Änderung des Stichprobenwerts anzeigt, c) einen

schmalsten ungeteilten Abschnitt der Kante mit einem Kontrast C_1 und einer Breite W_{Teil2} , und d) einen schmalsten ungeteilten Abschnitt der Kante mit einem Kontrast C_2 und einer Breite W_{Teil2} . Wie zuvor erwähnt wurde, ist der Spitzengradientenwert g_{Spitze} dividiert durch den Kontrast C_{Kante} ein gutes Kantenschärfemaß. Die Breite W_{Kante} ist ein weiteres gutes Kantenschärfemaß. Die Breiten W_{Teil1} und W_{Teil2} sind ebenfalls gute Alternativen. Die Kontraste C_1 und/oder C_2 können so definiert sein, dass sie ein vorbestimmter Anteil des Kantekontrasts C_{Kante} sind. Alternativ hierzu können sie jeweils als vorbestimmtes Vielfaches eines Spitzengradienten der Kante wie dem Spitzengradienten g_{Spitze} definiert sein. Es sei hier auch angemerkt, dass der „schmalste ungeteilte Abschnitt“ durch interpolierte Stichproben von Bilddaten begrenzt sein kann, wie sie in [Fig. 26](#) durch Quadrate gezeigt werden, oder durch Ab- oder Aufrunden auf die nächstliegende Pixelzahl.

Gradienten-Asymmetrie

[0101] Die [Fig. 23A](#) und [Fig. 23B](#) veranschaulichen ein Verfahren, bei dem der Fokussignalgenerator das Fehlen von Symmetrie zu einer Spitze eines Gradientensignals (nachstehend auch als Gradientenprofil bezeichnet) erkennt, um die Auswirkungen einer zugehörigen Kante auf ein Autofokussteuerungssystem (etwa über ein Fokussignal, das als Funktion wie etwa als gewichtetes Mittel einer zugehörigen Kantenbreite oder Kantenzahl erzeugt wird, jedoch ohne darauf beschränkt zu sein) niedriger zu gewichten oder vollständig zu eliminieren. Die Spitze kann ein Spitzengradient aus einer fortlaufenden Folge von Gradienten sein. Alternativ hierzu kann die Spitze ein interpolierter Spitzengradient sein, der aus zwei oder mehr Gradienten aus der fortlaufenden Folge von Gradienten interpoliert wird. [Fig. 23A](#) zeigt ein Gradientenprofil eines Bildsignals quer zu zwei benachbarten Kanten mit entgegengesetzter Polarität (d. h. Vorzeichen), wobei die Kanten voneinander separiert sind und nicht miteinander interagieren. [Fig. 23B](#) dagegen zeigt ein Gradientenprofil eines Bildsignals quer zu zwei benachbarten Kanten mit entgegengesetzter Polarität, wobei die Kanten nahe genug beieinander sind, um miteinander zu interagieren. Aus einem Vergleich von [Fig. 23A](#) und [Fig. 23B](#) ist klar ersichtlich, dass die Gradientenprofile von benachbarten Kanten entgegengesetzten Vorzeichens (d. h., eine Kante hat positive Gradienten, die andere negative) bei zu großer Annäherung der Kanten aneinander ihre Symmetrie verlieren.

[0102] In [Fig. 23A](#) steigt das Gradientenprofil, von links nach rechts betrachtet, zu einem positiven Spitzengradienten **3210** links bei Position 6 an und fällt daraufhin zu einem negativen Spitzengradienten **3260** rechts bei Position 18 ab. Die Gradientenwerte sind normiert, so dass der Betrag der Spitzengradienten jeweils 1,0 ist. In der Nähe der beiden Spitzen-

gradienten **3210** und **3260** ist das Gradientenprofil jeweils links-rechts-symmetrisch um die jeweilige Spitze. Mit einem Schwellwert des 0,3-fachen des Betrags des jeweiligen Spitzengradienten entsprechen das positive Gradientenprofil **3211** und das negative Gradientenprofil **3261** jeweils einer Kantenbreite von 5 für die jeweilige Kante.

[0103] In [Fig. 23B](#) dagegen sind ein positiver Spitzengradient **3212** links bei Position 6 und eine negative Spitze **3262** rechts bei Position 9 näher beieinander als in [Fig. 23A](#). In [Fig. 23B](#) sind wie in [Fig. 23A](#) die Gradientenwerte normiert, so dass der Betrag der Spitzengradienten jeweils 1,0 ist. Die Kanten, die dem positiven Gradientenprofil **3213** bzw. dem negativen Gradientenprofil **3263** entsprechen, interagieren in [Fig. 23B](#) offensichtlich und heben einander teilweise auf, was eine Verringerung der Beträge der Gradienten zwischen der positiven Spitze **3212** bei Position 6 und der dicht dazu benachbarten negativen Spitze **3262** bei Position 9 zur Folge hat.

[0104] Infolgedessen fehlt es den Gradientenprofilen **3213**, **3263** an Spiegelsymmetrie zu den jeweiligen Kanten. Die fehlende Symmetrie springt besonders bei dem interpolierten Gradientenprofil (durchgezogene Kurve) in den Figuren ins Auge. Die fehlende Symmetrie kann innerhalb einer bestimmten Distanz zum Spitzengradienten gefunden werden (insbesondere die Distanz zwischen dem 0,2- bis 0,7-fachen der Kantenbreite der Kante) oder innerhalb eines bestimmten Bereichs von Gradientenhöhen zwischen der Spitzengradientenhöhe und einem von null verschiedenen Bruchteil davon (insbesondere innerhalb von 10% bis 90% der Spitzengradientenhöhe; spezieller innerhalb von 20% bis 80%). Zum Beispiel lässt sich Asymmetrie durch Vergleich der linken Seite und der rechten Seite des interpolierten Gradientenprofils innerhalb einer Distanz der halben Kantenbreite oder alternativ innerhalb eines Bereichs von Gradientenhöhen zwischen 20% und 80% der Spitzengradientenhöhe finden.

[0105] Als weitere Folge ist die Kantenbreite um die Spitzen **3212** und **3262** jeweils auf 4 reduziert, gemessen mit demselben Schwellwert von 0,3-mal dem Betrag des Spitzengradienten. Die auf diese Weise gemessenen Kantenbreiten beider Kanten stellen keinen Grad der Fokussierung mehr dar. Der Fokussignalgenerator kann die Asymmetrie erkennen und einen Beitrag einer zugehörigen Kantenbreite zu einem Fokussignal und/oder einer Kantenzahl entweder niedriger gewichten und/oder vollständig eliminieren lassen. Allgemeiner kann das Fokussteuerungssystem zum Erreichen schärfer Bilder durch Untersuchen der Schärfe von Kanten im Bild einen Einfluss einer Kante, quer zu derer das Gradientenprofil keine Symmetrie aufweist, niedriger gewichten oder vollständig eliminieren.

[0106] Isolierte Kanten in einem Bild, die von scharfen Grenzen in der Szene herrühren, weisen Gradientenprofile auf, die jeweils Links-rechts-Spiegelsymmetrie quer zu der jeweiligen isolierten Kante zeigen. In [Fig. 23A](#) liegt Links-rechts-Spiegelsymmetrie zur vertikalen Symmetrieachse (vertikale gestrichelte Linie) vor, die sich zufällig unter dem Spitzengradienten **3210** bei Position 6 befindet, so dass bei einer Spiegelung an der vertikalen Symmetrieachse der Gradient bei Position 4 auf den Gradienten bei Position 7 abgebildet wird und umgekehrt, der Gradient bei Position 3 auf den Gradienten bei Position 8 abgebildet wird und umgekehrt und so weiter. Dies ist zufällig der Fall, weil die Grenze, die der dem Gradientenprofil **3211** zugehörigen Kante entspricht, zufällig genau in ihrer Mitte abgetastet wurde. In vielen Fällen wird die Grenze nicht in ihrer Mitte abgetastet, und infolgedessen fällt die vertikale Spiegelachse nicht mit einer Pixelposition zusammen, sondern findet sich zwischen zwei Pixeln. Nichtsdestotrotz lässt sich die Links-rechts-Spiegelsymmetrie anhand von Interpolation identifizieren, wie nachstehend erörtert wird.

[0107] [Fig. 24J](#) veranschaulicht ein weiteres typisches Gradientenprofil einer isolierten Kante. Der Spitzengradient **3212'** bei Position 6 und weitere vier Gradienten zu seiner Rechten bei den Positionen 2 bis 5 sowie weitere vier Gradienten zu seiner linken bei den Positionen 7 bis 10 bilden zusammen ein Gradientenprofil für die isolierte Kante. Eine interpolierte Spitze **3270'** ist ungefähr bei der Position 5,85 gezeigt, und unter der interpolierten Spitze **3270'** ist eine vertikale Spiegelachse **3271'** als gestrichpunktete Linie gezeigt. Die einzelnen Gradienten im Gradientenprofil werden bei einer Spiegelung an der Symmetrieachse **3271'** zwar nicht auf andere Gradienten in demselben Profil abgebildet, sie werden aber auf interpolierte Gradienten abgebildet. Zum Beispiel wird der Gradient bei Position 3 auf einen mit „X“ markierten interpolierten Gradienten (ungefähr bei Position 8,6) abgebildet, was sichtlich eine gute Interpolation zwischen den Gradienten bei den Positionen 8 und 9 ist, und umgekehrt. Auf gleiche Weise wird der Gradient bei Position 7 auf einen mit „+“ markierten interpolierten Gradienten (ungefähr bei Position 4,6) abgebildet, was sichtlich eine gute Interpolation zwischen den Gradienten bei den Positionen 4 und 5 ist, und umgekehrt. Weiterhin lässt sich sehen, dass ein interpolierter Gradient auf einen anderen interpolierten Gradienten abgebildet wird und umgekehrt, wie etwa das Paar interpolierter Gradienten auf der Gradientenhöhe 0,5 (bei den Positionen 4 und 7,6), die jeweils mit einem Dreieck bzw. einem auf dem Kopf stehenden Dreieck markiert sind. Die Links-rechts-Spiegelsymmetrie ist besonders augenfällig, wenn das Gradientenprofil zu einem interpolierten Gradientenprofil interpoliert wird (durchgezogene Kurve in [Fig. 24J](#)). Es ist zu beachten, dass Mittelpunkte (wie die Mittelpunkte **3281'** und **3280'**) zwischen beiden

Seiten des Gradientenprofils auf zwei beliebigen Gradientenhöhen auf derselben Mittelpunktposition **3287** zusammenfallen, bei der es sich auch um die Position der interpolierten Spitze sowie um die Position der Symmetrieachse handelt.

[0108] Es ist allgemein bekannt, dass für das Vorliegen einer Links-rechts-Spiegelsymmetrie jede an einer vertikalen Symmetrieachse gespiegelte geometrische Form auf eine entsprechende geometrische Form abgebildet wird, d. h. mit dieser zusammenfällt. Solche geometrischen Formen umfassen Punkte (d. h. Gradienten oder interpolierte Gradienten), Linien, Kurven, begrenzte Gebiete, Ecken usw. Solchen geometrischen Formen entsprechen geometrische Parameter wie Distanz, Länge, Fläche, Steigung (d. h. erste Ableitung), Krümmung (d. h. zweite und höhere Ableitungen) usw. Zum Beispiel werden am interpolierten Gradientenprofil entlang verlaufende Segmente (oder geradlinige Segmente, die benachbarte Gradienten verbinden) auf andere Segmente auf der-/denselben Gradientenhöhe(n) abgebildet und weisen somit dieselbe Länge auf. Eine weitere Eigenschaft von Links-rechts-Spiegelsymmetrie besteht darin, dass Punkte auf der Spiegelachse auf sich selbst abgebildet werden, d. h., nicht bewegt werden. Daher weisen Sie dieselben Distanzen nach links und nach rechts auf. Es ist auch bekannt, dass bei zwei geometrischen Formen, die bei der Spiegelung aufeinander abgebildet werden, die vertikale Symmetrielinie exakt zwischen den beiden Formen liegt. Anhand dieser und weiterer allgemein bekannter Eigenschaften von Spiegelsymmetrie lassen sich verschiedene Verfahren erdenken, um zu testen, ob ein Gradientenprofil eine Links-rechts-Spiegelsymmetrie aufweist.

[0109] Aufgrund der Natur der Interpolation zwischen einer Näherung wird zur Überprüfung von Symmetrie beim Testen des Zusammenfallens geometrischer Formen für den bzw. die Parameter ein vorbestimmter Toleranzbereich benutzt. Angenommen, X und Y seien zwei Parameter, die gemessen werden, und eine perfekte Symmetrie würde exakt zu $X = Y$ führen, so kann ein Toleranzbereich derart spezifiziert werden, dass $-A < X - Y < B$ gelten muss, wobei A und B positive Zahlen sind. So führen Werte von X-Y, die größer als -A und kleiner als B sind, nicht dazu, dass Asymmetrie festgestellt wird, wohingegen Werte von X-Y, die positiver als B oder negativer als -A sind, zu einer Feststellung führen, dass keine ausreichende Symmetrie vorliegt. Der Bereich von Werten von X-Y, die weniger negativ als -A und weniger positiv als B sind, wird im Weiteren als Toleranzbereich bezeichnet, und die Grenzen des Toleranzbereichs sind die Asymmetrieschwellwerte. In diesem Beispiel sind somit -A und B die beiden Asymmetrieschwellwerte, die den Toleranzbereich für die Asymmetrie bestimmen, die von X und Y gemessen wird. Wenn der Wert von X-Y außerhalb des Toleranzbe-

reichs liegt, wird im Nachstehenden davon gesprochen, dass er den (relevanten) Asymmetrieschwellwert übersteigt. Wenn zum Beispiel $(X-Y)$ positiver als B ist, so wird davon gesprochen, dass $(X-Y)$ den Asymmetrieschwellwert B überschreitet. Wenn $(X-Y)$ negativer als $-A$ ist, so wird davon gesprochen, dass $(X-Y)$ den Asymmetrieschwellwert $-A$ überschreitet. „Überschreiten“ bedeutet in diesem Kontext, dass der Parameter $(X-Y)$ die einschlägige Grenze des Toleranzbereichs überschritten und dabei den Toleranzbereich verlassen hat.

[0110] Alternativ hierzu kann eine Funktion von Z , wobei $Z = (1 - X/Y)$, benutzt werden, um ein relatives Ausmaß zu definieren, um das ein Beitrag der Kante zu dem Fokussignal im Vergleich zum Beitrag anderer beitragender Kanten zu reduzieren ist. Diese Funktion von Z kann zum Beispiel eine S-Kurven-Funktion sein, die von dem Betrag von Z derart abhängt, dass die Funktion einen Wert von eins annimmt, wenn Z null ist (d. h. $X = Y$, wie bei perfekter Symmetrie) und mit Annäherung von $|Z|$ an einen Cut-off-Wert langsam ansteigt, denn schnell ansteigt, wenn $|Z|$ dem Cut-off-Wert nahe ist und ihn schließlich überschreitet und daraufhin gegen null konvergiert.

[0111] Nachstehend werden verschiedene Methoden zum Erkennen fehlender Links-rechts-Spiegelsymmetrie in einem Gradientenprofil quer zu einer Kante beschrieben, die Auflistung ist jedoch nicht erschöpfend. Dieser Aspekt der Erfindung, d. h., das Eliminieren oder Dämpfen eines Beitrags einer Kante zu einem Fokussignal oder einer Fokussteuerung, ist nicht auf die nachstehend erörterten konkreten Verfahren zum Erkennen fehlender Spiegelsymmetrie des Gradientenprofils quer zu der Kante beschränkt, sondern umfasst auch deren Äquivalente, Annäherungen, offensichtliche und/oder bekannte Varianten sowie jedes beliebige Berechnungsverfahren, das eine oder mehrere der vorstehend erörterten Eigenschaften von Spiegelsymmetrie nutzt.

[0112] Ein Verfahren zum Erkennen des Fehlens von Symmetrie besteht darin, eine Differenz zwischen einer Anzahl von Pixeln auf einer Seite des Spitzengradienten und der auf der anderen Seite zu ermitteln, wobei die zu den Pixeln gehörenden Gradientenbeträge über einem bestimmten Bruchteil eines Betrags des Spitzengradienten liegen. Ein Anzahlasymmetrieschwellwert kann zum Beispiel auf 0,5 festgelegt werden, so dass fehlende Symmetrie erkannt wird, wenn die Pixelanzahl auf einer Seite die Pixelanzahl auf der anderen Seite um mehr als den Anzahlasymmetrieschwellwert überschreitet. Dies wird beispielhaft in [Fig. 23A](#) und [Fig. 23B](#) veranschaulicht, wo ein Bruchteil von 0,3 und ein Anzahlasymmetrieschwellwert von 0,5 verwendet werden. In [Fig. 23B](#) liegen für die positive Spitze auf der linken Seite bei Position 6 über einer Gradientenhöhe

von +0,3 zwei Pixel links bei den Positionen 4 bzw. 5 und zwei Pixel rechts bei den Positionen 7 bzw. 8. Die Pixelzahlen auf der linken und der rechten Seite sind gleich, so dass keine Asymmetrie erkannt wird. In [Fig. 23B](#) dagegen liegen für die positive Spitze auf der linken Seite bei Position 6 über einer Gradientenhöhe von +0,3 zwei Pixel links bei den Positionen 4 bzw. 5, aber nur ein Pixel rechts bei Position 7. Bei dem positiven Gradientenprofil **3213** links in [Fig. 23B](#) befinden sich auf der linken Seite ein Pixel mehr als auf der rechten Seite, was den Anzahlasymmetrieschwellwert von 0,5 überschreitet, und somit wird fehlende Symmetrie erkannt.

[0113] Eine Modifikation besteht darin, von den Gradienten aus zu interpolieren, um eine fraktionale Pixelposition **3272** („interpolierte Spitzenposition“) zu ermitteln, bei welcher ein interpoliertes Gradientenprofil einen maximalen Betrag („interpolierter Spitzengradient“) erreicht. Diese interpolierte Spitzenposition kann benutzt werden, um die Distanzen nach links und rechts zu berechnen, wie nachstehend beschrieben wird. Der interpolierte Spitzengradient kann auch dazu benutzt werden, die Gradientenhöhe zu berechnen, bei der diese Distanzen gemessen werden oder über bzw. unter denen Pixel gezählt werden.

[0114] Beispielsweise sind in [Fig. 24A](#) eingezeichnet: eine vertikale gestrichpunktete Linie unter einer interpolierten Spitze **3270**, eine horizontale gepunktete Linie **3275** quer zum interpolierten Gradientenprofil (durchgezogene Kurve) auf Gradientenhöhe 0,95 (oberer Gradientenschwellwert), eine horizontale gestrichelte Linie **3273** quer zum interpolierten Gradientenprofil auf Gradientenhöhe 0,25 (unterer Gradientenschwellwert). Links des Spitzengradienten **3212** (bei Position 6) werden zwei Pixel bei den Positionen 4 bzw. 5 gezählt, rechts nur ein Pixel bei Position 7. Ob auf den Spitzengradienten **3212** (bei Position 6 in diesem Beispiel) oder auf die interpolierte Spitze **3270** (ungefähr bei Position 5,8) Bezug genommen wird, hat keine Auswirkung auf die Feststellung von Asymmetrie, da im ersten Falle der Spitzengradient **3212** weder für die linke noch für die rechte Seite mitgezählt wird, während im letzteren Falle ein oberer Schwellwert **3275** (0,95 in diesem Beispiel, im Allgemeinen zwischen 0,85 und 0,97) dafür sorgt, dass der Spitzengradient **3212** nicht für die rechte Seite mitgezählt wird.

[0115] Eine Modifikation des vorstehenden Verfahrens besteht darin, die Distanzen vom Spitzengradienten nach links bzw. nach rechts bis an die Punkte (die „Kreuzungspunkte“) zu bestimmen, an denen das interpolierte Gradientenprofil eine bestimmte Gradientenhöhe kreuzt, bei der es sich um einen Bruchteil (bevorzugt zwischen 10% und 90%, besonders bevorzugt zwischen 20% und 80%) des Gradientenwerts des Spitzengradienten **3212** (oder alter-

nativ dazu der interpolierten Spitze **3270**) handelt, und fehlende Symmetrie festzustellen, falls die größere Distanz die kleinere Distanz um einen bestimmten Breitenasymmetrieschwellwert oder mehr übersteigt. Mit anderen Worten, wenn das Ergebnis der Subtraktion einer Distanz von der anderen Distanz negativer als $-(\text{Breitenasymmetrieschwellwert})$ oder positiver als der Breitenasymmetrieschwellwert ist, verursacht dies eine Feststellung fehlender Symmetrie. Der Toleranzbereich belegt somit ein zu null symmetrisches Zahlenintervall. Der Breitenasymmetrieschwellwert kann auf verschiedene Weisen bestimmt werden. Er kann als feste Zahl für ein Bild vorgegeben werden, oder als eine von der Kantenbreite der zu der Spitze gehörigen Kante abhängige Zahl, wie etwa 10% der Kantenbreite, falls die Kantenbreite 3 oder kleiner ist, und 7% der Kantenbreite, falls die Kantenbreite breiter als 3, aber geringer als 5 ist. Weitere sinnvolle Abhängigkeiten davon, wie das Bildsignal (aus dem die Gradienten in dem Gradientenprofil erzeugt werden) erzeugt wird, und/oder davon, wie die Gradienten in dem Gradientenprofil erzeugt werden, sind bei der Bestimmung des Breitenasymmetrieschwellwerts zulässig, insbesondere, um Ungenauigkeiten beim Interpolieren der Spitze und/oder beim Interpolieren der Kreuzungspunkte zu berücksichtigen. [Fig. 24A](#) veranschaulicht auch dieses Asymmetrienerkennungsverfahren. Die Distanzen können ausgehend von dem Spitzengradienten **3212** (bei Position 6) oder alternativ dazu von der interpolierten Spitze **3270** (ungefähr bei Position 5,8) gemessen werden. In diesem Beispiel werden die Distanzen W_L und W_R ausgehend von der interpolierten Spitze **3270**, gemessen, wobei sich Werte von ca. 2,5 bzw. 1,3 und eine Differenz von 1,2 ergeben. Die Kantenbreite wird auf einer normierten Gradientenhöhe von +0,3 gemessen, wobei sich ein Wert von ca. 3,7 ergibt. Der Breitenasymmetrieschwellwert kann als Bruchteil der Kantenbreite angegeben werden, zum Beispiel 15%, was einen Wert von 0,56 ergibt. Da die Differenz (1,2) den Breitenasymmetrieschwellwert (0,56) überschreitet, wird Fehlen von Symmetrie festgestellt. Man beachte: Ob auf den Spitzengradienten **3212** (bei Position 6 in diesem Beispiel) oder auf die interpolierte Spitze **3270** (ungefähr bei Position 5,8) Bezug genommen wird, hat nur unwesentliche Auswirkung auf das Fokussignal oder das Fokussteuerungssystem, da die Differenz zwischen ihren Positionen im Allgemeinen kleiner als 0,5 und in der Regel kleiner als 0,3 ist, was zu einer Differenz bei $|W_L - W_R|$ von weniger als 0,6 führt. In der großen Mehrheit von Situationen, in denen Gradientenprofile quer zu Kanten asymmetrisch werden, ist die Nichtübereinstimmung zwischen W_L und W_R weitaus größer als 0,6. Ob also die eine oder die andere Spitze zur Messung von W_L und W_R herangezogen wird, wirkt sich daher nur bei einer vernachlässigbaren Minderheit von Kanten auf das Feststellen fehlender Symmetrie aus.

[0116] Ein alternatives Verfahren besteht darin, zwei Flächen auszuwerten – eine links und eine rechts des Spitzengradienten **3212** (alternativ der interpolierten Spitze **3270**) – und die Flächen anhand eines vorgegebenen Kriteriums mit einem Flächenasymmetrieschwellwert zu vergleichen. Jede der beiden Flächen kann auf einer Seite von einer vertikalen Linie unter dem Spitzengradienten (oder der interpolierten Spitze) begrenzt werden, auf der anderen Seite von dem interpolierten Gradienten (durchgezogene Kurve) (oder alternativ dazu durch gerade Linien, die aufeinanderfolgende Gradienten miteinander verbinden) und oben und unten von einer oberen und einer unteren Gradientenhöhe, die sich jeweils bei einem anderen vorbestimmten Bruchteil der Höhe des Spitzengradienten (oder alternativ, der interpolierten Spitzengradientenhöhe, d. h. der Gradientenhöhe der interpolierten Spitze) befinden (alternativ hierzu wird die Fläche nicht von einer oberen Gradientenhöhe begrenzt, sondern einfach von den Gradienten bzw. dem interpolierten Gradientenprofil). Beispielhaft ist in [Fig. 24B](#), wo das Gradientenprofil normiert ist, so dass die interpolierte Spitze eine Gradientenhöhe von 1,0 aufweist, eine obere Gradientenhöhe **3276** bei 0,75 und eine untere Gradientenhöhe **3274** bei 0,2 eingezeichnet. Ein Bereich **3277** (mit einer Fläche A_L) (links der positiven interpolierten Spitze **3270**) wird von oben durch die obere Gradientenhöhe **3276**, von unten durch die untere Gradientenhöhe **3274**, von rechts von der vertikalen gestrichpunkteten Linie unter der interpolierten Spitze und von links durch das interpolierte Gradientenprofil (durchgezogene Kurve) begrenzt. Ein Bereich **3278** (mit einer Fläche A_R) (rechts derselben Spitze **3270**) wird auf die gleiche Weise von oben und unten begrenzt und wird von rechts von dem interpolierten Gradientenprofil und von links von der vertikalen gestrichpunkteten Linie begrenzt. Fehlende Symmetrie wird erkannt, wenn die Flächen A_L und A_R gemäß einem vorgegebenen Kriterium um mehr als einen vorbestimmten Grenzwert voneinander abweichen. Zum Beispiel kann Asymmetrie erkannt werden, wenn die größere Fläche die kleinere Fläche um einen Flächenasymmetrieschwellwert oder mehr übersteigt. Der Flächenasymmetrieschwellwert kann auf eine von mehreren möglichen Weisen ausgedrückt werden. Er kann als Prozentsatz (der kleineren Fläche) ausgedrückt werden, der ein fester Wert für das Bild oder alternativ eine Funktion der Kantenbreite der zugehörigen Kante sein kann. Alternativ hierzu kann er als Flächendifferenz für das normierte Gradientenprofil ausgedrückt werden. Weitere sinnvolle Abhängigkeiten davon, wie das Bildsignal (aus dem die Gradienten in dem Gradientenprofil erzeugt werden) erzeugt wird, und/oder davon, wie die Gradienten in dem Gradientenprofil erzeugt werden, sind bei der Bestimmung des Flächenasymmetrieschwellwerts zulässig.

[0117] Bei einem weiteren Verfahren, das in [Fig. 24](#) gezeigt ist, wird eine gemeinsame Distanz W_0 zwischen der interpolierten Spitze **3270** (oder alternativ dem Spitzengradienten **3212**) und der linken bzw. der rechten Seite des Gradientenprofils gemessen. Anders ausgedrückt werden interpolierte Gradienten berechnet (bzw. Gradienten ermittelt), deren Distanzen zu der vertikalen gestrichpunkteten Linie unter der interpolierten Spitze **3270** (oder dem Spitzengradienten **3212**) jeweils W_0 betragen. Bei einem perfekt symmetrischen Gradientenprofil lägen beide interpolierten Gradienten auf einer gemeinsamen Gradientenhöhe. Bei einem asymmetrischen Gradientenprofil dagegen liegen die interpolierten Gradienten auf unterschiedlichen Gradientenhöhen G_l **3252**, G_h **3253**. Fehlende Symmetrie wird erkannt, wenn die Gradientenhöhen G_l und G_h sich gemäß einem vorbestimmten Kriterium um mehr als einen vorbestimmten Grenzwert voneinander unterscheiden. Zum Beispiel kann die Asymmetrie erkannt werden, wenn der Überschuss G_{hl} der größeren Gradientenhöhe G_h **3253** gegenüber der kleineren Gradientenhöhe G_l **3252** die kleinere Gradientenhöhe G_l um einen Gradientenasymmetrieschwellwert oder mehr übersteigt. Der Gradientenasymmetrieschwellwert kann auf eine von mehreren möglichen Weisen ausgedrückt werden. Er kann als Prozentsatz (z. B. des kleineren Gradienten G_l) ausgedrückt werden, der ein fester Wert für das Bild oder alternativ eine Funktion der Kantenbreite der zugehörigen Kante sein kann. Alternativ hierzu kann er als Gradientenhöhendifferenz für das normierte Gradientenprofil ausgedrückt werden. Weitere sinnvolle Abhängigkeiten davon, wie das Bildsignal (aus dem die Gradienten in dem Gradientenprofil erzeugt werden) erzeugt wird, und/oder davon, wie die Gradienten in dem Gradientenprofil erzeugt werden, sind bei der Bestimmung des Gradientenasymmetrieschwellwerts zulässig. Die gemeinsame Distanz W_0 kann gleich einem vorbestimmten Bruchteil der Kantenbreite gewählt werden, zum Beispiel als Bruchteil zwischen 0,1 und 0,5, bevorzugt zwischen 0,2 und 0,4. Alternativ hierzu kann W_0 gleich der kleineren der beiden Distanzen zwischen der interpolierten Spitze **3270** (oder alternativ dem Spitzengradienten **3212**) und einem Paar interpolierter Gradienten oder Gradienten auf einer gegebenen Gradientenhöhe, die ein vorbestimmter Bruchteil der Spitzengradientenhöhe ist, gewählt werden. In diesem Falle kann G_h alleine der Parameter sein, der einen Asymmetriegrad angibt. Eine Gradientenasymmetrieschwelle kann daraufhin so gewählt werden, dass das Fehlen von Asymmetrie erkannt wird, wenn G_h den Schwellwert überschreitet. Weitere Varianten, wie W_0 definiert werden kann und wie das Kriterium definiert werden kann, sind möglich und dem Fachmann zugänglich.

[0118] Eine Modifikation des unmittelbar vorstehenden Verfahrens besteht darin, einen Vergleich zwischen ersten oder zweiten Ableitungen bei diesen

beiden interpolierten Gradienten auf den Gradientenhöhen W_l bzw. W_h durchzuführen. Bei einem perfekt symmetrischen Gradientenprofil würden beide interpolierten Gradienten erste Ableitungen aufweisen, die sich in ihren Vorzeichen unterscheiden, aber im Übrigen identisch sind, sowie zweite Ableitungen, die in Vorzeichen und Betrag identisch sind. Bei einem asymmetrischen Gradientenprofil dagegen weichen die ersten und die zweiten Ableitungen bei den interpolierten Gradienten in der Regel voneinander ab. Fehlende Symmetrie wird erkannt, wenn die Beträge der ersten Ableitungen bei den beiden interpolierten Gradienten (oder ggf. Gradienten) gemäß einem vorgegebenen Kriterium um mehr als einen vorbestimmten Grenzwert voneinander abweichen. Zum Beispiel kann die Asymmetrie erkannt werden, wenn die größere erste Ableitung die kleinere erste Ableitung dem Betrag nach um einen Asymmetrieschwellwert oder mehr übersteigt. Als weiteres Beispiel kann die Asymmetrie erkannt werden, wenn durch Subtraktion einer der zweiten Ableitungen von der anderen eine Differenz entsteht, die einen Asymmetrieschwellwert übersteigt. Der Asymmetrieschwellwert kann auf eine von mehreren möglichen Weisen ausgedrückt werden. Er kann als Prozentsatz (z. B. der kleineren ersten/zweiten Ableitung) ausgedrückt werden, der ein fester Wert für das Bild oder alternativ eine Funktion der Kantenbreite der zugehörigen Kante sein kann. Weitere sinnvolle Abhängigkeiten davon, wie das Bildsignal (aus dem die Gradienten in dem Gradientenprofil erzeugt werden) erzeugt wird, und/oder davon, wie die Gradienten in dem Gradientenprofil erzeugt werden, sind bei der Bestimmung des Gradientenasymmetrieschwellwerts zulässig.

[0119] Bei den vorstehenden Verfahren zum Erkennen von Asymmetrie anhand von Pixelzahl oder Distanz ([Fig. 24A](#)) oder Fläche ([Fig. 24B](#)) kann zum Aufteilen der Zahlen oder Distanzen oder Flächen anstelle einer interpolierten Spitze oder eines Spitzengradienten auch ein Mittelpunkt wie der zuvor beschriebene herangezogen werden. Zum Beispiel kann beim Aufteilen der Fläche zwischen der oberen Gradientenhöhe **3276** und der unteren Gradientenhöhe **3274** in zwei Bereiche mit den Flächen A_L bzw. A_R (siehe [Fig. 24B](#)) anhand der vertikalen gestrichpunkteten Linie direkt unter der interpolierten Spitze **3270** eine vertikale Linie von einem Mittelpunkt zwischen dem Paar Schnittpunkte zwischen der oberen Gradientenhöhe (horizontale gepunktete Linie auf der normierten Gradientenhöhe 0,75) und dem interpolierten Gradientenprofil (durchgezogene Kurve) gezogen werden. Alternativ hierzu kann sie von einem Mittelpunkt zwischen dem Paar Schnittpunkte zwischen der unteren Gradientenhöhe (horizontale gestrichelte Linie auf der normierten Gradientenhöhe 0,2) aus gezogen werden. Alternativ hierzu kann sie von einem Mittelpunkt zwischen einem Paar Schnittpunkte zwischen dem interpolierten Gradientenprofil und einer beliebigen Gradientenhöhe innerhalb eines Bereichs

vorbestimmter Prozentanteile an der Gradientenhöhe des Spitzengradienten z. B. zwischen 10% und 90% gezogen werden.

[0120] Eine weitere Modifikation an dem obigen Flächenverfahren besteht darin, Längen der interpolierten Gradientenkurve (alternativ von geraden Liniensegmenten, die aufeinanderfolgende Gradienten miteinander verbinden) zwischen der oberen und der unteren Gradientenhöhe **3274**, **3276** auszuwerten. Beispielsweise weist in [Fig. 24C](#) die interpolierte Gradientenkurve ein Segment auf der linken Seite (mit einer Länge L_L) zwischen normierten Gradientenhöhen von 0,25 und 0,75 auf, das länger als ein Segment auf der rechten Seite ist, dessen Länge L_R klar kürzer ist, was ein Fehlen von Symmetrie angibt. Fehlende Symmetrie wird erkannt, wenn die Längen L_L und L_R gemäß einem vorgegebenen Kriterium um mehr als einen vorbestimmten Grenzwert voneinander abweichen. Zum Beispiel kann die Asymmetrie erkannt werden, wenn die längere Länge die kürzere Länge um einen Längenasymmetrieschwellwert oder mehr übersteigt. Wie der oben erwähnte Flächenasymmetrieschwellwert kann auch der Längenasymmetrieschwellwert auf eine von mehreren möglichen Weisen ausgedrückt werden. Er kann als Prozentsatz (z. B. des der kürzeren Länge), vorzugsweise zwischen 10% und 30%, ausgedrückt werden, der ein fester Wert für das Bild oder alternativ eine Funktion der Kantenbreite der zugehörigen Kante sein kann. Alternativ hierzu kann er als Längendifferenz für das normierte Gradientenprofil ausgedrückt werden. Weitere sinnvolle Abhängigkeiten davon, wie das Bildsignal (aus dem die Gradienten erzeugt werden) erzeugt wird, und/oder davon, wie die Gradienten erzeugt werden, sind bei der Bestimmung des Längenasymmetrieschwellwerts zulässig. Es sei angemerkt, dass es wie zuvor für das Fokussteuersystem bzw. im Speziellen für das Fokussignal unerheblich ist, ob beim Festlegen der unteren oder oberen Gradientenhöhe auf den Spitzengradienten **3212** oder die interpolierte Spitze **3270** Bezug genommen wird. Die Wahl führt zu einer sehr geringfügigen Längendifferenz, so dass in der großen Mehrheit von Situationen, bei denen zwei Kanten mit umgekehrtem Vorzeichen zu nah beieinander liegen und ihre Kantenbreiten dadurch beeinträchtigt werden, der Unterschied zwischen L_L und L_R viel größer ist. Ob also die eine oder die andere Spitze zur Messung von L_L und L_R herangezogen wird, wirkt sich daher nur bei einer vernachlässigbaren Minderheit von Kanten auf das Feststellen von fehlender Symmetrie aus.

[0121] Das unmittelbar vorstehend beschriebene und anhand von [Fig. 24C](#) veranschaulichte Verfahren kann modifiziert werden. Anstatt die Längen L_L und L_R zu vergleichen, können auf gleichartige Weise die Flächen A'_L und A'_R der schraffierten Bereiche auf der linken bzw. rechten Seite miteinander verglichen werden. Ein Flächenasymmetrieschwellwert kann auf

gleichartige Weise definiert und zum Vergleichen mit einem Betrag der Differenz zwischen A'_L und A'_R benutzt werden.

[0122] Das unmittelbar vorstehend beschriebene und anhand von [Fig. 24C](#) veranschaulichte Längenverfahren kann noch auf weitere Weise modifiziert werden. Es erfolgt ein Vergleich der Distanz auf der linken Seite (W_{BL}) zwischen den Punkten, an denen die interpolierte Gradientenkurve den oberen bzw. unteren Gradienten schneidet, mit der entsprechenden Distanz auf der rechten Seite (W_{BR}). Fehlende Symmetrie wird festgestellt, wenn W_{BL} und W_{BR} gemäß einem vorbestimmten Kriterium zu sehr voneinander abweichen. Beispielsweise wird fehlende Symmetrie festgestellt, wenn der größere Wert aus W_{BL} und W_{BR} den kleineren Wert um mehr als einen Breitenasymmetrieschwellwert überschreitet. Wiederum kann der Breitenasymmetrieschwellwert auf eine Weise ähnlich wie einer der verschiedenen vorstehenden Asymmetrieschwellwerte vorgegeben werden.

[0123] [Fig. 24H](#) veranschaulicht ein alternatives Verfahren, das zu dem unmittelbar vorstehend beschriebenen Breitenverfahren äquivalent ist. Dieses Verfahren berechnet einen ersten Mittelpunkt **3281** (oberer Mittelpunkt) zwischen den beiden interpolierten Gradienten **3284**, **3285** auf der oberen Gradientenhöhe **3276** und einen zweiten Mittelpunkt **3280** (unterer Mittelpunkt) zwischen den beiden interpolierten Gradienten **3282**, **3284** auf der unteren Gradientenhöhe **3274** und berechnet eine Distanz X_{ab} zwischen dem ersten **3281** und dem zweiten **3280** Mittelpunkt. Ein perfekt symmetrisches Gradientenprofil weist eine vernachlässigbare Distanz zwischen dem ersten **3281** und dem zweiten **3280** Mittelpunkt auf („Mittelpunktdistanz“), d. h., die Mittelpunkte fallen zusammen, wie in [Fig. 24J](#). Fehlende Symmetrie wird erkannt, wenn die Mittelpunktdistanz einen bestimmten Mittelpunktdistanz-Asymmetrieschwellwert übersteigt. Die Mittelpunktdistanz ist das Doppelte von $|W_{BL} - W_{BR}|$. Bei einer Variante dieses Verfahrens wird nur eine Gradientenhöhe **3274** benutzt und nur der entsprechende Mittelpunkt **3280** berechnet, und eine Distanz X_{bPk} wird zwischen dem Spitzengradienten **3212** (oder alternativ der interpolierten Spitze **3270**) und dem einzelnen Mittelpunkt **3280** gemessen, wie auch in [Fig. 24H](#) gezeigt ist.

[0124] Noch ein weiteres Verfahren besteht darin, erste Ableitungen von Steigungen des Gradientenprofils auf beiden Seiten des Spitzengradienten **3212** (alternativ der interpolierten Spitze **3270**) zu ermitteln und die ersten Ableitungen anhand eines vorgegebenen Kriteriums zu vergleichen, um zu bestimmen, ob fehlende Symmetrie vorliegt. Wenn zum Beispiel der Betrag der ersten Ableitung der steileren Steigung den der weniger steileren Steigung um einen Erste-Ableitung-Asymmetrieschwellwert oder mehr über-

steigt, wird fehlende Symmetrie festgestellt. Ein perfekt symmetrisches Gradientenprofil dagegen weist identische erste Ableitungen auf beiden Seiten auf, die sich nur in ihrem Vorzeichen unterscheiden, dem Betrag nach aber identisch sind. Die ersten Ableitungen können mittels einer Interpolation näherungsweise berechnet werden. Die ersten Ableitungen können näherungsweise bei einer Gradientenhöhe berechnet werden, die ein bestimmter Bruchteil (vorzugsweise zwischen 10% und 90%, besonders vorzugsweise zwischen 20% und 80%) des Spitzengradientenwerts ist, zum Beispiel 0,5. In [Fig. 23B](#) beträgt die Gradientenhöhe das 0,5-fache der Gradientenhöhe des Spitzengradienten **3212**, und es liegt ein Paar aus aufeinanderfolgenden ansteigenden und abfallenden Steigungen vor, eine auf jeder Seite des positiven Spitzengradienten **3212**. Die Steigung auf der rechten Seite ist auf verdächtige Weise steiler als die auf der linken Seite. [Fig. 24D](#) zeigt, wie die ersten Ableitungen an dem normierten Gradientenprofil bei einer Gradientenhöhe von 0,25 ausgewertet und durch die Hypotenusen rechtwinkliger Dreiecke (schraffiert) angenähert werden, die eine Kathete mit einer Breite von 1 aufweisen und die linke bzw. rechte Seite des interpolierten Gradientenprofils berühren. Die ersten Ableitungen werden durch die Höhen der Dreiecke S_L bzw. S_R angenähert. [Fig. 24E](#) veranschaulicht einen weiteren Weg zum Annähern der ersten Ableitungen durch zwei Dreiecke mit identischer Kathetenbreite (1 in der Figur). Die Kathete jedes Dreiecks ist um eine Position zentriert, an welcher das interpolierte Gradientenprofil eine Gradientenhöhe von 0,25 aufweist. Beide Enden der zugehörigen Hypotenuse befinden sich einen halben Pixel davon entfernt und nehmen als Gradientenwert einen aus dem Gradientenprofil interpolierten Gradientenwert an. Durch die Höhen S'_L und S'_R dividiert durch die Breite der Kathete – 1 der Figur – werden die ersten Ableitungen angenähert. Wie allgemein bekannt ist, gibt es verschiedene Verfahren zum Annähern einer ersten Ableitung anhand einer Folge von Datenpunkten, und daher ist dieser Aspekt der Erfindung nicht auf die vorstehend gegebenen konkreten Beispiele beschränkt, sondern umfasst alle äquivalenten Verfahren und alle Annäherungen zum Erhalten der ersten Ableitung.

[0125] Noch ein weiteres Verfahren besteht darin, zweite Ableitungen des Gradientenprofils auf beiden Seiten des Spitzengradienten **3212** (alternativ der interpolierten Spitze **3270**) zu ermitteln und die zweiten Ableitungen anhand eines vorgegebenen Kriteriums zu vergleichen, um zu bestimmen, ob Asymmetrie vorliegt. Wenn zum Beispiel die eine die andere um einen Zweite-Ableitung-Asymmetrieschwellwert oder mehr überschreitet, wird fehlende Symmetrie festgestellt. Ein perfekt symmetrisches Gradientenprofil dagegen weist identische zweite Ableitungen auf beiden Seiten auf, die sowohl beim Vorzeichen als auch beim Betrag übereinstimmen. Die zweiten Ableitungen können mittels einer Interpolati-

on näherungsweise berechnet werden. Die zweiten Ableitungen können bei einer Gradientenhöhe berechnet werden, die ein bestimmter Bruchteil (vorzugsweise zwischen 10% und 90%, besonders vorzugsweise zwischen 20% und 80%) des Spitzengradientenwerts ist, zum Beispiel 0,25. [Fig. 24F](#) veranschaulicht ein Verfahren zum Annähern der zweiten Ableitung. Zuerst werden ein Tripel aufeinanderfolgender äquidistanter Gradienten oder interpolierter Gradienten **3295**, **3296**, **3297** auf der linken Seite und ein weiteres Tripel **3291**, **3292**, **3293** auf der rechten Seite ermittelt, deren jeweilige Mittelpunkte **3296**, **3292** auf der normierten Gradientenhöhe 0,25 liegen. Für einen gegebenen Abstand innerhalb der Tripel sind die jeweiligen Höhen (D_L und D_R) eines arithmetischen Mittels der normierten Gradientenwerte der jeweiligen äußeren Punktepaare (**3295**, **3297** links und **3291**, **3293** rechts) über der normierten Gradientenhöhe von 0,25 eine Annäherung an die betreffende zweite Ableitung. Wie [Fig. 24F](#) zeigt, ist D_L positiv, während D_R negativ ist.

[0126] [Fig. 24G](#) veranschaulicht eine andere Annäherung für die zweite Ableitung bei einer normierten Gradientenhöhe von 0,18. Auf jeder Seite ist über und unter dem Kreuzungspunkt zwischen dem interpolierten Gradientenprofil und der Gradientenhöhe von 0,18 (d. h., über und unter einem Gradienten oder interpolierten Gradienten auf dieser Gradientenhöhe) jeweils ein Dreieck eingepasst. Die Hypotenusen der einzelnen Dreiecke sind jeweils unter einem solchen Winkel geneigt, dass sie an das interpolierte Gradientenprofil angepasst sind. Die Höhen S_{UL} und S_{LL} der Dreiecke auf der linken Seite (S_{UR} und S_{LR} der Dreiecke auf der rechten Seite) werden voneinander subtrahiert, um die zweite Ableitung D_L (D_R) zu ermitteln. Die umgekehrten Vorzeichen der zweiten Ableitungen werden durch die Pfeile angezeigt: Pfeil nach oben für D'_L , Pfeil nach unten für D'_R . Dieses Gradientenprofil weist offenkundig eine relevante Nichtübereinstimmung der zweiten Ableitungen auf den beiden Seiten auf und ist also asymmetrisch.

[0127] Wie allgemein bekannt ist, gibt es verschiedene Verfahren zum Annähern einer zweiten Ableitung anhand einer Folge von Datenpunkten, und daher ist dieser Aspekt der Erfindung nicht auf die vorstehend angeführten konkreten Beispiele beschränkt, sondern umfasst alle äquivalenten Verfahren und alle möglichen Annäherungen für die zweite Ableitung.

[0128] Zwar beschreiben die vorstehenden Beispiele das Erkennen des Fehlens von Spiegelsymmetrie anhand verschiedener Messparameter, doch können zwei oder mehr der obigen Verfahren gleichzeitig benutzt werden, um die jeweiligen Messparameter zu berechnen, und diese Messparameter können kombiniert werden, um einen Vergleichsparameter für den Vergleich mit einem Asymmetrieschwellwert oder allgemeiner einem vorbestimmten Toleranzbe-

reich zu bilden, so dass fehlende Spiegelsymmetrie erkannt wird, wenn ein Wert des Vergleichsparameters außerhalb des Toleranzbereichs liegt. Zum Beispiel können die Distanzen zwischen Mittelpunkten X_{ab} (Fig. 24H) und die Differenz zwischen ersten Ableitungen $S_R - S_L$ (Fig. 24D) zu einem gewichteten Mittel Z kombiniert und dann mit einem Asymmetrieschwellwert α verglichen werden, der einen Toleranzbereich als Intervall $-\alpha < Z < \alpha$ definiert.

[0129] Das Erkennen, dass die Kante eine Asymmetrie bei einer Folge von Gradienten quer zu sich selbst aufweist, muss nicht notwendigerweise eine Berechnung unmittelbar mit der Gradientenfolge involvieren.

[0130] Die Asymmetrie kann auch an den Bildstichprobenwerten quer zu der Kante erkannt werden. Bezugnehmend auf Fig. 26 werden die Mitten der beiden schmalsten ungeteilten Abschnitte der Kante, die die Kontraste C1 bzw. C2 aufweisen, übereinstimmen, falls die Gradienten perfekt symmetrisch sind. Eine Fehlanpassung zwischen den Mitten zeigt Asymmetrie an. Die Fehlanpassung kann gemessen und durch eine Breite der Kante dividiert werden, um eine Größe zu ergeben, die Asymmetrie des Gradientenprofils quer zu der Kante angibt.

[0131] Alternativ dazu kann eine Distanz zwischen der Mitte eines der ungeteilten Abschnitte mit einem Kontrast C1 und einem Punkt, an welchem die Gradientenfolge den steilsten Anstieg oder Abfall aufweist, mit dem Spitzengradienten g_{Spitze} (gemäß Roberts-Detektor) und dividiert durch eine Breite der Kante, benutzt werden, um einen Asymmetriegrad anzugeben.

[0132] Als eine weitere Alternative kann die Asymmetrie an den zweiten Ableitungen der Bildstichprobenwerte gemessen werden. Unter Bezugnahme auf Fig. 25 geben die Differenzen der Distanzen zwischen der negativen bzw. positiven Spitze und dem zwischen diesen liegenden interpolierten Nulldurchgang dividiert durch die Distanz zwischen diesen Spitzen einen Asymmetriegrad an.

[0133] Die vorstehend beschriebene Erkennung und Lösung für asymmetrische Kanten kann in der Kantenerkennungs- und Breitenmesseinheit 206 erfolgen.

[0134] Es sei angemerkt, dass in dieser Offenbarung eine Größe, die eine Kante beschreibt, wie etwa eine Gradientenhöhe, als „normiert“ bezeichnet wird, wenn sie – sofern nichts Anderweitiges angegeben ist – entweder durch einen Spitzengradientenwert der Kante oder einen Gradientenwert einer interpolierten Spitze dividiert wird. So weist zum Beispiel in Fig. 23B der Spitzengradient 3212 einen normierten Wert von exakt 1 auf, wohingegen in Fig. 24C die interpolierte Spitze 3270 sich von dem Spitzengradi-

enten 3212 unterscheidet, und die in Fig. 24C gezeigten Gradienten sind bezüglich der interpolierten Spitze 3270 und nicht des Spitzengradienten 3212 normiert.

Längenfilter

[0135] Im Folgenden wird eine Funktion des Längenfilters 212 beschrieben. Allgemein gesagt bewirkt der Längenfilter 212 eine Priorisierung von Kanten, die mit einer oder mehreren Kanten ähnlicher Orientierung verbunden sind. Eine Gruppe von Kanten, die ähnlich orientiert und innerhalb der Gruppe miteinander verbunden sind („Kantenkette“), ist mit geringerer Wahrscheinlichkeit auf Rauschen zurückzuführen als eine einzelne Kante, die keine andere Kante ähnlicher Orientierung berührt. Je mehr Kanten einer ähnlichen Orientierung auf diese Weise miteinander verbunden sind, desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit, dass sie auf Rauschen zurückzuführen sind. Die Wahrscheinlichkeit, dass die Gruppe auf Rauschen zurückzuführen ist, fällt mit steigender Kantenanzahl der Gruppe exponentiell ab, also wesentlich schneller als nur linear. Diese Eigenschaft kann ausgenutzt werden, um Rauschen innerhalb des Bilds oder des relevanten Bildbereichs zu unterdrücken, insbesondere bei schlechter Beleuchtung oder kurzer Belichtungszeit, wo das Signal-Rausch-Verhältnis niedrig ist, z. B. kleiner als 10. Diese Priorisierung kann mit Hilfe jeder Methode umgesetzt werden, die zur Formulierung einer solchen Priorisierung geeignet ist. Die im Folgenden beschriebenen verschiedenen Verfahren stellen lediglich Beispiele dar.

[0136] Eine erste Methode ist die Beseitigung von Kanten, die zu vertikalen/horizontalen Kantenketten gehören, deren Längen einen Schwellenwert für Kantenketten unterschreiten. Der Schwellenwert für Kantenketten kann größer sein, wenn der relevante Bereich dunkler ist. Beispielsweise kann der Schwellenwert für Kantenketten normalerweise nur 2 betragen, aber auf 8 erhöht werden, wenn das Signal-Rausch-Verhältnis im relevanten Bereich auf 5 fällt. Der Schwellenwert für Kantenketten kann vom Prozessor 112, 112', 112" bereitgestellt werden, beispielsweise als Komponente der Signale 132 durch ein „Längenbefehl“-Signal, wie in Fig. 3 gezeigt. Alternativ kann der Schwellenwert anhand einer Formel durch den Fokussignalgenerator berechnet werden.

[0137] Eine zweite Methode ist die Bereitstellung einer Längengewichtung für jede Kante im Längenfilter 212 und die Verwendung dieser Gewichtung zur Berechnung eines Fokussignals in der Fokussignal-Berechnungseinheit 210. Eine Kante, die Teil einer längeren Kantenkette ist, wird stärker gewichtet als eine Kante, die Teil einer kürzeren Kette ist. Beispielsweise könnte sich die Längengewichtung aus dem Quadrat der Länge der Kantenkette ergeben. Auf diese Weise kann ein Beitrag jeder Kante zum Fokussignal

mit einem Faktor A/B multipliziert werden, bevor alle Beiträge summiert werden, um das Fokussignal zu bilden. Dabei ist B die Summe der Längengewichtungen aller Kanten, die in die Berechnung des Fokussignals eingehen, und A eine Längengewichtung der Kante. In analoger Weise können diejenigen Kanten, die längeren Kantenketten angehören, bevorzugt mit einer höheren Gewichtung in die der jeweiligen Kantenbreite entsprechende Klasse des Kantenbreiten-Histogramms eingehen, das im Rahmen der Signale **134** ausgegeben werden kann, anstatt dass alle Kanten den jeweils gleichen Betrag, z. B. 1, beitragen. So kann beispielsweise jede Kante A/C beitragen, wobei C der mittlere Wert von A aller Kanten ist. In ähnlicher Weise können Kanten, die längeren Kantenketten angehören, mit höherer Gewichtung in die Zählung der schmalen Kanten eingehen. So können die einzelnen Kanten beispielsweise mit dem Faktor A/D gewichtet werden, wobei D der mittlere Wert von A aller Kanten ist, die in die Zählung der schmalen Kanten eingehen.

[0138] Eine Gruppe von N vertikalen (horizontalen) Kanten, von denen jede mit Ausnahme derjenigen ganz oben (ganz links) und ganz unten (ganz rechts) zwei andere vertikale (horizontale) Kanten berührt – nämlich eine darüber (links davon) und eine darunter (rechts davon) –, ist eine vertikale (horizontale) Kantenkette der Länge N . Die Kante ganz oben (ganz links) muss lediglich eine Kante berühren, die sich darunter (rechts davon) befindet. Die Kante ganz unten (ganz rechts) muss lediglich eine Kante berühren, die sich darüber (links davon) befindet.

[0139] [Fig. 8](#) zeigt eine vertikale Kantenkette sowie ihre Länge. In [Fig. 8](#) bilden die Zellen R2C3 und R2C4 eine erste vertikale Kante, die Zellen R3C3, R3C4 und R3C5 gemeinsam eine zweite vertikale Kante und die Zellen R4C4 und R4C5 gemeinsam eine dritte vertikale Kante. Die erste und die dritte vertikale Kante berühren jeweils nur eine weitere vertikale Kante, die zweite Kante dagegen zwei weitere. Die erste, zweite und dritte vertikale Kante bilden gemeinsam eine vertikale Kantenkette der Länge 3.

[0140] Für den Fall (nicht gezeigt), dass eine vertikale (horizontale) Kantenkette zwei oder mehrere Verzweigungen aufweist, d. h. über zwei Kanten in einer Zeile (Spalte) verfügt, kann die Länge als die Gesamtzahl der Kanten innerhalb der Kantenkette definiert werden. Alternativ kann die Länge als der vertikale (horizontale) Abstand der Kante ganz oben (ganz links) zur Kante ganz unten (ganz rechts) der Kantenkette plus 1 definiert werden.

[0141] Neben den oben beschriebenen Vorschlägen gibt es auch noch weitere Möglichkeiten zur Definition der Kantenkettenlänge. Beispielsweise kann eine Definition der Länge einer Kantenkette die Eigenschaft aufweisen, dass die Länge bis zu einer

Anzahl von mindestens 3 proportional zur Anzahl der in der Kantenkette enthaltenen Kanten ist. Dies hat der oben beschriebenen Überlegung zu entsprechen, dass die Wahrscheinlichkeit, dass eine Kantenkette auf Rauschen zurückzuführen ist, mit steigender Anzahl miteinander durch Berührung verbundener Kanten exponentiell abfällt. Folglich sollte die Länge bis zu einer geeigneten Anzahl, welche diese Wahrscheinlichkeit gegenüber der Wahrscheinlichkeit bei einer einzelnen Kante ausreichend reduziert, eine Proportionalität zur Anzahl der in der Kantenkette enthaltenen Kanten aufweisen. Der Längenfiter **212** kann Kanten mit einer Kantenkettenlänge von eins niedriger gewichten oder eliminieren, d. h., allgemein gesagt, zurückstufen. Der Längenfiter **212** kann Kanten mit einer Kantenkettenlänge von zwei zurückstufen. Der Längenfiter **212** kann Kanten mit einer Kantenkettenlänge von drei zurückstufen, um den Einfluss von Rauschen weiter zu reduzieren. Der Längenfiter **212** kann eine beliebige dieser Maßnahmen nach einem Befehl des Prozessors ausführen.

[0142] Der Längenfiter folgt in [Fig. 3](#) zwar unmittelbar auf die Kantenerkennungs- & Breitenmessenheit **206**, es sind jedoch auch andere Anordnungen möglich. Beispielsweise kann der Längenfiter **212** vor dem Fokussignalgenerator **210** eingefügt werden, wobei die vom Längenfiter **212** verarbeiteten Kanten diejenigen sind, die in Abhängigkeit von dem Signal ‚fein‘ den Breitenfilter **209** durchlaufen.

[0143] In einer alternativen Ausführungsform eines Fokussignalgenerators kann kein Feinsignalschalter **220** vorgesehen sein, so dass die Fokussignal-Berechnungseinheit **210** einen ersten Datensatz, der nicht vom Breitenfilter **209** gefiltert wird, sowie einen zweiten gefilterten Satz empfängt, für jeden ein anderes Fokussignal berechnet, nämlich ein Grobfokussignal für Ersteren und ein Feinfokussignal für Letzteren, und beide an den Prozessor **112**, **112'** ausgibt.

Breitenfilter

[0144] [Fig. 3](#) veranschaulicht die Arbeitsweise des Breitenfilters **209**. [Fig. 11](#) ist ein Histogramm von Kantenbreiten, d. h. ein Diagramm, dass die Häufigkeit von Kanten mit bestimmten Breiten zeigt. Bei einer Kantenbreite von 2, d. h. bei dem erwähnten Wert von `Breite_scharfer_Kanten`, liegt eine Spitze vor, die auf das Vorliegen scharfer Kanten im Bild hinweist. Bei den Kantenbreiten 4 und 5 liegen jedoch Spitzen vor, die auf unscharfe Kanten hinweisen. Der Grund dafür kann sein, dass die entsprechenden abgebildeten Objekte nicht fokussiert sind, weil sie sich in einem anderen Abstand zur Fokuslinse befinden als diejenigen Objekte, auf die die scharfen Kanten zurückzuführen sind. Bei der Berechnung eines Fokussignals können diejenigen Kanten, deren Breiten außerhalb eines vorgegebenen Bereichs liegen („Bereich schmaler Kanten“), mittels des Breitenfilters **209**

nur in geringerem Maße berücksichtigt werden. Der Breitenfilter **209** kann für die Berechnung des Fokussignals eine geringere Gewichtung für Kantenbreiten festlegen, die nicht in den Bereich schmaler Kanten fallen. Beispielsweise können Kantenbreiten im Bereich schmaler Kanten eine Gewichtung von 1,0 erhalten, wohingegen denjenigen Kantenbreiten, die die obere Schranke **840** um mehr als 1 überschreiten, die Gewichtung 0 zugeordnet wird und Kantenbreiten im Bereich dazwischen eine Gewichtung, die mit steigender Breite monoton von 1,0 auf 0 abfällt. Alternativ kann der Breitenfilter **209** solche Kanten vollständig von der Berechnung des Fokussignals ausschließen. Welche Werte als obere und untere Schranken **830**, **840** geeignet sind, hängt von verschiedenen Faktoren ab, z. B. optischem Übersprechen in der Pixelanordnung **108**, der Interpolationsmethode, die zur Berechnung der fehlenden Farben des an den Fokussignalgenerator **120** übermittelten Bildsignals verwendet wird, sowie den Filterkoeffizienten, die für den von der Kantenerkennungs- und Breitenmesseinheit **206** eingesetzten Tiefpassfilter verwendet werden. Für die Bildaufnahmevorrichtung **102**, **102'** können geeignete obere und untere Schranken **830**, **840** sowie der Parameter Breite_scharfer_Kanten festgelegt werden, indem Bilder verschiedener Schärfegrade aufgenommen und die Kantenbreiten-Histogramme untersucht werden. Wenn beispielsweise ein scharfes Bild eine Spitze bei der Kantenbreite 2 aufweist, könnten eine geeignete untere und obere Schranke bei 1,5 bzw. 3 liegen und der Parameter Breite_scharfer_Kanten auf 2,0 festgelegt werden. Die untere und obere Schranke sowie der Parameter Breite_scharfer_Kanten können wie oben beschrieben bestimmt und vom Prozessor **112**, **112''** an den Fokussignalgenerator **120**, **120'**, **120''** übermittelt werden. Wenn das Steuersignal 'fein' aktiviert ist, werden für das entsprechend berechnete Feinfokussignal Kantenbreiten außerhalb des Bereichs schmaler Kanten in geringerem Maße berücksichtigt.

[0145] Darüber hinaus kann der Breitenfilter **209** die Gesamtzahl der Kanten berechnen, deren Kantenbreite innerhalb des Bereichs schmaler Kanten liegt, und als Komponente der Ausgabesignale **134** ausgeben. Die Anzahl der schmalen Kanten kann an die Fokussystemsteuerung (Prozessor **112**) übermittelt und von dieser verwendet werden, um das Vorliegen eines scharfen Bilds zu erkennen und/oder die Verfolgung zu aktivieren.

Fokussignal

[0146] Die Fokussignal-Berechnungseinheit **210**, die in [Fig. 3](#) dargestellt ist, empfängt Kantenbreitenwerte und gibt ein Fokussignal aus. Das Fokussignal kann als gewichtetes Mittel aller Kantenbreiten berechnet werden, wobei als Gewichtung jeweils die Anzahl der Kanten mit der entsprechenden Breite gewählt wird, d. h. $\text{Fokussignal} = \sum w_i e_i / \sum w_i$, wo-

bei e_i die Kantenbreiten sind und w_i die Gewichtungen. Dabei gilt hier $w_i = c_i$, wobei c_i die Anzahl der Kanten mit der Kantenbreite e_i ist und i die Nummer einer Klasse eines Kantenbreiten-Histogramms. Alternativ kann die Gewichtung einer Kantenbreite das Produkt der Anzahl der Kanten der entsprechenden Breite und der Kantenbreite selbst sein, d. h. $w_i = c_i e_i$. Darüber hinaus können Prioritäten des Breitenfilters **209**, die durch Gewichtungen ausgedrückt werden, mit den einzelnen Kantenbreiten multipliziert werden. Beispielsweise kann das Fokussignal anhand der vom Breitenfilter **209** erzeugten Gewichtungen Ω_i mit $\sum \Omega_i = 1$ über die Formel $\sum \Omega_i w_i e_i / \sum \Omega_i w_i$ berechnet werden. Wenn das Steuersignal 'fein' aktiviert und 'ausschließen' deaktiviert ist, erhält das Fokussignal im Beispiel von [Fig. 11](#) einen Wert, der sehr nahe an der Breite scharfer Kanten, d. h. 2,0, liegt. Dies weist darauf hin, dass die meisten der Objektdetails in demjenigen Fokusabstandsbereich, der Kantenbreiten zwischen 2,0 und 3,0 entspricht, tatsächlich scharf fokussiert sind. Wenn sowohl das Steuersignal 'fein' als auch 'ausschließen' deaktiviert ist, könnte das Fokussignal einen Wert nahe 5,0 annehmen, was darauf hinweist, dass wesentliche Details des Bilds nicht fokussiert sind. Durch Aktivierung des Feinsignalschalters **220** wird das Fokussignal empfindlicher für Objekte, die etwas unscharf sind, aber weniger empfindlich für Objekte, die vollständig unscharf sind. Wenn der Feinsignalschalter **220** aktiviert ist, wird das Fokussignal hierin als „Feinfokussignal“ bezeichnet. Ist der Feinsignalschalter **220** dagegen deaktiviert, heißt es „Grob fokussignal“. Wie zuvor erwähnt, kann die durch den Längensfilter **212** ausgedrückte Priorisierung auf verschiedene Weise im Fokussignal berücksichtigt werden, z. B. dadurch, dass Kanten, die keine Priorität erhalten, nicht in die Berechnung des Fokussignals einbezogen werden oder mit geringerer Gewichtung zur Häufigkeit e_i der entsprechenden Kantenbreitenklasse beitragen.

[0147] [Fig. 15](#) skizziert eine Reaktion des Feinfokussignals auf eine Anpassung der Fokusposition in der Nähe der Position, wo ein Objekt fokussiert ist. Das Feinfokussignal erreicht ein Minimum, wo die Fokusposition zu einem scharf fokussierten Bild führt – ungefähr bei Breite_scharfer_Kanten –, und nimmt ansonsten höhere Werte an. Das Feinfokussignal kann zum Verfolgen von Objekten verwendet werden, die bereits fokussiert oder beinahe fokussiert sind. Bei sich bewegendem Objekten kann das Fokussteuerungssystem mit Hilfe des Feinfokussignals die Fokussierung der Objekte auch dann aufrechterhalten, wenn sich die Entfernung von der Fokuslinse fortlaufend ändert. Das Feinfokussignal kann auch eingesetzt werden, um eine scharfe Fokussierung eines Objekts herzustellen („Scharffokussierung“), das zwar noch nicht scharf fokussiert ist, aber nahezu, so dass die zugehörigen Kanten eine Breite aufweisen, die in den Bereich schmaler Kanten fällt. Da das Kantenbreiten-Histogramm eine Spitze der auf das

Objekt zurückzuführenden Kantenbreiten bei einem von Breite_scharfer_Kanten abweichenden Wert aufweist, kann das Fokussteuerungssystem reagieren, indem es die Fokusposition so anpasst, dass sich der Wert des Feinfokussignals dem Parameter Breite_scharfer_Kanten annähert und die Spitze der Kantenbreiten, die auf das Objekt zurückzuführen sind, bei einem Kantenbreitenwert von Breite_scharfer_Kanten zentriert wird.

Allgemeine Verwendung

[0148] Die [Fig. 12–Fig. 16](#) stellen dar, wie die Anzahl der schmalen Kanten, das Grobfokussignal und das Feinfokussignal zur Fokussteuerung verwendet werden können, um scharfe Bilder erzielen.

[0149] [Fig. 12](#) zeigt eine Szene im Freien, die 3 Gruppen von Objekten mit jeweils unterschiedlicher Entfernung von der Fokuslinse enthält: „Person“ im Vordergrund, „Berg, Sonne und Horizont“ im Hintergrund und „Fahrzeug“ dazwischen.

[0150] In [Fig. 13](#) ist die Anzahl der schmalen Kanten über der Zeit aufgetragen, während der die Fokusposition der Fokuslinse **104** in der in [Fig. 12](#) gezeigten Szene aus großer Entfernung herangeholt wird. Die Anzahl der schmalen Kanten weist immer dann eine Spitze auf, wenn eine Fokusposition erreicht wird, bei der ein scharfes Bild eines Objekts auf die Pixelanordnung **108** projiziert wird. Das Diagramm der Anzahl der schmalen Kanten weist über den gesamten Fokuspositionsbereich 3 Spitzen auf, nämlich – in dieser Reihenfolge – eines für „Berg, Sonne und Horizont“, eines für „Fahrzeug“ und eines für „Person“.

[0151] [Fig. 14](#) stellt das Grobfokussignal in Abhängigkeit von der Zeit dar. Das Grobfokussignal weist immer dann ein Minimum auf, wenn sich die Fokusposition in der Nähe der 3 Positionen befindet, wo die Anzahl der schmalen Kanten eine Spitze erreicht. Bei keinem der Minima entspricht das Grobfokussignal jedoch der Breite scharfer Kanten, in diesem Beispiel 2,0, da von den anderen, nicht fokussierten Objekten größere Kantenbreiten beigetragen werden.

[0152] [Fig. 15](#) zeigt das Feinfokussignal in Abhängigkeit von der Fokusposition in der Nähe derjenigen Position, an der das „Fahrzeug“ der Szene von [Fig. 12](#) scharf fokussiert ist. Das Feinfokussignal erreicht trotz Gegenwart unscharfer Objekte („Person“ und „Berge, Sonne und Horizont“) im Wesentlichen den Wert der Breite scharfer Kanten, also in diesem Beispiel 2. Wieder bezogen auf [Fig. 11](#), wo zwei Spitzen bei einer Breite von 4 und 5 von diesen beiden Gruppen unscharfer Objekte beigetragen werden, kann dies dadurch erklärt werden, dass der Breitenfilter **324** die Gewichtung der Beiträge der Kantenbreiten oberhalb der oberen Schranke **840** reduziert oder diese vollständig eliminiert hat.

[0153] Ein Fokussteuerungssystem kann das Grobfokussignal in einem Suchmodus dazu einsetzen, nach der nächsten scharf fokussierten Position zu suchen. Es kann die Fokusposition gegenüber der aktuellen Fokusposition verschieben, um zu überprüfen, ob das Grobfokussignal dabei höhere oder niedrigere Werte annimmt. Wenn das Grobfokussignal beispielsweise beim Verschieben der Fokusposition in die Nähe (Ferne) ansteigt (abfällt), gibt es eine scharf fokussierte Position, die weiter entfernt ist als die aktuelle Fokusposition. Der Prozessor **112**, **112'**, **112''** kann dann ein Fokusantriebssignal bereitstellen, um die Fokuslinse **104** in Richtung der nächsten fokussierten Position zu verschieben.

[0154] Ein Fokussteuerungssystem kann das Feinfokussignal zur Verfolgung eines Objekts verwenden, das bereits scharf fokussiert ist, um die Schärfe des entsprechenden Bilds aufrechtzuerhalten („Verfolgungsmodus“), auch wenn sich die Szene ändert oder sich das Objekt oder die Bildaufnahmevorrichtung bewegt. Wenn ein Objekt scharf fokussiert ist, bleibt der Feinfokussignalpegel trotz solcher Änderungen konstant. Eine Änderung des Feinfokussignals weist daher auf eine Änderung der Entfernung des Objekts von der Fokuslinse der Bildaufnahmevorrichtung hin. Indem das Fokussteuerungssystem bei einem bestimmten Feinfokussignalpegel in der Nähe des Minimums „festgestellt“ wird, beispielsweise zwischen 2,0 und 2,5, insbesondere bei 2,1, wird der Prozessor **112**, **112'**, **112''** durch Änderungen des Feinfokussignalpegels sofort über Änderungen der Entfernung des Objekts von der Fokuslinse informiert. Der Prozessor **112**, **112'**, **112''** kann dann eine Richtung ermitteln und eine Verschiebung der Fokuslinse **104** veranlassen, um den Pegel des Feinfokussignals wieder an den „festgestellten“ Pegel anzugleichen. Die Bildaufnahmevorrichtung **102**, **103**, **103'**, **103''** ist somit in der Lage, ein sich bewegendes Objekt zu verfolgen.

[0155] Ein Fokussteuerungssystem, das z. B. in Form eines Algorithmus des Prozessors **112**, **112'**, **112''** implementiert wird, kann auf Grundlage der Anzahl schmaler Kanten einen Wechsel von einem Suchmodus in einen Verfolgungsmodus einleiten. Im Verfolgungsmodus verwendet das Fokussteuerungssystem das Feinfokussignal, um die Fokussierung des Objekts aufrechtzuhalten. Solange die Fokusposition nicht ausreichend nahe an der Position ist, bei der das Objekt scharf fokussiert ist, kann das Fokussteuerungssystem das Grobfokussignal verwenden, um die Verschiebungsrichtung zu bestimmen und die Geschwindigkeit der Linsenverschiebung zu regeln. Wenn ein Objekt scharf fokussiert wird, steigt die Anzahl der schmalen Kanten stark an. Der Prozessor **112**, **112'**, **112''** kann bei Erkennung eines starken Anstiegs der Anzahl schmaler Kanten und/oder einer Spitzenbildung in den Verfolgungsmodus wechseln und das Feinfokussignal zur Regelung der Fokuspo-

sition verwenden. Jeder Objektgruppe, die bei einer „Abtastung“ des gesamten Fokuspositionsbereichs gefunden wird, kann ein Schwellenwert zugewiesen werden, der für jede der verschiedenen Positionen, bei denen eine Gruppe scharf fokussiert ist, unterschiedlich sein kann. Wenn daraufhin die Anzahl der schmalen Kanten diesen Schwellenwert übersteigt, wird die entsprechende Objektgruppe erkannt. Bei einer unbewegten Szene, z. B. der Aufnahme eines Standbilds, kann als Ergebnis der Abtastung des gesamten Fokuspositionsbereichs eine Liste von Maximalzählwerten zurückgegeben werden, d. h. ein Maximalzählwert für jede Spitze der Anzahl schmaler Kanten. Aus der Liste der Maximalzählwerte kann eine Liste von Schwellenwerten abgeleitet werden, beispielsweise, indem 50% des Werts der Maximalzählwerte zugrundegelegt werden.

[0156] **Fig. 16** stellt eine Bildaufnahmevorrichtung **102** dar, die ein Display **114**, eine Eingabevorrichtung **107** mit Tasten und eine Auswahlmarkierung **1920** umfasst, die auf dem Display **114** angezeigt wird. Ein Benutzer kann die Auswahlmarkierung **1920** mit Hilfe der Eingabevorrichtung **107** aufrufen, bewegen und ihre Form anpassen. Obwohl die Eingabevorrichtung **107** in diesem Beispiel Tasten aufweist, kann sie auch einen berührungsempfindlichen Bildschirm umfassen, der vor dem Display **114** angebracht ist, damit die Positionen von Berührungen und Bewegungen auf dem Display **114** erkannt werden können. Der Auswahlbereich kann durch die Eingabevorrichtung **107** und den Prozessor **112**, **112'**, **112''** oder eine separate, zu diesem Zweck bestimmte Steuerung (nicht gezeigt) für die Eingabevorrichtung **107** festgelegt werden. Die Parameter zur Beschreibung des Auswahlbereichs können über den Bus **132** an den Fokussignalgenerator **120**, **120'**, **120''** übermittelt werden (oder intern im Prozessor **112**, falls der Fokussignalgenerator **120** Teil des Prozessors **112** ist). Als Reaktion darauf kann der Fokussignalgenerator **120** die Berechnung des Fokussignals und/oder die Zählung der schmalen Kanten auf den durch die erwähnten Parameter beschriebenen Auswahlbereich einschränken oder Kanten außerhalb des Auswahlbereichs niedriger gewichten. Auf diese Weise kann der Einfluss unerwünschter Objekte auf das Fokussignal reduziert werden, so dass auch das Grobfokussignal nur ein Minimum mit einem Wert aufweist, der um 1,0 oder weniger von der Breite scharfer Kanten abweicht.

Alternative Ausführungsformen

[0157] **Fig. 17** zeigt eine alternative Ausführungsform eines Fokussignalgenerators **120'**. Der Fokussignalgenerator **120'** gibt Statistiken zu Kanten und Kantenbreiten aus. Die vom Fokussignalgenerator **120'** ausgegebenen Kantenbreiten-Statistiken können eine oder mehrere der Folgenden umfassen: ein Kantenbreiten-Histogramm, das die Anzahl der

Kanten mit verschiedenen Kantenbreiten enthält; eine Kantenbreite, bei der die Anzahl der entsprechenden Kanten maximal ist; einen Satz von Koeffizienten, die eine Splinefunktion definieren, die die Anzahl der Kanten für verschiedene Kantenbreiten approximiert; und andere Daten, die eine Funktion der Kantenbreite darstellen können. Die Zählereinheit **240** kann mit einer oder mehreren der anderen Einheiten des Fokussignalgenerators **120'** berechnete Daten empfangen, um Statistiken der Kantenbreiten zu erstellen. Im Allgemeinen kann der Fokussignalgenerator **120'** ein Signal ausgeben, das einen Hinweis auf eine Verteilung von Kantenbreiten gibt.

[0158] Bezogen auf **Fig. 18** können die so über die Signale **134** einer alternativen Ausführungsform des Prozessors **112'** in einer alternativen Autofokus-Bildaufnahmevorrichtung **102'** bereitgestellten Kantenbreiten-Statistiken vom Prozessor **112'** verwendet werden, um ein Grob- und/oder Feinfokussignal sowie die Anzahl schmaler Kanten gemäß den oben beschriebenen oder äquivalenten Methoden zu berechnen. Darüber hinaus können im Fokussignalgenerator **120'** berechnete Daten als Komponente der Ausgabesignale **134** an den Prozessor **112'** ausgegeben werden.

[0159] Der Prozessor **112'** kann neben den im Prozessor **112** von **Fig. 1** umfassten Funktionen intern ein Fokussignal und/oder einen Wert für die Anzahl der schmalen Kanten erzeugen.

[0160] Die Pixelanordnung **108**, der A/D-Konverter **110**, die Farbbinterpolationseinheit **148** und der Generator **120'** können sich innerhalb eines Pakets **142** befinden und zusammen einen vom Prozessor **112'** getrennten Bildsensor **150'** bilden.

Hilfspixelanordnung

[0161] **Fig. 19** zeigt eine alternative Ausführungsform einer Autofokus-Bildaufnahmevorrichtung **103**. Neben den in einem System **102** enthaltenen Elementen kann das System **103** einen teilreflektierenden Spiegel **2850**, einen totalreflektierenden Spiegel **2852**, einen optischen Tiefpassfilter **2840**, eine Hauptpixelanordnung **2808** und einen Haupt-A/D-Konverter **2810** umfassen. Der teilreflektierende Spiegel **2850** kann den einfallenden Lichtstrahl in einen ersten Lichtstrahl und einen zweiten Lichtstrahl aufteilen, indem ein Strahl durchgelassen und ein Strahl reflektiert wird. Der erste Teilstrahl kann weiterhin den optischen Tiefpassfilter **2840** durchlaufen, bevor er schließlich die Hauptpixelanordnung **2808** erreicht, die den ersten Teilstrahl erfasst und in analoge Signale umwandelt. Der zweite Teilstrahl kann vom totalreflektierenden Spiegel **2852** reflektiert werden, bevor er schließlich die Hilfspixelanordnung **108''** erreicht, die der Pixelanordnung **108** des in **Fig. 1** gezeigten Systems **102** entspricht. Die Licht-

intensität des ersten Strahls kann in einem Verhältnis von 1:1 oder größer als 1:1 zu der des zweiten Strahls stehen. Das Verhältnis kann z. B. 4:1 betragen.

[0162] Vor der Pixelanordnung **2808** kann sich eine Farbfilteranordnung einer Farbmatrix befinden, z. B. der Bayer-Matrix. Der optische Tiefpassfilter **2808** verhindert, dass die kleinsten auf der Pixelanordnung **2808** fokussierten Lichtpunkte zu klein sind und Aliasing verursachen. Wenn sich vor der Pixelanordnung **2808** eine Farbfilteranordnung einer Farbmatrix befindet, kann Aliasing nach einer Farbinterpolation einen Farb-Moiré-Effekt verursachen. Beispielsweise kann durch den optischen Tiefpassfilter sichergestellt werden, dass der kleinste Durchmesser eines Kreises, der 84% der Leistung des sichtbaren Lichts eines Lichtpunkts auf der Hauptpixelanordnung **2808** umfasst („kleinster Hauptdurchmesser“), größer als eineinhalb Pixelbreiten und kleiner als zwei Pixelbreiten ist. Wenn beispielsweise die Hauptpixelanordnung **2808** eine Pixelbreite von 4,5 µm aufweist, während der kleinste Durchmesser ohne optische Tiefpassfilterung 2,0 µm beträgt, kann über den optischen Tiefpassfilter **2840** erreicht werden, dass Lichtpunkte mindestens einen Durchmesser von 6,7 µm haben.

[0163] Die Hilfspixelanordnung **108''** kann eine oder mehrere Photodetektoranordnungen umfassen. Vor jeder dieser Anordnungen kann sich optional eine Farbfilteranordnung einer Farbmatrix befinden. Die Anordnung/en der Hilfspixelanordnung **108** gibt/geben ein Bild/Bilder in Form analoger Signale aus, die vom A/D-Konverter **110** in digitale Signale **130** umgewandelt werden. Die Bilder werden an den Fokussignalgenerator **120** übermittelt. Eine Farbinterpolationseinheit **148** kann die fehlenden Farben der Bilder berechnen, die von Pixeln mit Farbfilter geliefert werden. Wenn die Hilfspixelanordnung **108''** mehrere Anordnungen von Photodetektoren umfasst, kann jede Anordnung ein Teilbild erfassen, das einem Teil des von der Hauptpixelanordnung **2808** erfassten Bilds entspricht. Die verschiedenen Anordnungen können räumlich durch einen Abstand von mehr als 100 Pixelbreiten getrennt sein und optional ein gemeinsames Halbleitersubstrat verwenden. Wenn die Pixelanordnungen innerhalb der Hilfspixelanordnung **108''** kein gemeinsames Halbleitersubstrat besitzen, können sie zusammen in einem Paket untergebracht sein (nicht gezeigt).

[0164] Der Haupt-A/D-Konverter **2810** wandelt analoge Signale der Hauptpixelanordnung **2808** in ein digitales Hauptbild-Datensignal **2830** um, das an den Prozessor **112** übermittelt wird, wo das von der Hauptpixelanordnung **2808** erfasste Bild weiterverarbeitet (z. B. Farbinterpolation, Farbkorrektur und Bildkomprimierung/-dekomprimierung) und schließlich auf der Speicherkarte **116** gespeichert werden kann.

[0165] Eine Anordnung von Photodetektoren in der Hilfspixelanordnung **108''** kann eine geringere Pixelbreite („Hilfspixelbreite“) aufweisen als die Hauptpixelanordnung **2808** („Hauptpixelbreite“). Die Hilfspixelbreite kann um bis zu 50% kleiner sein als die Hauptpixelbreite. Wenn sich vor einem Hilfspixel ein Farbfilter befindet und die Hilfspixelbreite ohne optische Tiefpassfilterung kleiner als das 1,3-fache des kleinsten Punkts sichtbaren Lichts ist, kann ein zweiter optischer Tiefpassfilter vor der Hilfsanordnung **108''** eingefügt werden, um den kleinsten Durchmesser auf der Hilfspixelanordnung **108''** („kleinster Hilfsdurchmesser“) auf einen Wert zu erhöhen, der zwischen dem 1,3-fachen und 2-fachen liegt, aber immer noch kleiner als der kleinste Hauptdurchmesser ist, und bevorzugt auf das 1,5-fache. Der geringfügige Moiré-Effekt im Hilfsbild stellt kein Problem dar, da das Hilfsbild nicht die endgültige Aufnahme für den Benutzer ist.

[0166] [Fig. 22](#) zeigt, wie die Kantenbreiten im Bereich um eine scharfe Fokusposition bei Hauptbildern von der Hauptpixelanordnung **2808** (durchgezogene Linie) und bei Hilfsbildern von der Hilfspixelanordnung **108''** (gestrichelte Linie) variieren können. Die Hilfsbilder ergeben auch dann noch höhere Steigungswerte, wenn die Hauptbilder den Zielwert der Breite scharfer Kanten von 2 erreichen. Für das Hilfsbild kann ein Wert unterhalb des Zielwerts der Breite scharfer Kanten zugelassen werden, da Moiré-Effekte aufgrund von Aliasing beim Hilfsbild, das nicht die endgültige Aufnahme für den Benutzer darstellt, geringere Bedeutung haben. Dies ermöglicht es, eine höhere Steigung unterhalb und oberhalb der Breite scharfer Kante zu erzielen. Eine höhere Steigung wird auch dadurch begünstigt, dass die Hilfspixelbreite geringer als die Hauptpixelbreite ist.

[0167] Der schattierte Bereich in [Fig. 22](#) stellt einen guten Bereich zur Regelung der Fokusposition dar, um die scharfe Fokussierung des Hauptbilds aufrechtzuerhalten. Eine Verschiebung der Fokusposition in die Ferne würde eine Erhöhung der Kantenbreite im Hilfsbild bewirken, eine Verschiebung in die Nähe dagegen eine Verringerung. Es kann ein lineares Rückkopplungs-Steuersystem eingesetzt werden, das den mittleren Wert der Hilfskantenbreite im schattierten Bereich als Zielwert und die sich aus den Hilfsbildern ergebenden Kantenbreiten als Rückkopplungssignal verwendet, um die Kantenbreiten des Hauptbilds in der Nähe der Breite scharfer Kanten zu halten.

[0168] Die Hilfspixelanordnung **108''**, der A/D-Konverter **110** und der Fokussignalgenerator **120** können gemeinsam in einem Paket **142** angeordnet sein und einen Hilfssensor **150** darstellen. Der Hilfssensor **150** kann weiterhin eine Farbinterpolationseinheit **148** umfassen.

[0169] **Fig. 20** zeigt eine alternative Ausführungsform einer Autofokus-Bildaufnahmevorrichtung **103'** ähnlich der Vorrichtung **103**, aber mit dem Unterschied, dass der Fokussignalgenerator **120'** den Fokussignalgenerator **120** ersetzt. Die Hilfspixelanordnung **108''**, der A/D-Konverter **110** und der Fokussignalgenerator **120** können gemeinsam in einem Paket **142** angeordnet sein und einen Hilfssensor **150'** darstellen. Der Hilfssensor **150** kann weiterhin eine Farbinterpolationseinheit **148** umfassen.

[0170] **Fig. 21** zeigt eine alternative Ausführungsform einer Autofokus-Bildaufnahmevorrichtung **103''**. Der Fokussignalgenerator **120** und der Prozessor **112''** können getrennt von der Hilfspixelanordnung **108''** in einem Paket **144** als Kamerasteuerung angeordnet sein. Der Prozessor **112''** ist dem Prozessor **112** ähnlich, aber mit dem Unterschied, dass der Prozessor **112''** Bilder sowohl von der Hauptpixelanordnung **2808** als auch von der Hilfspixelanordnung **108''** empfängt. Der Prozessor **112''** kann für die über das Signal **2830** erhaltenen Bilder eine Farbinterpolation, Farbkorrektur, Komprimierung/Dekomprimierung und Speicherung auf der Speicherkarte **116** durchführen, ähnlich den Verarbeitungsvorgängen, die der Prozessor **112** für das Signal **130** in **Fig. 2** durchführen kann. Anders als in **Fig. 2** müssen die über das Signal **130** empfangenen Bilder hier nicht Komprimierung/Dekomprimierung und Speicherung auf der Speicherkarte **116** erfahren. Der Prozessor **112''** kann bei über das Signal **130** empfangenen Bildern eine Farbinterpolation für Pixel der Hilfspixelanordnung **108''** durchführen, vor denen sich ein Farbfilter befindet, und die interpolierten Bilder über das Signal **146** an den Fokussignalgenerator **120** übermitteln.

[0171] Die Autofokus-Bildaufnahmevorrichtung **102**, **102'**, **103**, **103'**, **103''** kann ein Speichermedium für Computerprogramme umfassen (nicht gezeigt), das Anweisungen enthält, die den Prozessor **112**, **112'** bzw. **112''** und/oder den Fokussignalgenerator **120**, **120'** dazu veranlassen, eine oder mehrere der hierin beschriebenen Funktionen auszuführen. Beispielsweise können die Anweisungen den Prozessor **112** oder den Generator **120'** zur Durchführung einer Neigungskorrektur für eine Kantenbreite gemäß dem Ablaufdiagramm von **Fig. 7** veranlassen. Als weiteres Beispiel können die Anweisungen den Prozessor **112'** oder den Generator **120** zur Filterung der Kantenbreiten gemäß der obigen Beschreibung für den Breitenfilter **209** veranlassen. Alternativ kann der Prozessor **112**, **112'** oder der Generator **120**, **120'** mit einer Kombination von Firm- und Hardware oder einer reinen Hardware-Implementierung für eine oder mehrere der hierhin genannten Funktionen konfiguriert sein. Beispielsweise kann im Generator **120** eine Neigungskorrektur vollständig hardwarebasiert und eine Längenfilterung **212** gemäß den Anweisungen in der Firmware durchgeführt werden.

[0172] **Fig. 30** zeigt noch eine weitere Ausführungsform eines Fokussignalgenerators **120'**. Diese Ausführungsform kann in jedem der obenstehenden Bildfassungssysteme eingesetzt werden.

[0173] Obgleich eine Speicherkarte **116** als Teil des Systems **102** gezeigt wird, kann stattdessen auch jedes andere nichtflüchtige Speichermedium verwendet werden, z. B. eine Festplatte, von dem der Benutzer gespeicherte Bilder abrufen und auf einen anderen Datenträger außerhalb und entfernt vom System **102** kopieren kann.

[0174] Ein oder mehrere Parameter zum Betrieb des Systems, beispielsweise der Parameter Breite_scharfer_Kanten, können in einem nichtflüchtigen Speicher einer Vorrichtung innerhalb des Systems gespeichert werden. Bei dieser Vorrichtung kann es sich um eine Flashspeichervorrichtung, den Prozessor, den Bildsensor oder den Fokussignalgenerator als davon getrennte Einrichtung handeln. Ein oder mehrere Formeln zur Verwendung im System, z. B. zur Berechnung des Schwellenwerts für Kantenketten oder zur Berechnung von beta, können gleichermaßen als Parameter oder als computerausführbare Anweisungen in einem nichtflüchtigen Speicher in einer oder mehreren dieser Vorrichtungen gespeichert werden.

[0175] Es wird darauf hingewiesen, dass zwar bestimmte beispielhafte Ausführungsformen beschrieben und in den zugehörigen Zeichnungen dargestellt wurden, diese aber lediglich illustrativen Zwecken dienen und die Interpretation der Erfindung nicht einschränken, und dass diese Erfindung nicht auf die speziellen Konstruktionsweisen und Anordnungen beschränkt ist, die beschrieben und dargestellt wurden, da ein Fachmann verschiedene Modifikationen ableiten kann.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- IB 2010/055641 [\[0001\]](#)

Patentansprüche

1. Verfahren zum Erzeugen eines Fokussignals aus mehreren Kanten eines Bilds einer Szene, um einen Bildschärfegrad anzuzeigen, umfassend: Zurückweisen oder Niedrigergewichten – in einer Recheneinrichtung – eines Beitrags einer Kante zu dem Fokussignal basierend auf einer Größe, die einen Asymmetriegrad bei einer Folge von Gradienten quer zu der Kante angibt.

2. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei jede beliebige Kante, die zu dem Fokussignal beiträgt, ein Kantenschärfemaß beiträgt, bei dem es sich um eine Größe handelt, die aus mehreren Bilddaten-Stichproben innerhalb einer vorbestimmten Umgebung der besagten beliebigen Kante berechnet wird.

3. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Kantenschärfemaß jeder beliebigen Kante eine Einheit aufweist, die eine Potenz einer Längeneinheit ist, sofern die Distanz zwischen Gradienten und die Pixelzahl eine Längeneinheit aufweisen, der Gradientenwert eine Einheit aufweist, die eine Energieeinheit dividiert durch eine Längeneinheit ist, und normierte Gradientenwerte einheitenfrei sind.

4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Kantenschärfemaß jeder beliebigen Kante keine Energieeinheit in seiner Einheit aufweist, wobei jede Bilddaten-Stichprobe eine Energieeinheit aufweist und eine Differenz zwischen einem beliebigen Paar von Bilddaten-Stichproben dividiert durch eine Distanz zwischen den Stichproben eine Energieeinheit dividiert durch eine Längeneinheit aufweist, sofern die Distanz zwischen Gradienten und die Pixelzahl eine Längeneinheit aufweisen, der Gradientenwert eine Energieeinheit dividiert durch eine Längeneinheit aufweist und normierte Gradientenwerte einheitenfrei sind.

5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Kantenschärfemaß jeder beliebigen Kante eine Breite eines vordefinierten ungeteilten Abschnitts der besagten beliebigen Kante ist, wobei der vordefinierte Abschnitt auf eine vorbestimmte Weise in Bezug auf die mehreren Bilddaten-Stichproben der besagten beliebigen Kante definiert ist.

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei der vordefinierte ungeteilte Abschnitt ein schmalster ungeteilter Abschnitt der besagten beliebigen Kante ist, der einen vorbestimmten Bruchteil eines Kontrasts quer zu der besagten beliebigen Kante beiträgt.

7. Verfahren nach Anspruch 5 wobei der vordefinierte ungeteilte Abschnitt alle Pixel der Kante um-

fasst, die Gradientenwerte über einem vorbestimmten Schwellwert aufweisen.

8. Verfahren nach Anspruch 5, wobei der vordefinierte ungeteilte Abschnitt ein breiter ungeteilter Abschnitt zwischen positiver Spitze (oder interpolierter Spitze) und einer negativen Spitze (oder interpolierter Spitze) einer Folge von Ableitungen zweiter Ordnung quer zu der Kante ist.

9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Kantenschärfemaß jeder beliebigen Kante ein Spitzengradientenwert einer Folge von Gradienten quer zu der besagten beliebigen Kante dividiert durch einen Kontrast quer zu der besagten beliebigen Kante ist.

10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Kantenschärfemaß jeder beliebigen Kante eine Funktion von Distanzen zwischen mehreren Gradienten aus einer Folge von Gradienten quer zu der besagten beliebigen Kante und einer vordefinierten Position relativ zu den mehreren Gradienten ist.

11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei die vordefinierte Position ein Schwerpunkt der mehreren Gradienten ist, wobei die Gradientenwerte als Gewichte behandelt werden.

12. Verfahren nach Anspruch 10, wobei die Funktion ein k -tes Zentralmoment der mehreren Gradienten um die vordefinierte Position misst, wobei k eine positive gerade Ganzzahl ist.

13. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, weiterhin umfassend: Erkennen, dass die Kante mit einer Gradientenfolge quer zu sich zusammenhängt, für welche eine Größe, die einen Asymmetriegrad bei der Folge angibt, einen Wert aufweist, der einen Asymmetrieschwellwert überschreitet oder außerhalb eines vorbestimmten Toleranzbereichs liegt.

14. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der Beitrag der Kante zu dem Fokussignal zurückgewiesen oder niedergewichtet wird, wenn die Größe, die einen Asymmetriegrad angibt, einen Schwellwert überschreitet.

15. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Größe, die einen Asymmetriegrad angibt, benutzt wird, um ein Gewicht für die Kante in einem gewichteten Mittel der Kantenschärfemaße von zu dem Fokussignal beitragenden Kanten zu reduzieren.

16. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Größe, die einen Asymmetriegrad angibt, aus einer Distanz zwischen einem Mittelpunkt

eines Paares aus einem positiven und einem negativen Peak in einer Folge von Ableitungen zweiter Ordnung quer zu der Kante und einer interpolierten Position eines Nulldurchgangs der Folge von Ableitungen zweiter Ordnung berechnet wird.

17. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Größe, die einen Asymmetriegrad angibt, aus einer Mitte-zu-Mitte-Distanz zwischen einem ersten schmalsten ungeteilten Abschnitt der Kante mit einem ersten Kontrast und einem zweiten schmalsten ungeteilten Abschnitt der Kante mit einem zweiten Kontrast berechnet wird.

18. Computerlesbares Medium, das computerausführbare Anweisungen umfasst, die bei Ausführung durch eine Recheneinrichtung die Recheneinrichtung dazu veranlassen, ein Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche auszuführen.

19. Schaltkreis, der aus mehreren Kanten eines Bilds einer Szene ein Fokussignal zum Anzeigen eines Bildschärfegrads erzeugt, umfassend:
ein Kantenerkennungs- und Breitenmessmittel (KE-BM-Mittel) und
ein Fokussignalberechnungsmittel,
wobei das Kantenerkennungs- und Breitenmessmittel in Bilddaten des Bilds Kanten detektiert, für die Kanten die relativen Ausmaße bestimmt, mit denen sie jeweils zu dem Fokussignal beitragen werden, und Kantenschärfemaße für Kanten auswertet, die zu dem Fokussignal beitragen werden,
wobei das Fokussignalberechnungsmittel aus den Kantenschärfemaßen ein Fokussignal generiert und dabei die jeweiligen relativen Ausmaße berücksichtigt,
wobei das Kantenerkennungs- und Breitenmessmittel (KE-BM-Mittel) ein Verfahren nach einem der vorangehenden Verfahrensansprüche implementiert.

20. Bilderfassungssystem mit:
einer Fokuslinse,
einem Bildsensor, der eine bilderfassende Pixelanordnung umfasst,
einem Fokuslinsenmotormittel und
einem Schaltkreis nach dem vorangehenden Gegenstandsanspruch.

Es folgen 21 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

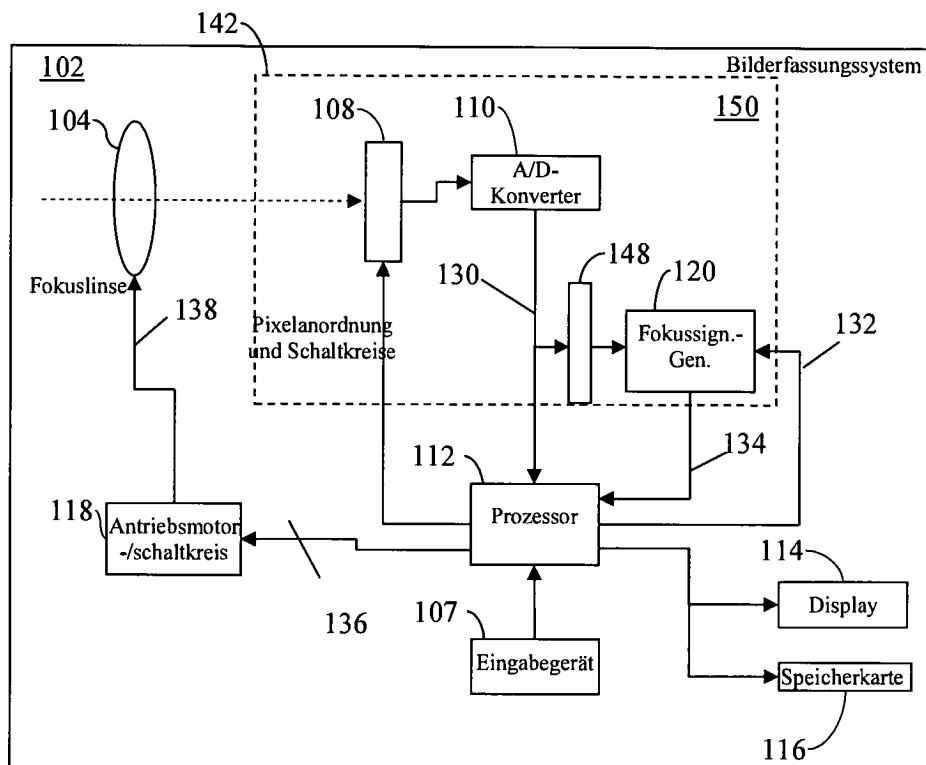


ABB. 1

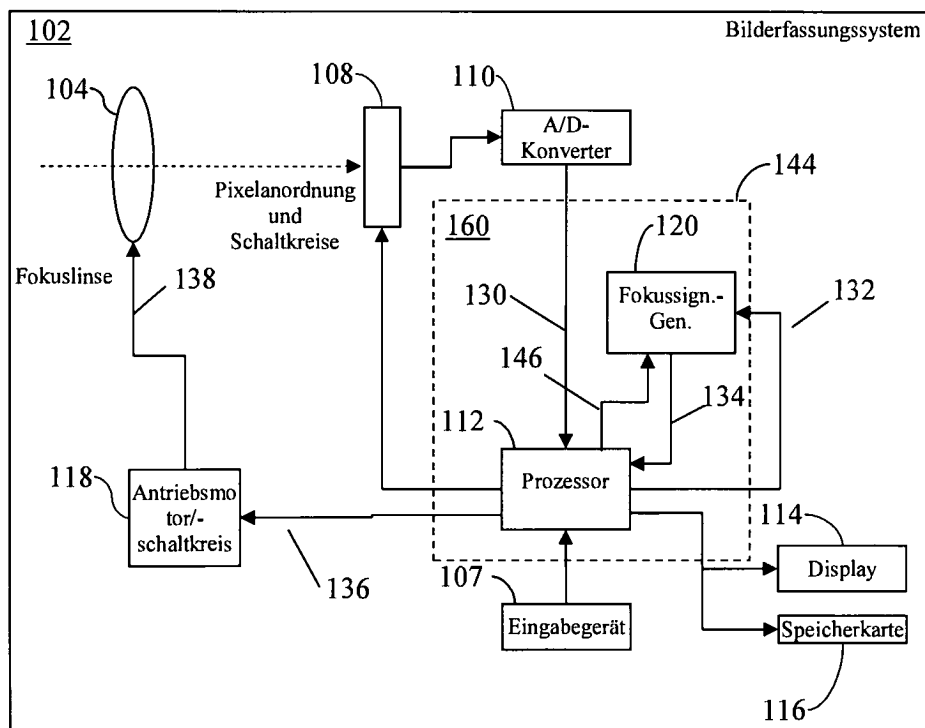


ABB. 2

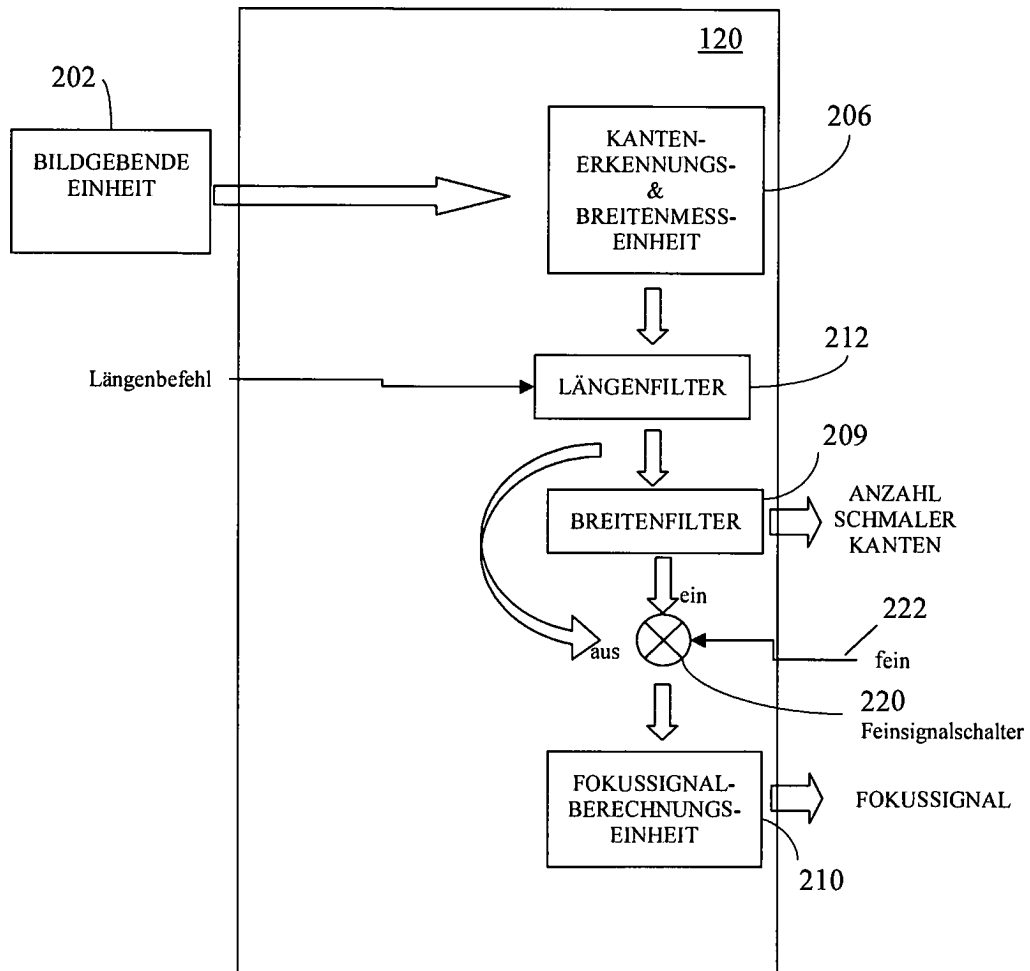


ABB. 3

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
R1	10 9 V	10 10 V	10 9 V	2 0	0 0	0 0
R2	3 0	10 8 V	10 11 V	9 10 V	1 0	0 0
R3	1 0	3 1	8 8 V	9 11 V	7 8 V	1 0
R4	0 0	1 0	3 2	7 8 V	8 10 V	7 8 V
R5	0 -2	0 0	1 1	3 3	7 12 H	6 12 H
R6	0 -1	0 -1	0 0	1 2	3 0 V	1 8 H

ABB. 4

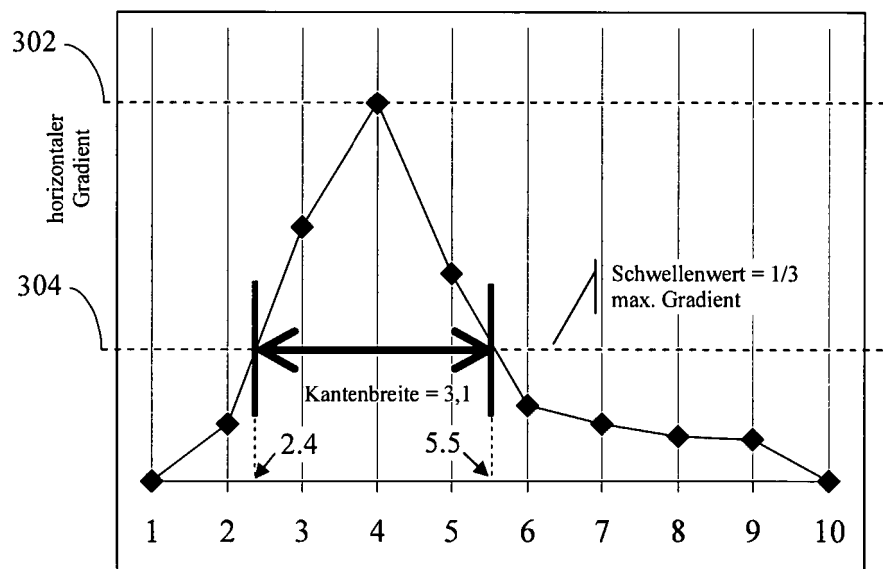


ABB. 5

$b = a \cos \phi$ korrigiert Kantenbreite für Neigungswinkel ϕ

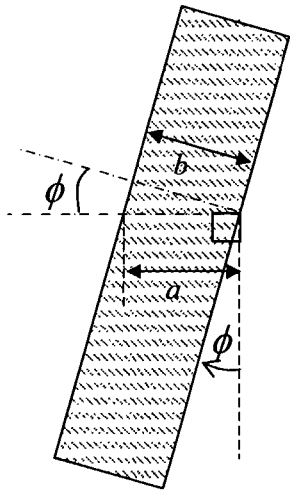


ABB. 6A

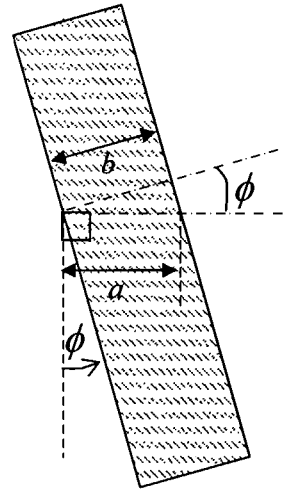


ABB. 6B

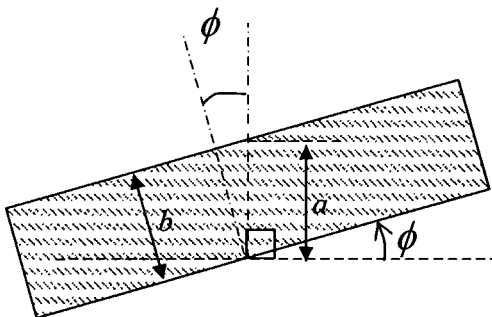


ABB. 6C

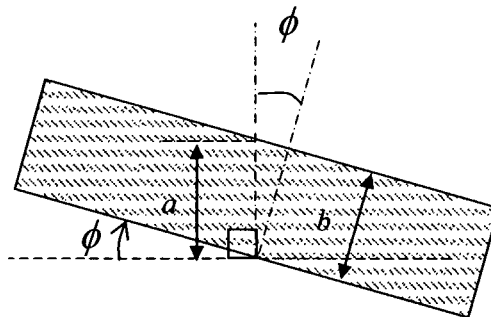


ABB. 6D

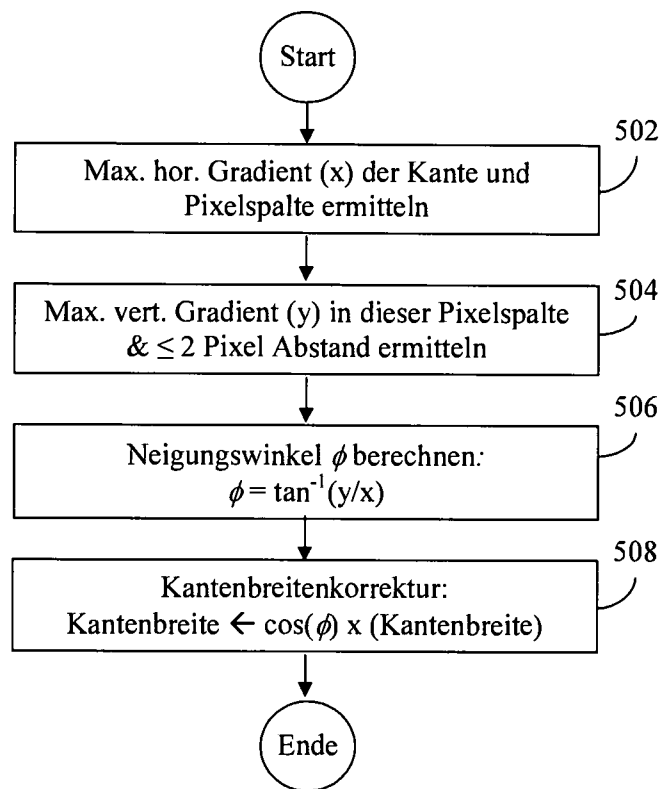


ABB. 7

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
R1	0 H	5 H	1 3	2 0	0 0	0 0
R2	3 0	8 H	15 V	19 V	1 0	0 0
R3	1 0	3 1	18 V	19 V	17 V	1 0
R4	0 0	1 0	3 2	17 V	18 V	7 H
R5	0 2	0 0	1 V	3 3	7 H	6 H
R6	0 1	0 1	0 0	1 2	3 0	1 H

ABB. 8

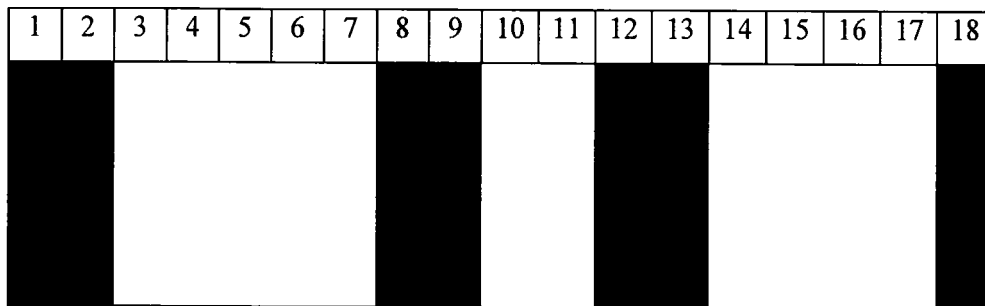


ABB. 9A

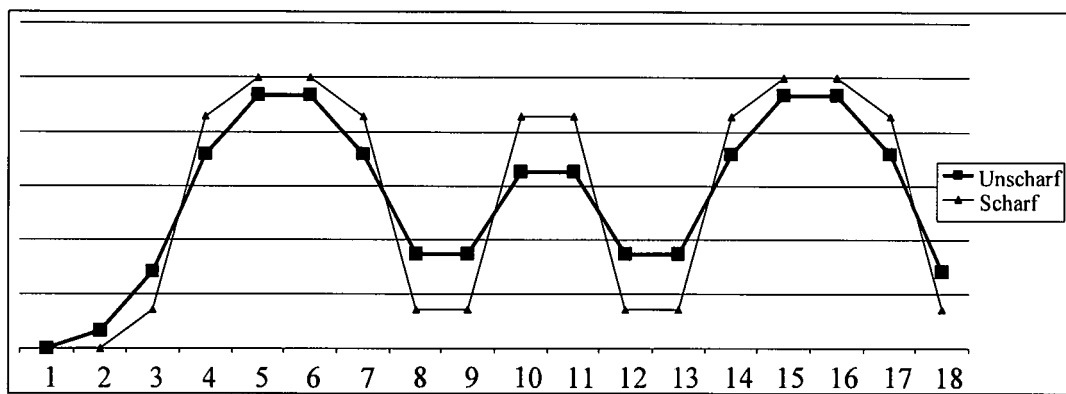


ABB. 9B

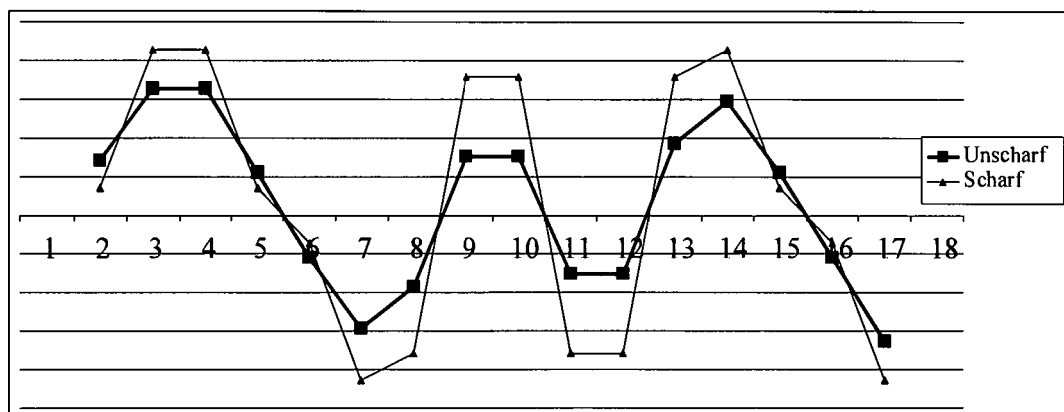


ABB. 9C

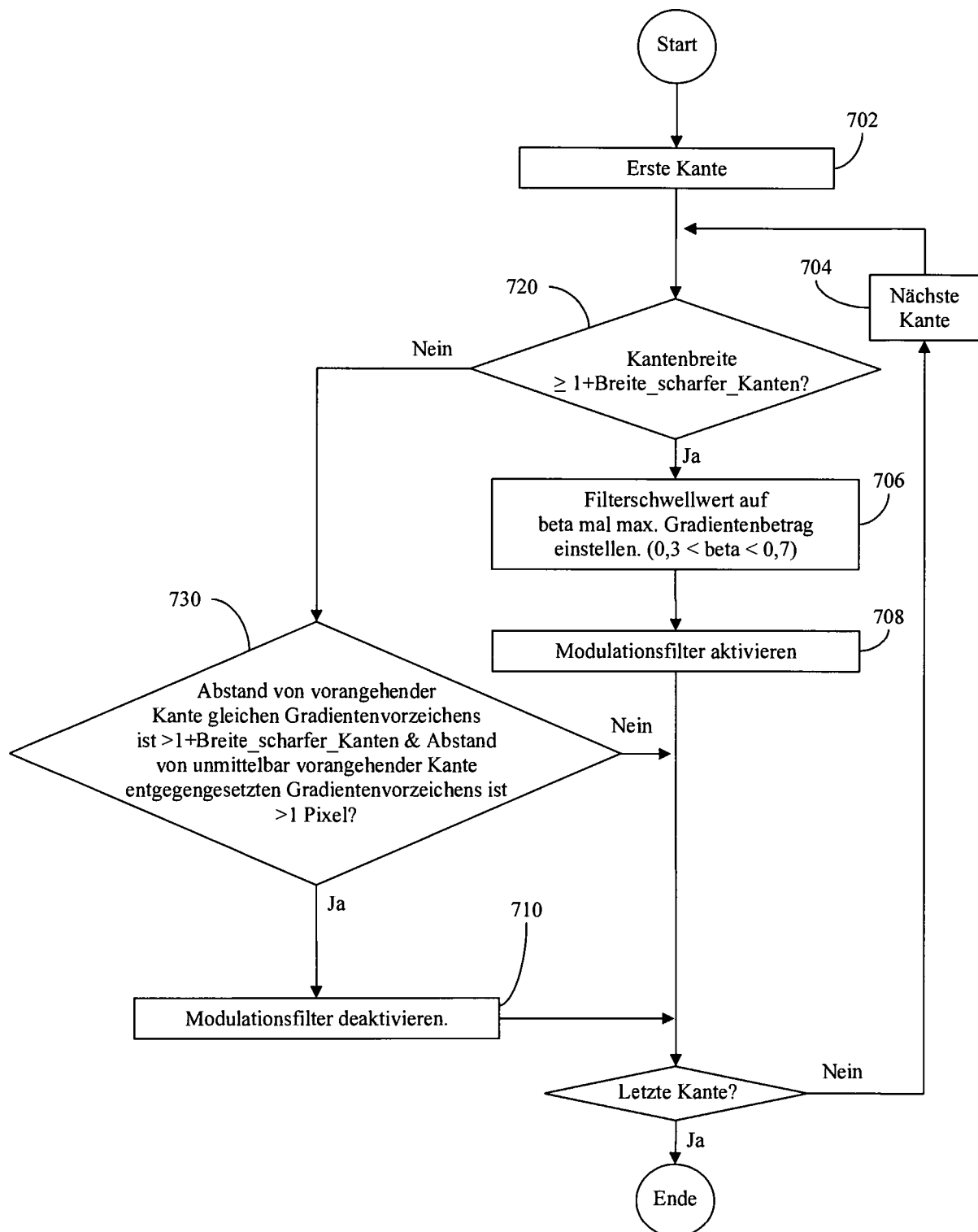


ABB. 10

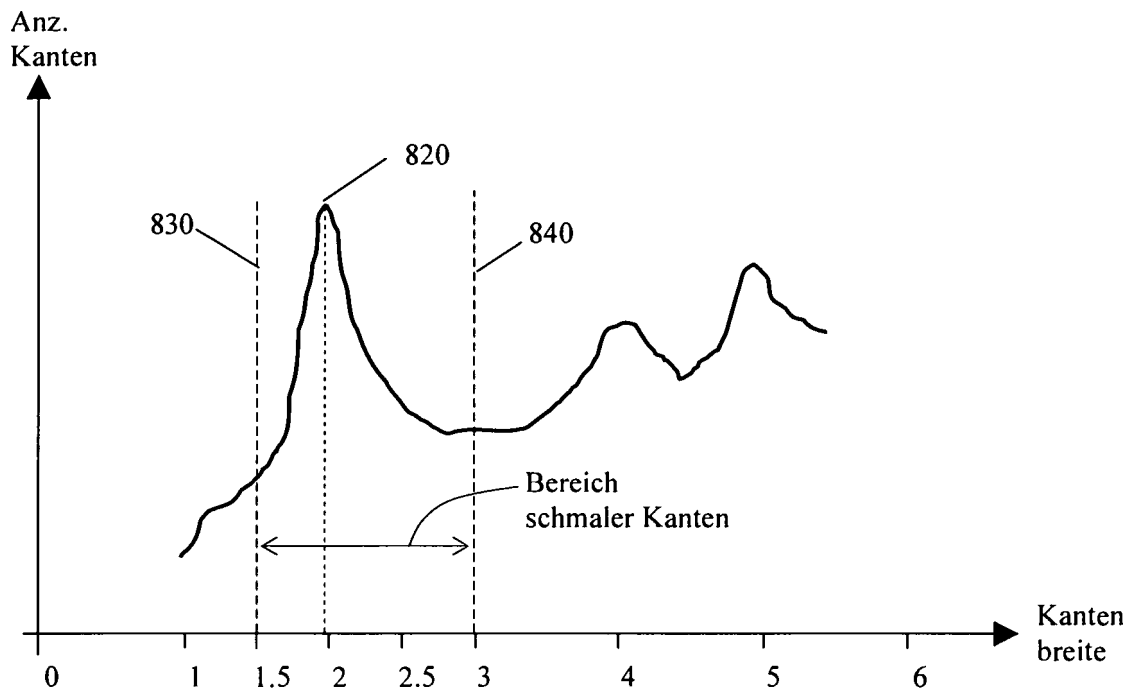


ABB. 11

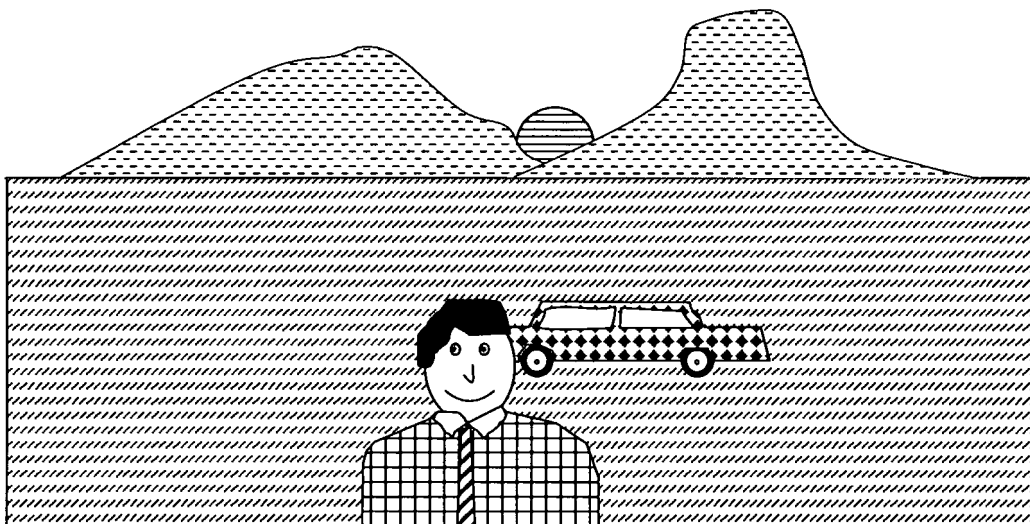


ABB. 12

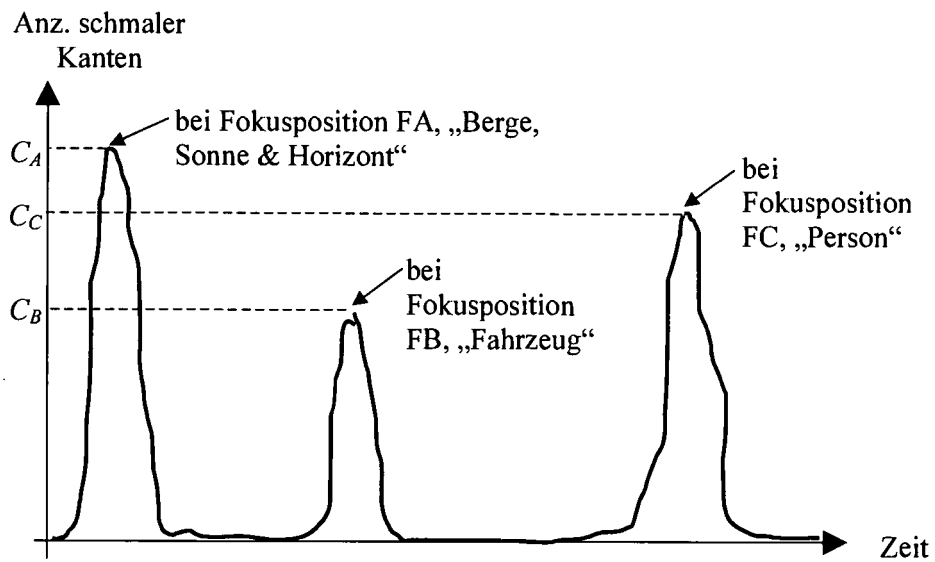


ABB. 13

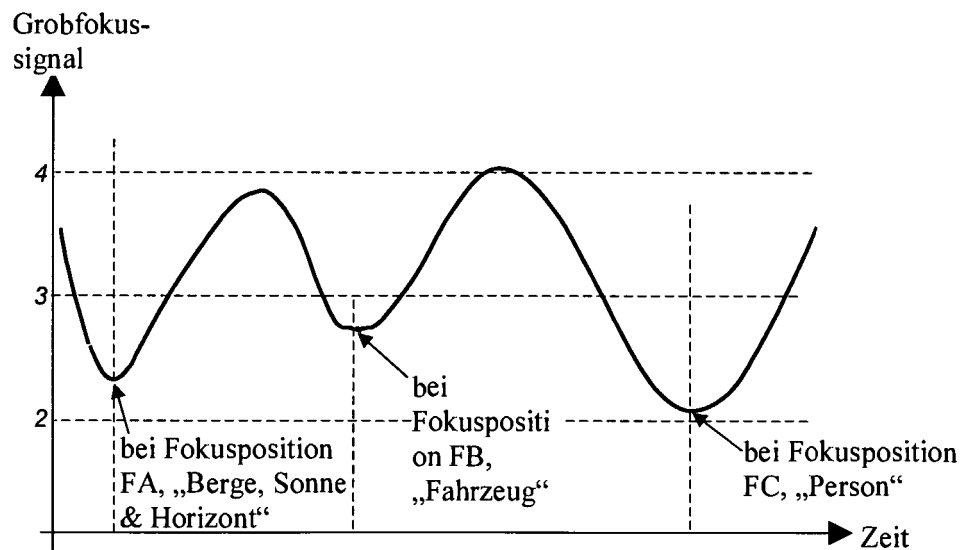


ABB. 14

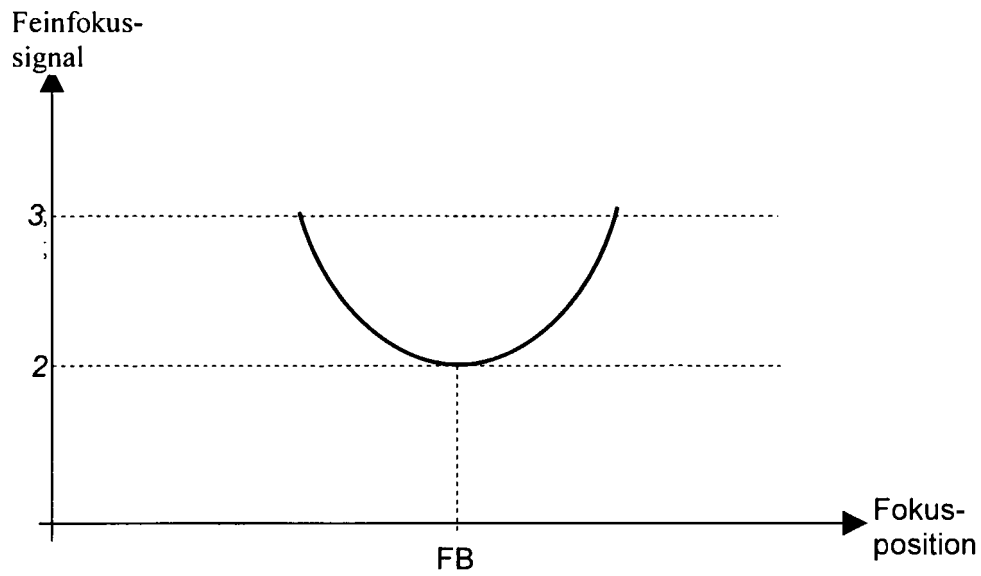


ABB. 15

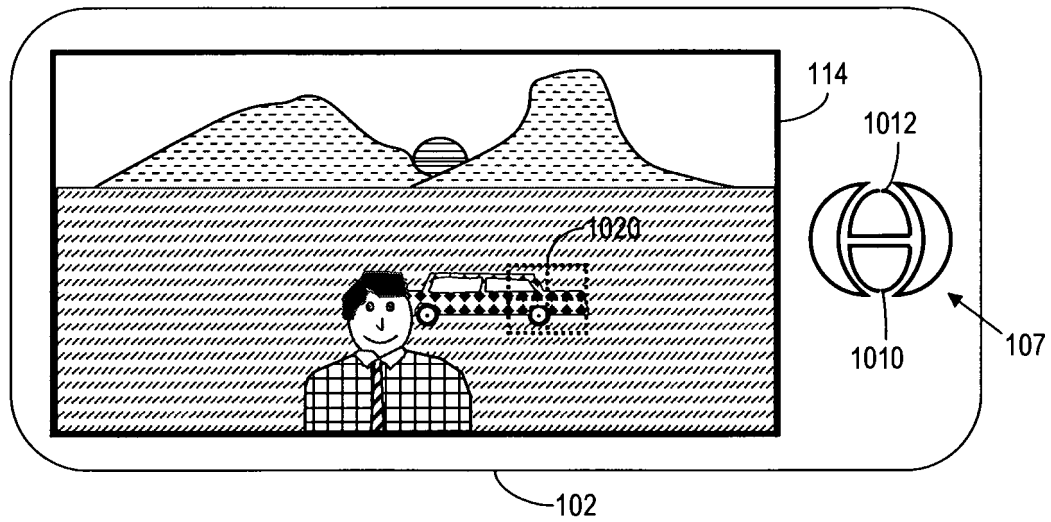


ABB. 16

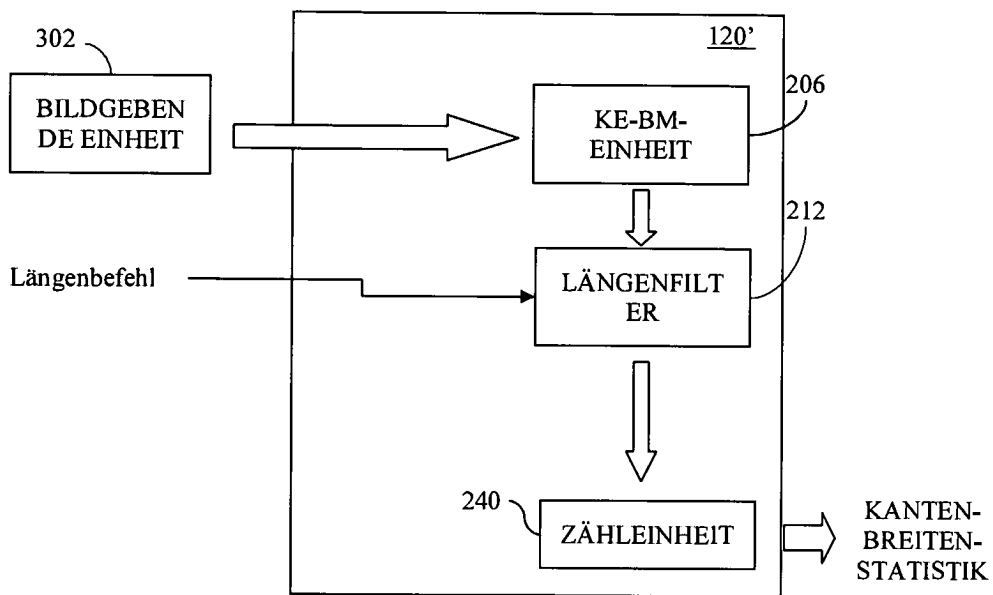


ABB. 17

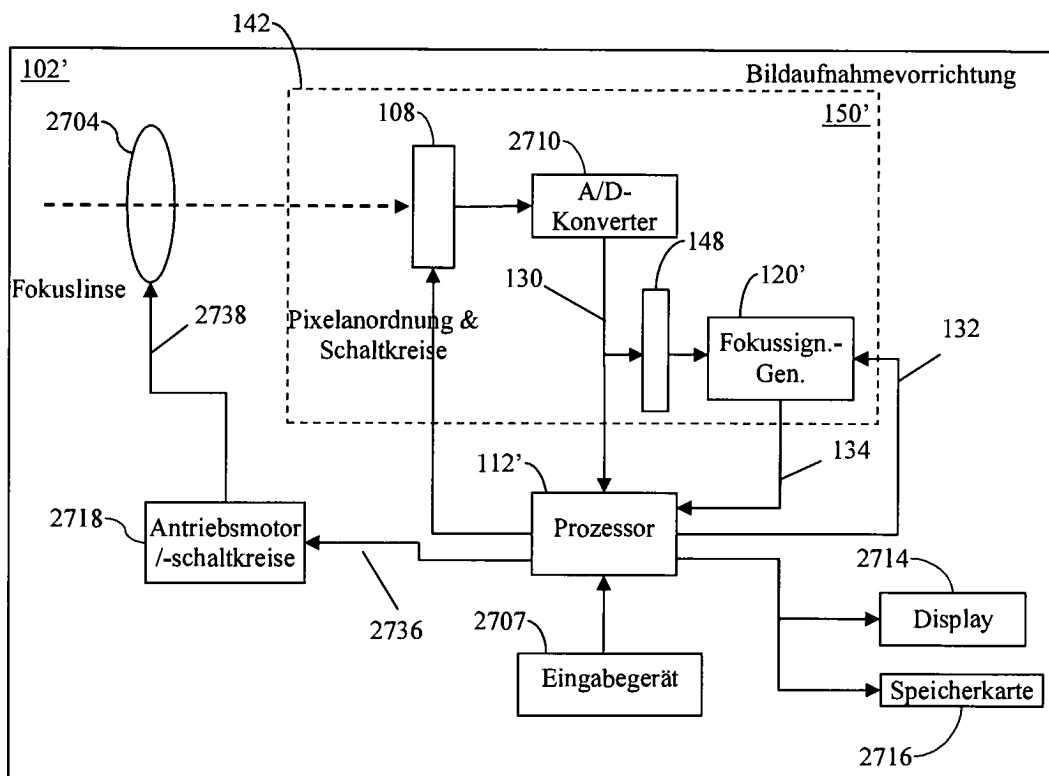


ABB. 18

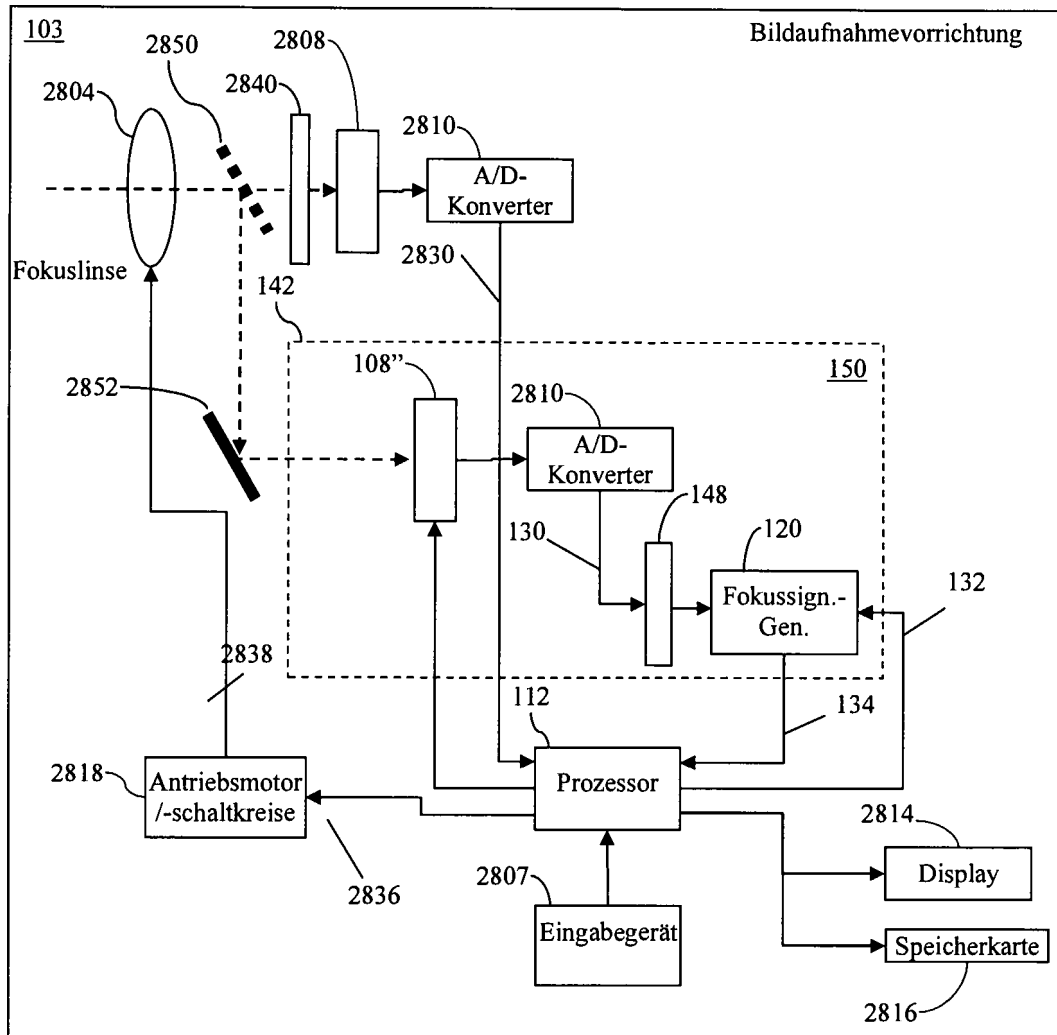


ABB. 19

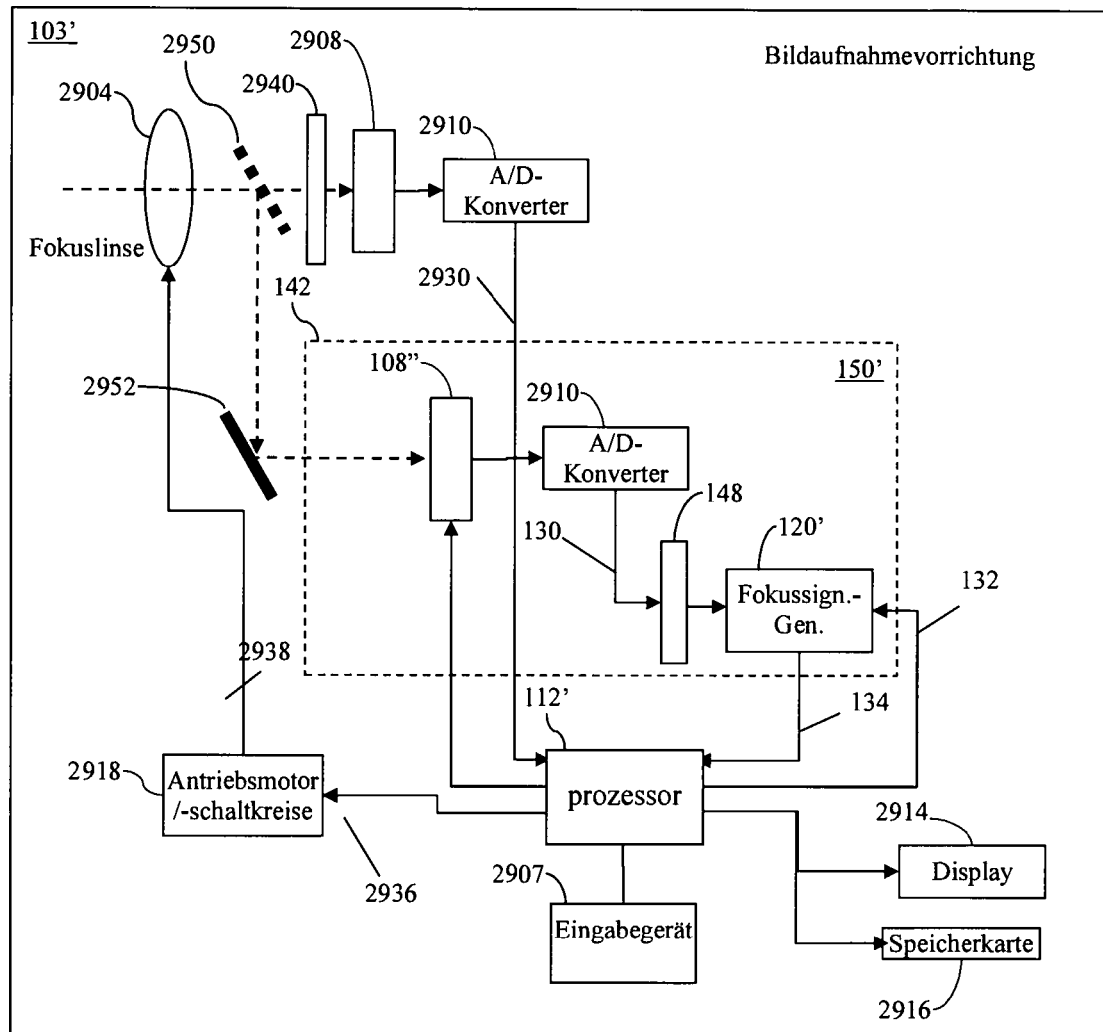


ABB. 20

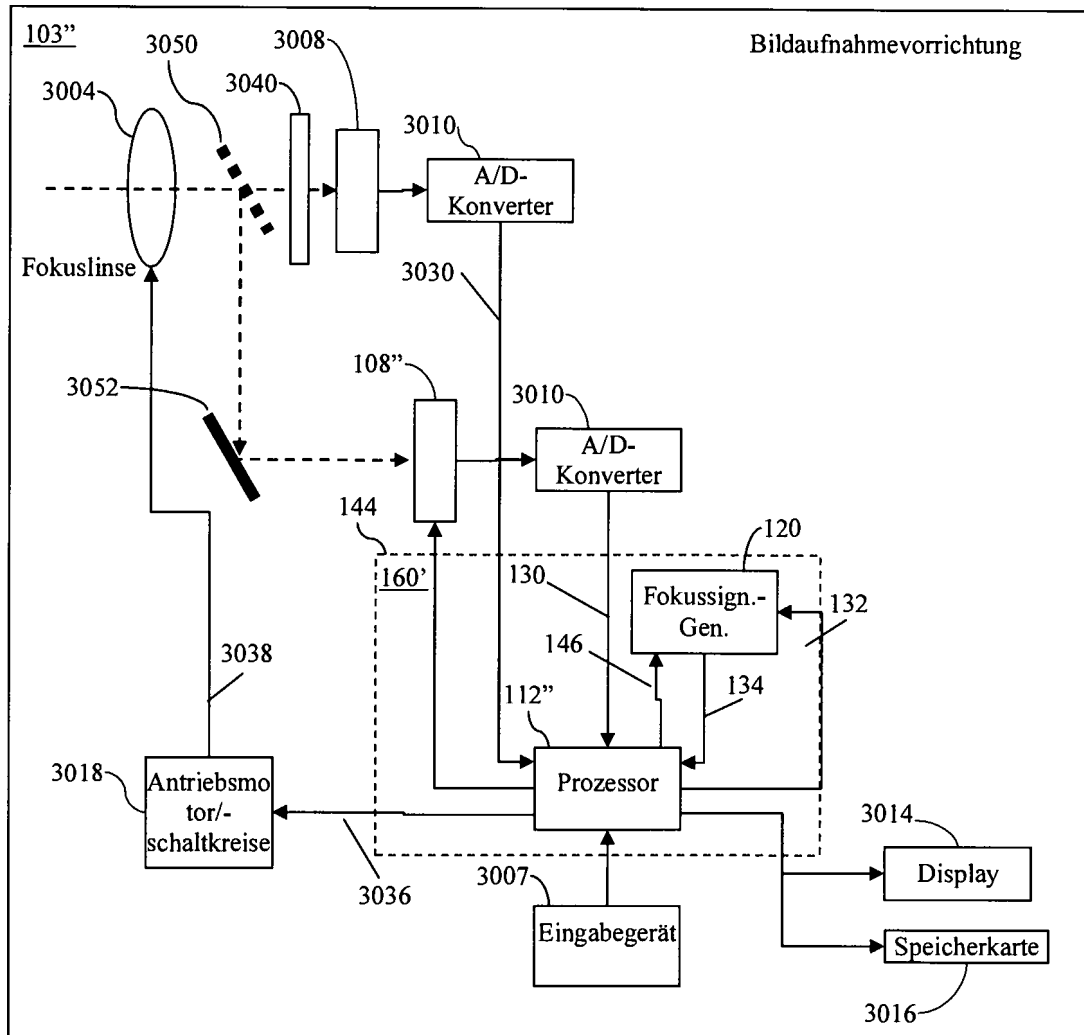


ABB. 21

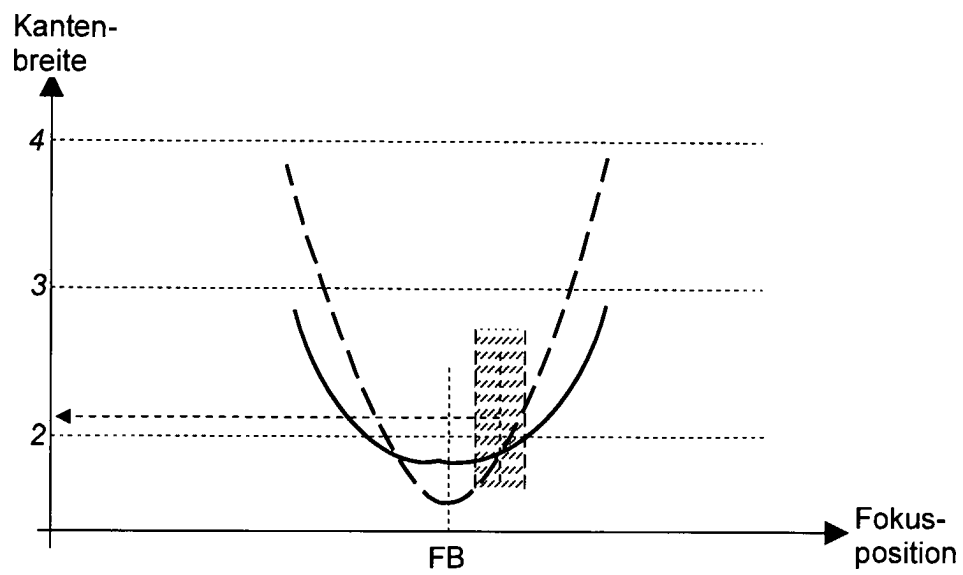


ABB. 22

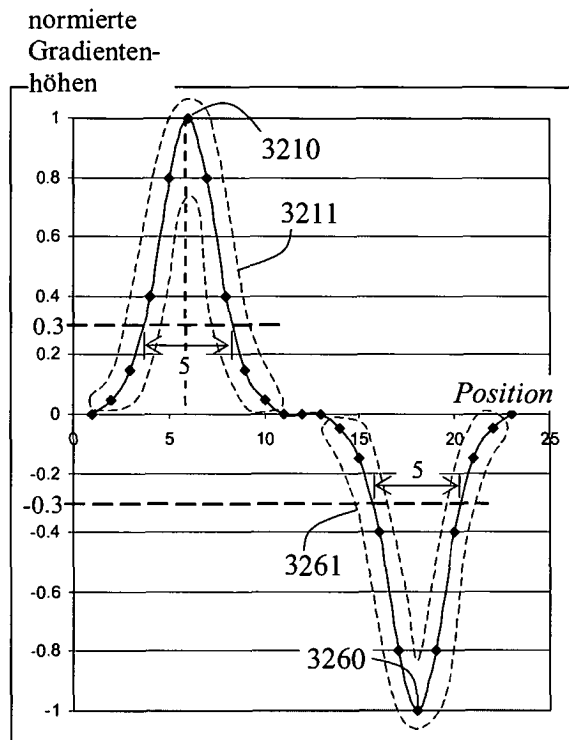


ABB. 23A

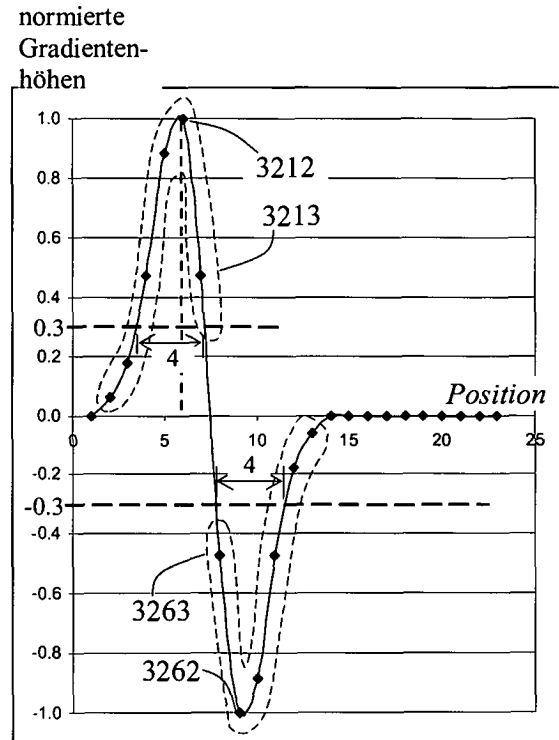


ABB. 23B

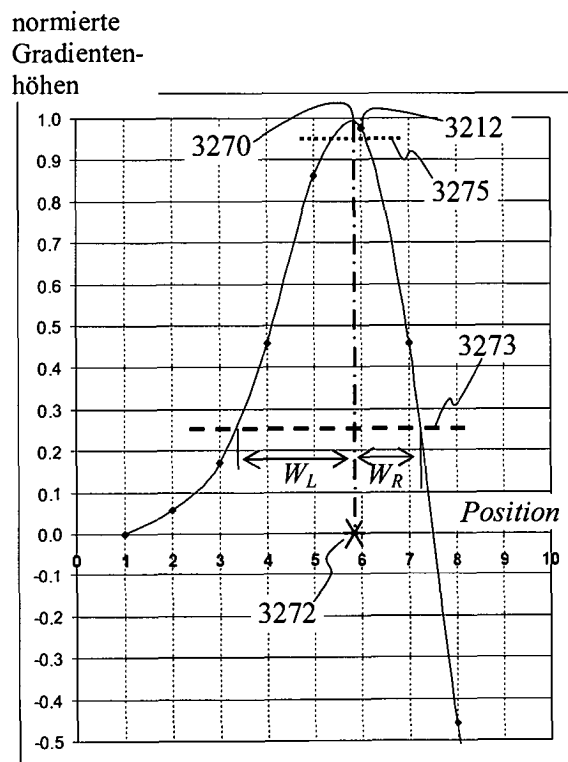


ABB. 24A

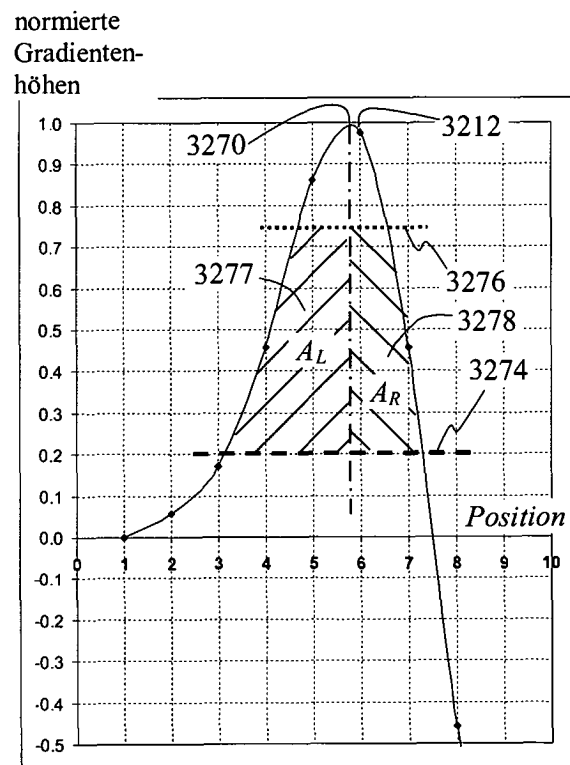


ABB. 24B

normierte
Gradienten-
höhen

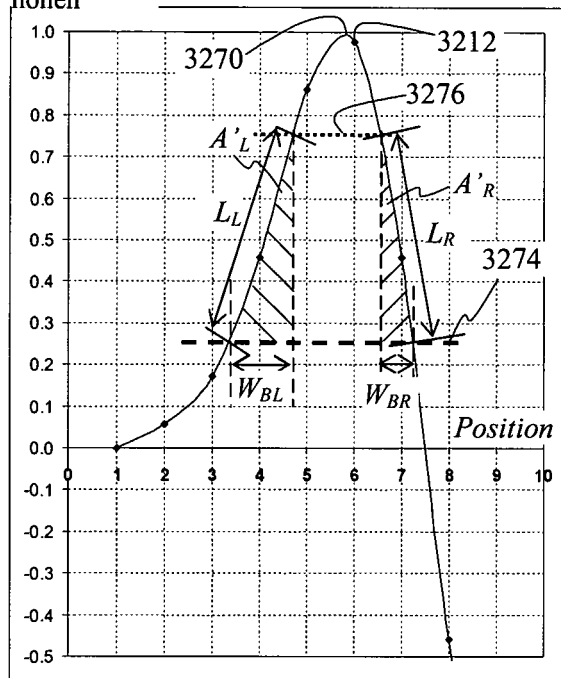


ABB. 24C

normierte
Gradienten-
höhen

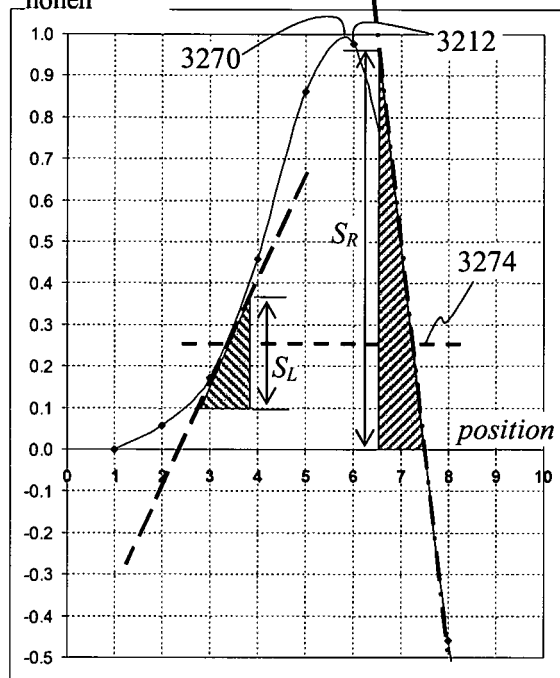


ABB. 24D

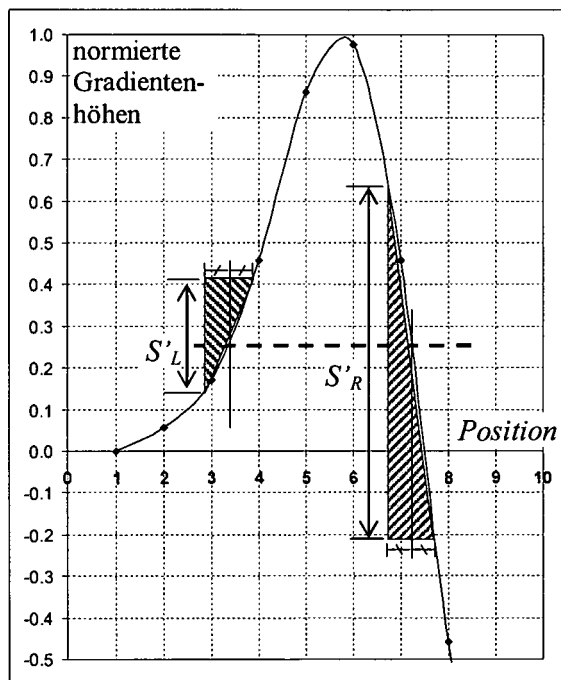


ABB. 24E

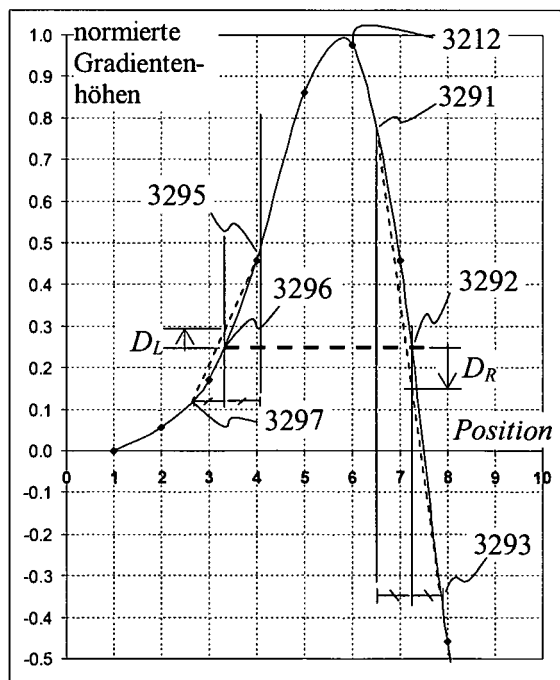


ABB. 24F

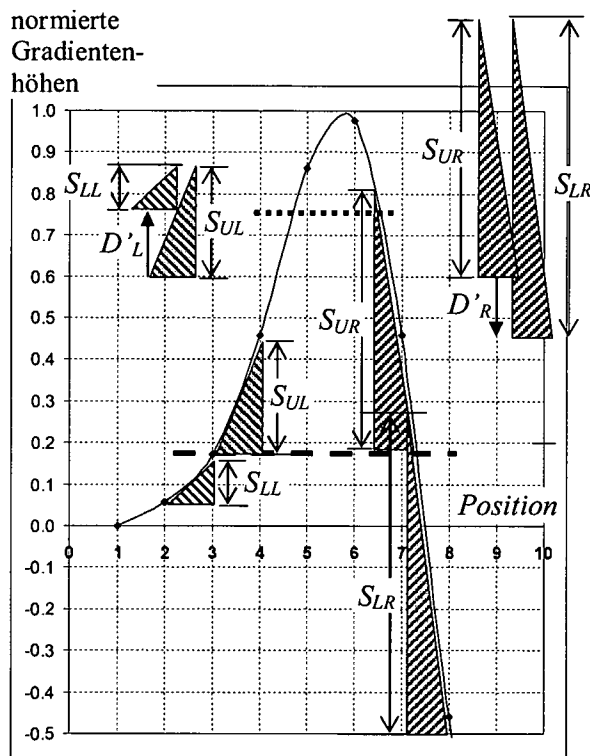


ABB. 24G

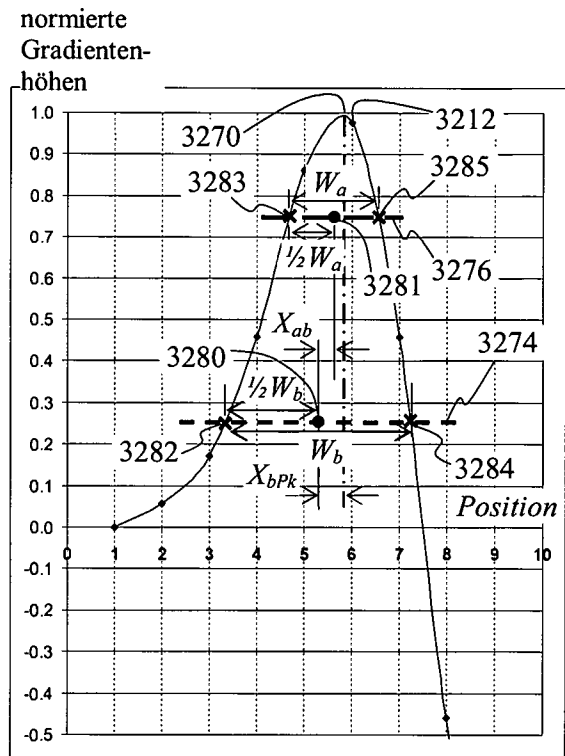


ABB. 24H

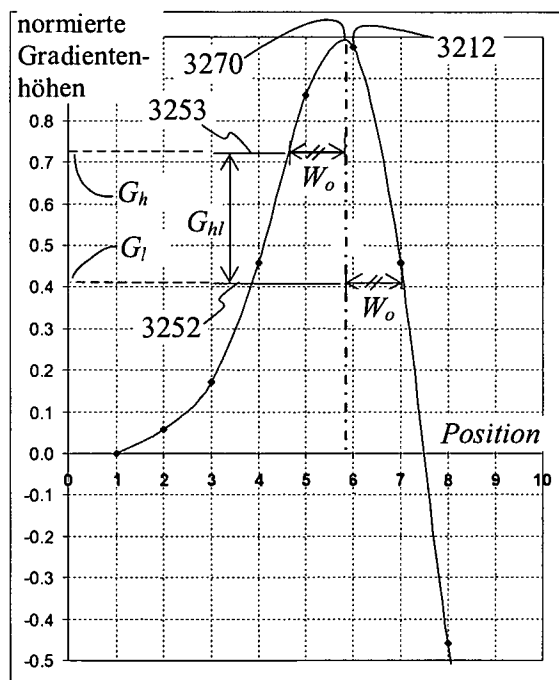


ABB. 24I

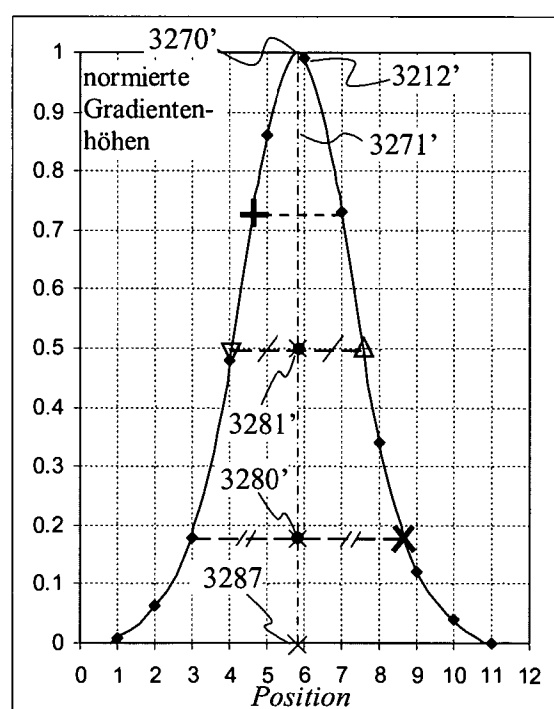


ABB. 24J

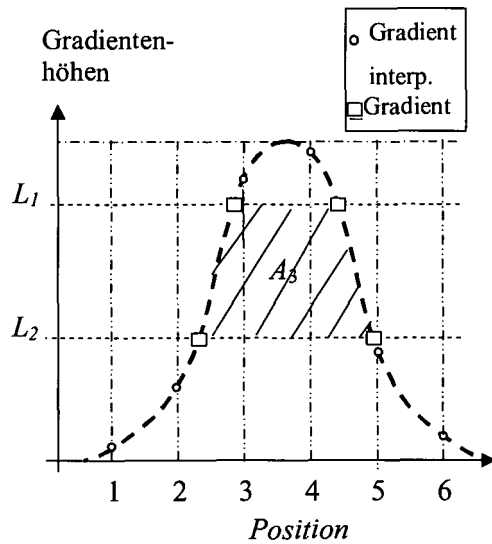


ABB. 27

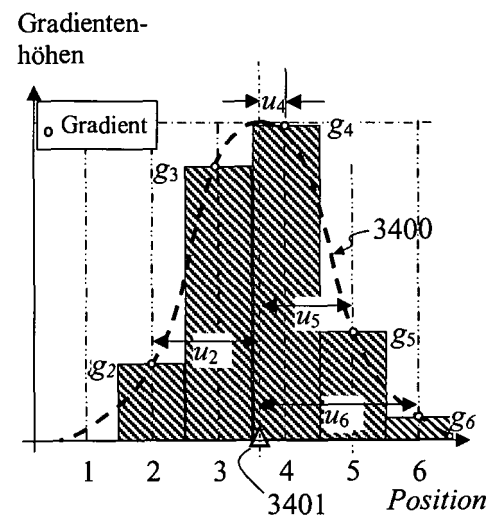


ABB. 28

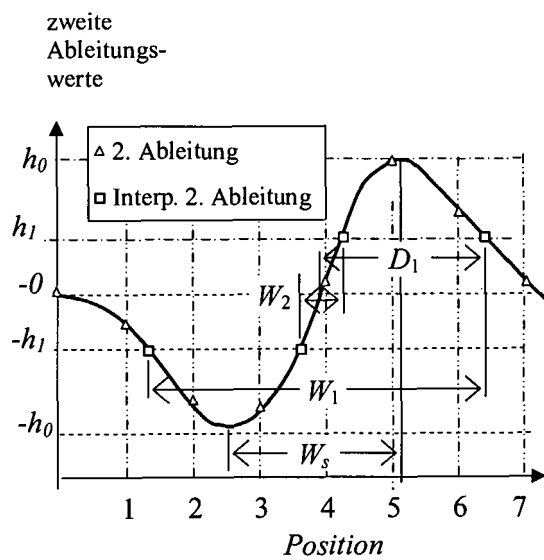


ABB. 25

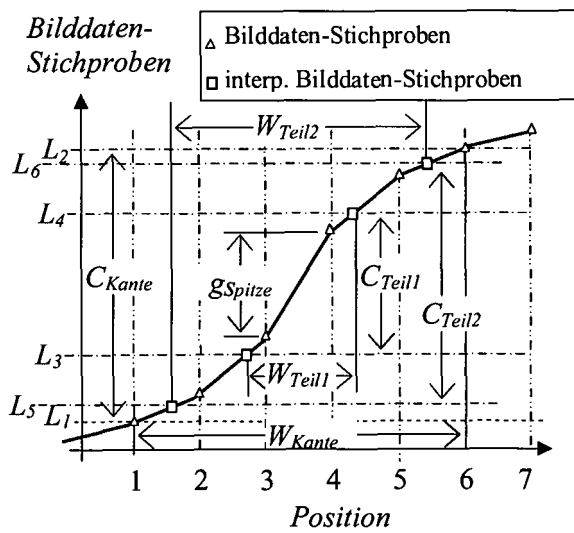


ABB. 26

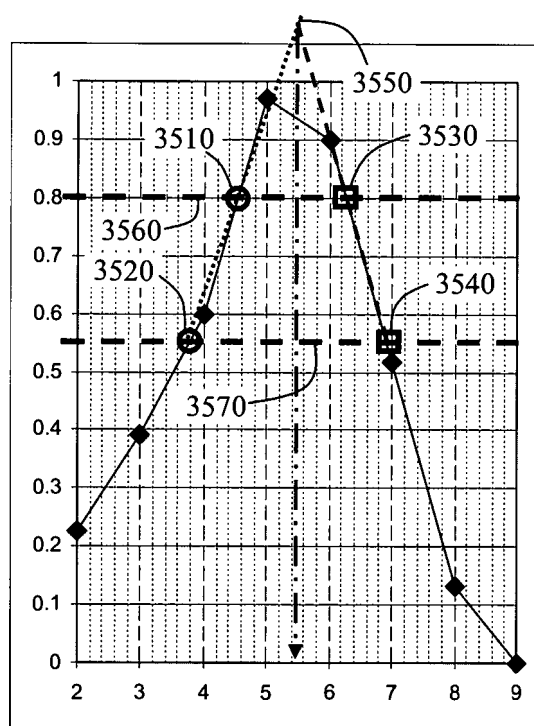


ABB. 29

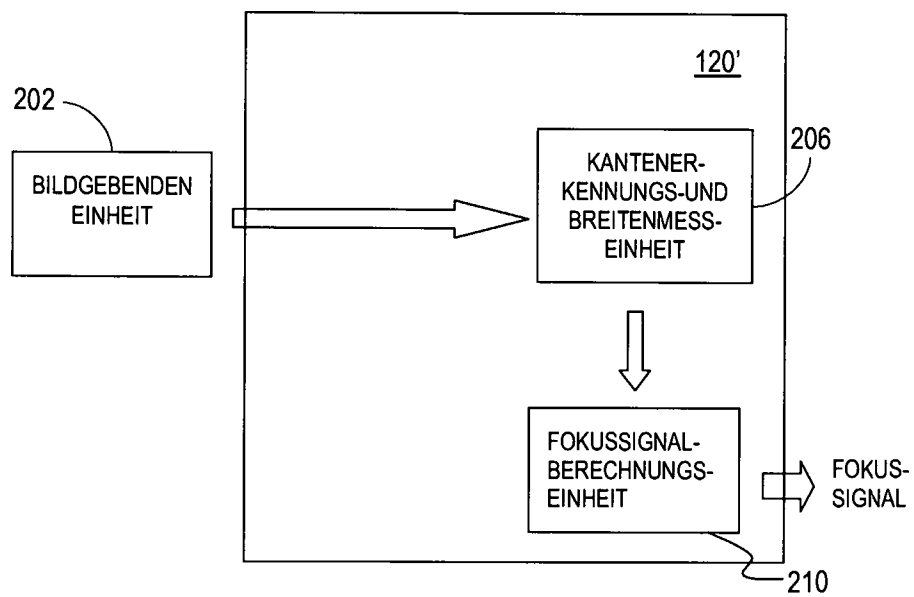


ABB. 30