

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 1415/2008
(22) Anmeldetag: 11.09.2008
(45) Veröffentlicht am: 15.05.2011

(51) Int. Cl. : **G01N 21/89** (2006.01)
G01N 21/84 (2006.01)
G01N 21/898 (2006.01)

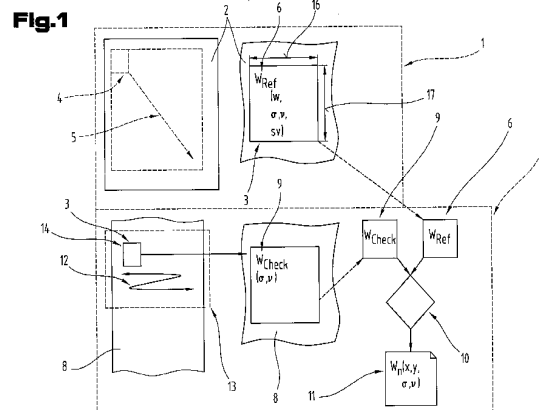
(56) Entgegenhaltungen:
DE 3426056A1 DD 298160A5
GB 2408323A EP 0880023A1
US 6753965B2 US 6100989A
US 4643230A CA 2547304A1
JP 11094766A

(73) Patentinhaber:
SOFTWARE COMPETENCE CENTER
HAGENBERG GMBH
A-4232 HAGENBERG (AT)

(72) Erfinder:
HASLINGER PETER DIPL.ING.
GRAMASTETTEN (AT)
MOSER BERNHARD MAG. DR.
HARGELBERG (AT)

(54) VERFAHREN ZUM AUTOMATISCHEN ERKENNEN EINES DEFEKTS IN EINER ELEKTRONISCHEN DARSTELLUNG

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum automatischen Erkennen eines Defekts in einer elektronischen Darstellung eines Objekts (8), wobei in einer Trainingsphase (1) aus einer defektfreien elektronischen Darstellung (2) die Abmessungen (14,16,18) eines Analyseabschnitts (3) ermittelt werden und die defektfreie Darstellung (2) mit dem Analyseabschnitt (3) überlagert wird, um daraus eine Referenz-Äquivalenzdarstellung (6) des Überlagerungsbereichs zu ermitteln. In einer nachfolgenden Prüfphase (7) wird die Darstellung eines zu prüfenden Objekts (8) mit dem Analyseabschnitt (3) überlagert und eine Prüf-Äquivalenzdarstellung (9) des Überlagerungsbereichs ermittelt. Bei einem Vergleich der Prüf-Äquivalenzdarstellung (9) mit der Referenz-Äquivalenzdarstellung (6) wird eine Abweichung (11) zwischen den beiden Äquivalenzdarstellungen ermittelt.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum automatischen Erkennen eines Defekts in einer elektronischen Darstellung eines Objekts.

[0002] Für die Qualitätsprüfung regelmäßiger Strukturen, insbesondere für eine fortlaufende Überprüfung von Materialien welche bspw. als so genannte Endlosware produziert werden, haben optische Prüfverfahren eine weite Verbreitung gefunden. Optische Prüfverfahren ermöglichen eine kontaktlose und damit zerstörungsfreie Überwachung der Produktionsgüte. Insbesondere wird bei bekannten Verfahren ein Abbild des Abschnitts der zu prüfenden Oberfläche erfasst und mit hinterlegten Referenzmustern verglichen, um so eine Abweichung vom gewünschten Soll - Zustand zu erfassen. Da die zu prüfenden Materialien zumeist eine regelmäßige Struktur aufweisen, insbesondere handelt es sich dabei um gewebeartige Materialien, muss bei der Prüfung auf Defekte auf die grundlegende Struktur des Materials Rücksicht genommen werden. Insbesondere gilt es also, Abweichungen von einer weitestgehend regelmäßigen Struktur im Material zu finden.

[0003] Die Schrift US 4,643,230 A offenbart ein Verfahren und eine Vorrichtung zur automatisierten Überwachung von gewebten textilen Stoffen. Dabei wird ein optischer Erfassungskopf kontinuierlich über die Breite des gewebten Stoffes bewegt und erfasst so kontinuierlich einen Abschnitt der Oberfläche des Gewebes. Eine im optischen Erfassungskopf angeordnete Lichtquelle beleuchtet einen Abschnitt des zu erfassenden Gewebes, welcher von einer ebenfalls im Kopf angeordneten Bilderfassungseinrichtung aufgenommen wird, so dass über die Breite und Bewegungsrichtung des Gewebes gesehen, eine zick-zack-artige Erfassung der Oberfläche des Gewebes erfolgt. Das offenbarte Verfahren ist insbesondere dazu ausgebildet, jene Variationen im erfassten Abbild zu erkennen, die eine bestimmte Abmessung und/oder eine bestimmte Periodizität aufweisen und somit auf einen Fehler im Material beziehungsweise in der Produktionsvorrichtung hinweisen. Beispielsweise kommt es aufgrund von Nadelfehlern in der vorgelagerten Webvorrichtung zu streifenförmigen Mustern, die sich in Längsrichtung des Gewebes ausbreiten.

[0004] Aus der US 6,100,989 A ist eine Vorrichtung zur Fehlersuche in textilen Geweben bekannt, bei der von einer optischen Bilderfassungseinrichtung kontinuierlich ein Abschnitt des Gewebes erfasst wird. Das erfasste Abbild wird von einem nicht linearen Filter verarbeitet, wobei dieses Filter als neuronales Netzwerk ausgebildet ist und aus schwankenden Helligkeitswerten im Abbild ein Signal ermittelt, welches eine Wahrscheinlichkeit eines Defekts im betrachteten Abschnitt angibt. In einem Speichermittel ist eine Mehrzahl von Abbildern defektfreier Gewebeabschnitte, sowie von Gewebeabschnitten mit Defekten hinterlegt. In einer Lernphase wird das neuronale Netzwerk auf die defektfreien bzw. defektbehafteten Referenzabbilder trainiert, sodass in der Prüfphase Defekte im Gewebe erkannt werden können.

[0005] Auch aus der US 6,753,965 B2 ist ein automatisiertes Fehlererkennungssystem für gewebte Materialien offenbart. Aus einem erfassten Abbild wird die spektrale Leistungsdichte ermittelt, insbesondere werden Defekte erkannt, welche die Helligkeitsverteilung in der Umgebung des Defekts verändern beziehungsweise beeinflussen. Zur Ermittlung der spektralen Leistungsdichte und der daraus folgenden Ermittlung von Schwellwerten, wird die reelle Gabor-Funktion verwendet. Insbesondere ist offenbart, dass zur Generierung der Schwellwerte eine Filterbank mit 16 reellen Gabor-Funktionen verwendet wird, die in einem mehrstufigen Synthesvorgang reduziert werden, insbesondere durch einen Vergleich mit defektfreien Abschnitten eines Gewebes, um so am Ende der Synthese Defekte im Gewebe erkennen zu können.

[0006] Es ist ferner bekannt, Fehler in Klassen zusammen zufassen beziehungsweise die charakteristischen Eigenschaften von Gewebefehlern für die Überprüfung auszunützen. Fehler in einer Webvorrichtung äußern sich im Webprodukt zumeist dadurch, dass sie in Längsrichtung des Gewebes linienartig auftreten bzw. sich periodisch wiederholen werden. Auch ist es bekannt, Abbilder charakteristischer Fehler in einem Speichermittel einer Vergleichsvorrichtung zu hinterlegen und mit erfassten Abbildern des zu prüfenden Gewebes zu vergleichen. Auch sind

verschiedene Ausbildungen von Durchlichtmessvorrichtungen bekannt, welche sich insbesondere für semitransparente Gewebematerialien eignen. Dabei wird eine Rückseite der Gewebbahn von einer Lichtquelle beleuchtet und das Abbild des beleuchteten Gewebes an einer Vorderseite von einer Bilderfassungsvorrichtung erfasst. Defekte im Gewebe werden sich hier wiederum als Störung der Helligkeitsverteilung auswirken.

[0007] Aus der GB 2 408 323 A ist ein Prüfsystem bekannt, bei dem ein Prüfmodul mit typischen, auftretenden Gewebefehlern trainiert wird, um darauf basierend eine automatische Prüfung und Defektermittlung durchführen zu können. In einem den Trainingsschritt folgenden Validierungsschritt wird das Prüfmodul unter Echtbedingungen getestet, wobei jedes automatisch generierte Ergebnis einer manuellen Prüfung unterzogen wird, um die eingelernte Prüfroutine fein abzustimmen. Das Dokument offenbart, dass das Prüfmodul auf einer Histogrammanalyse basiert und somit bevorzugt zur Erkennung von Abweichungen von regelmäßigen Mustern einsetzbar ist. Des Weiteren ist offenbart, dass mehrere Kameras Abbilder aus verschiedenen Richtungen unter verschiedenen Beleuchtungssituationen erfassen.

[0008] Bei den bekannten Verfahren wird also ein zu prüfendes Objektabbild mit einem festgelegten Satz von möglichen vorkommenden Defekten verglichen bzw. werden Abweichungen von einem festgelegten Satz möglicher positiver Gut-Muster ermittelt. Die Aufgabe der Erfindung liegt nun darin, ein Verfahren zu finden, mit dem Defekte in einer elektronischen Darstellung eines Abbildes eines Objekts erkannt werden können. Insbesondere ist es Aufgabe der Erfindung, das Verfahren derart auszubilden, dass es nicht nur für eine eingeschränkte Klasse möglicher Abweichungen bzw. möglicher Gut-Muster anwendbar ist.

[0009] Die Aufgabe der Erfindung wird dadurch gelöst, dass in einer Trainingsphase die Abmessungen eines Analyseabschnitts aus einer defektfreien elektronischen Darstellung eines Objekts ermittelt werden und dass ferner eine defektfreie elektronische Darstellung mit dem Analyseabschnitt überlagert wird, um aus dem Überlagerungsbereich eine Referenz-Äquivalenzdarstellung zu ermitteln. In einer, an die Trainingsphase anschließenden Prüfphase wird die elektronische Darstellung eines zu prüfenden Objekts mit dem Analyseabschnitt überlagert und aus dem Überlagerungsbereich eine Prüf-Äquivalenzdarstellung ermittelt. Anschließend wird die Prüf-Äquivalenzdarstellung mit der Referenz-Äquivalenzdarstellung verglichen und eine Abweichung zwischen den beiden Darstellungen ermittelt. Als elektronische Darstellung werden insbesondere all jene Ausbildungen verstanden, die eine Darstellung eines Objekts wie bspw. die Form, die Oberflächenausbildung oder auch innere Materialeigenschaften, in eine elektronisch weiterverarbeitbare Form transformieren. Insbesondere umfasst eine elektronische Darstellung zumindest eine Informationseinheit, die charakteristische Eigenschaften eines Teilabschnitts des zugrunde liegenden Objekts repräsentiert. Ein optisches Abbild kann in ein Bilddatenäquivalent übergeführt werden und geometrische Merkmale können bspw. in eine Vektordatei transformiert werden.

[0010] Die Verfahrensschritte in der Trainingsphase sind insbesondere dadurch gekennzeichnet, dass im Unterschied zu bekannten Verfahren, beim erfindungsgemäßen Verfahren eine Referenz-Äquivalenzdarstellung einer defektfreien elektronischen Darstellung ermittelt wird. Es ist daher nicht erforderlich, ein Referenzmuster vorzugeben, sondern dieses wird in der Trainingsphase durch das erfindungsgemäße Verfahren selbst ermittelt. Bei dem zu prüfenden Objekt kann es sich um flächenhafte Objekte handeln, bspw. um Gewebbahnen, das erfindungsgemäße Verfahren ist jedoch auch zur Prüfung dreidimensionaler Objekte geeignet, die sich in eine elektronische Darstellung überführen lassen. Bevorzugt wird das erfindungsgemäße Verfahren dazu verwendet, um Defekte in der Oberflächenstruktur eines Objekts zu erkennen, wobei sich ein Defekt durch eine Abweichung von einer zumeist weitestgehend regelmäßigen bzw. gleichförmigen Oberflächenstruktur auszeichnet. Daher werden in der Trainingsphase ein Analyseabschnitt und eine Äquivalenzdarstellung ermittelt, die alle wesentlichen Merkmale der Oberflächenstruktur des Objekts repräsentieren, mit denen in der Prüfphase die elektronische Darstellung des zu prüfenden Objekts auf Defekte untersucht wird. Die Abmessungen des Analyseabschnitts sind von besonderer Bedeutung für das erfindungsgemäße Verfahren, als sie derart optimal gewählt werden müssen, um sowohl eine ausreichende Auflösung zu bieten,

also kleinräumige Defekte erkennen zu können, andererseits das Verfahren jedoch nicht unnötig empfindlich auf strukturbedingte Unregelmäßigkeiten werden zu lassen und um ferner eine ausreichende Verarbeitungsgeschwindigkeit sicher zu stellen. Vereinfacht dargestellt ist ein Analyseabschnitt genau so groß, um alle wesentlichen Details der defektfreien elektronischen Darstellung zu erfassen, ohne jedoch unnötige bzw. sich wiederholende Details mit zu erfassen.

[0011] Durch die Überlagerung der defektfreien Darstellung mit dem Analyseabschnitt wird, vereinfacht dargestellt, ein Fenster auf die elektronische Darstellung gebildet und somit nur noch ein Teilausschnitt der gesamten elektronischen Darstellung weiter berücksichtigt. Dieser Überlagerungsbereich umfasst im Hinblick auf eine entsprechend feine Auflösung alle wesentlichen Merkmale der Darstellung des Objekts. Für die weiteren erfindungsgemäßen Verfahrensschritte wird nun aus diesem Überlagerungsbereich eine Referenz-Äquivalenzdarstellung ermittelt, die insbesondere dadurch charakterisiert ist, dass sie eine daten- und signaltechnische Darstellung des Überlagerungsbereichs und damit der elektronischen Darstellung des Objekts festlegt.

[0012] Im Prüfschritt wird die elektronische Darstellung des zu prüfenden Objekts mit dem Analyseabschnitt überlagert und in gleicher Weise wie in der Trainingsphase, aus dem Überlagerungsbereich eine Prüf-Äquivalenzdarstellung ermittelt. Somit liegt auch der zu prüfende Abschnitt in einer daten- und signaltechnisch äquivalenten Repräsentation vor und kann daher auf einfache Art und Weise mit der Referenz-Äquivalenzdarstellung verglichen werden. Insbesondere basieren die Äquivalenzdarstellungen auf statischen Verteilungs- bzw. Bewertungsfunktionen und ermöglichen daher insbesondere einen so genannten unscharfen Vergleich, bei dem sich in besonders vorteilhafter Weise eine Aussage über den Grad der Abweichung zwischen der Prüf- und der Referenz-Äquivalenzdarstellung angeben lässt. Dies ist von besonderem Vorteil, da bekannte Verfahren zumeist nur einen reinen Ja/Nein - Vergleich erlauben und somit ggf. unnötig oft ein Objekt als fehlerhaft gekennzeichnet wird. Somit kann von einer nachgelagerten Kontroll- und Auswertevorrichtung bewertet werden, ab welchem Grad der Abweichung ein Defekt für die weitere Funktion bzw. Verwendung des zugrunde liegenden Prüfobjekts relevant wird und dieses somit beispielsweise als fehlerhaft zu kennzeichnen wäre. Insbesondere ist somit eine Qualitätsklassifizierung möglich, bei der es neben einwandfreien Objekten auch solche mit geringfügigen Fehlern gibt, bei denen die bestimmungsgemäße Funktion zwar gewährleistet ist, es jedoch geringe Abweichungen bspw. in der optischen Gestaltung gibt.

[0013] Im Gegensatz zu bekannten Verfahren wird beim erfindungsgemäßen Verfahren eine Referenzdarstellung als so genanntes Gut-Muster, in der Trainingsphase automatisch ermittelt. Im Gegensatz dazu muss bei bekannten Verfahren für jede Fehlerart bzw. für jede Fehlerklasse, aber auch für jede mögliche fehlerfreie Darstellung, ein eigenes Referenzmuster ermittelt werden bzw. das Verfahren darauf trainiert werden. Das erfindungsgemäße Verfahren ist demgegenüber in der Lage, jede beliebige Fehlerart zu erkennen, ohne dass diese zuvor analysiert und trainiert werden musste. Bekannte Verfahren sind dagegen immer auf einen Satz festgelegter Fehlerarten bzw. Klassen beschränkt, so dass neu auftretende Defekte anfänglich nicht erkannt werden. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren lässt sich jede Abweichung vom trainierten Referenzmuster, dem Gut-Muster, als Defekt erkennen. Von besonderer Bedeutung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist insbesondere, dass in der Trainingsphase aus der defektfreien Darstellung des Objekts automatisch das am besten geeignete Gut-Muster ermittelt wird. Dieses zur weiteren Prüfung verwendete Referenzmuster wird also optimal an die weiteren Schritte des erfindungsgemäßen Verfahrens angepasst, insbesondere ist somit bspw. kein manueller Vorbereitungsschritt erforderlich, um ein passendes Referenzmuster zu ermitteln.

[0014] Ein Defekt in einer elektronischen Darstellung eines Objekts rührt zumeist von einer Deformation bzw. einer Störung in den erfassten Eigenschaften des Objekts her. Bevorzugt wird das optische Erscheinungsbild der Oberflächenstruktur erfasst, daher wird ein Defekt bevorzugt durch eine Störung bzw. Beeinträchtigung des optischen Erscheinungsbilds des Objekts erkennbar sein. Daher wird gemäß einer Weiterbildung die elektronische Darstellung von einer optischen Bilderfassungsvorrichtung erfasst, wobei das optische Abbild des zu prüfenden Objekts anschließend als Bilddaten in einer elektronischen Darstellung vorliegt bspw. in einem

bekanntem elektronischen Bilddatenformat wie jpg, gif, bmp oder tiff, wobei eine Informationseinheit somit bspw. einem Bildpunkt entspricht. Da ein Defekt jedoch auch die äußere Form des Objekts betreffen kann, ist es in einer Weiterbildung möglich, dass durch Erfassen einer Mehrzahl von zweidimensionalen Abbildern, insbesondere von Profilabbildern, die dreidimensionale Form hinreichend erfasst wird. Ein derartiges Verfahren ist beispielsweise als so genanntes „shape from shading“ bekannt. Dabei wird ohne Änderung der Aufnahmeanordnung ein Objekt aus drei verschiedenen Richtungen beleuchtet, wobei sich aus der aufgenommenen Helligkeitsverteilung dessen dreidimensionale Form ermitteln lässt. Die elektronische Darstellung des Objekts kann nun in einem Vorgang erfasst werden, die elektronische Darstellung steht dann also für die unmittelbare weitere Verwendung im erfindungsgemäßen Verfahren zur Verfügung. Es ist jedoch eine stückweise Erfassung der elektronischen Darstellung des Objekts möglich, beispielsweise durch eine zeilenförmige Erfassung in der Art einer Abtastung. Eine derartige zeilenförmige Bilderfassungsvorrichtung lässt sich zumeist technisch einfach realisieren und erlaubt ferner zumeist hohe Verarbeitungsgeschwindigkeiten. Zur Durchführung der erfindungsgemäßen Verfahrensschritte, insbesondere in der Prüfphase, werden allerdings bevorzugt eine Mehrzahl von erfassten Zeilen kumuliert, um den Überlagerungsbereich bilden zu können.

[0015] Für einen Einsatz des erfindungsgemäßen Verfahrens in einer Produktionseinrichtung ist eine Weiterbildung von Vorteil, nach der die elektronische Darstellung des Objekts kontinuierlich erfasst wird. In einer bevorzugten Ausbildung wird das Verfahren zur Prüfung von Defekten in flächenhaften Objekten eingesetzt, insbesondere von endlosen Gewebefahnen. Dabei wird das zu prüfende Objekt, beispielsweise ein Gewebematerial, von einer Fertigungsvorrichtung kontinuierlich produziert, wodurch auch eine kontinuierlich fortlaufende Prüfung erforderlich ist, um die Produktionsqualität einhalten zu können. Mit der anspruchsgemäßen Weiterbildung ist es nun möglich das hergestellte Produkt kontinuierlich zu überwachen, insbesondere bereits im Herstellungsprozess, und somit Defekte bzw. Fehler im Material, die sich insbesondere in der Oberflächenstruktur des Objekts ausprägen, rasch erkennen zu können und somit gegebenenfalls im Herstellungsprozess entsprechende Anpassungen vornehmen zu können. Insbesondere sind somit keine zeit- und arbeitsaufwändige Umlagerungen des produzierten Materials von der Produktionseinrichtung in eine Prüfvorrichtung erforderlich.

[0016] Bei einem Oberflächendefekt kommt es zumeist zu einer Störung im optischen Erscheinungsbild des Objekts, wobei sich diese Störung zumeist im sichtbaren und nicht sichtbaren Spektralbereich auswirkt und es insbesondere zu einer Störung in der gleichmäßigen bzw. periodischen Helligkeitsverteilung des Oberflächenabbilds kommen wird. In einer anspruchsgemäßen Weiterbildung wird daher die elektronische Darstellung als Helligkeitsverteilung erfasst, was insbesondere den Vorteil hat, dass die elektronische Darstellung einer Helligkeitsverteilung, bevorzugt einer Graustufendarstellung, bei kompakter Größe der elektronischen Darstellung, eine hohe Detailgenauigkeit aufweist. Da die elektronische Darstellung in weiteren erfindungsgemäßen Verfahrensschritten bearbeitet bzw. aufbereitet wird, ist eine möglichst kompakte elektronische Darstellung von Vorteil, wobei jedoch die Kompaktheit nicht auf Kosten der Detailauflösung gehen darf, was von einer Helligkeitsverteilung in vorteilhafter Weise erfüllt wird. Des Weiteren sind Erfassungsvorrichtungen für eine Helligkeitsdarstellung eines Objekts einfacher und kostengünstiger, als eine Erfassungsvorrichtung für eine Echtfarbdarstellung. Die Helligkeitsverteilung kann im sichtbaren Spektralbereich erfasst werden, es ist jedoch auch eine Erfassung im nicht sichtbaren IR und/oder UV Bereich möglich. Durch eine Bilderfassung im nicht sichtbaren Spektralbereich lässt sich beispielsweise das Auflösungsvermögen erhöhen, ferner lassen sich manche Defekte im nicht sichtbaren Spektralbereich ggf. deutlicher erkennen.

[0017] Beim erfindungsgemäßen Verfahren wird in einer Trainingsphase eine Referenz-Äquivalenzdarstellung ermittelt, die in der Prüfphase mit einer Prüf-Äquivalenzdarstellung verglichen wird. Nun kann es beispielsweise vorkommen, dass sich die Helligkeitsbedingungen um das Objekt zwischen der Trainings- und Prüfphase unterscheiden und somit die erfassten Abbilder bezüglich ihrer zugrunde liegenden Helligkeit unterschiedlich sein werden, was zu Problemen beim Vergleich der Abbilder führen könnte. Insbesondere können gegebenenfalls vor-

handene Defekte durch unterschiedliche Helligkeiten unzureichend erkannt werden. Gemäß einer Weiterbildung wird daher die erfasste Helligkeitsverteilung normalisiert, wodurch weitestgehend sichergestellt ist, dass die weiteren Verfahrensschritte stets mit einer elektronischen Darstellung durchgeführt werden, deren Bereich der Helligkeitsverteilung, insbesondere im Bezug auf die Extremwerte, mit dem Bereich der Helligkeitsverteilung übereinstimmt, der bei der Ermittlung des Referenzabbilds vorherrschte. Bei einer Normalisierung werden die Helligkeitswerte der elektronischen Darstellung dahingehend bearbeitet, dass stets der geringste und höchste Helligkeitswert auf einen festgelegten Referenzwert angeglichen wird und somit die Verteilung der Helligkeitswerte zwischen diesen beiden Extrema vergleichbar wird.

[0018] Die elektronische Darstellung des Objekts kann nach einer anspruchsgemäßen Weiterbildung auch als mehrdimensionale Werteverteilung erfasst werden, beispielsweise als Komponenten- und/oder Vektordarstellung. Diese Ausbildung hat insbesondere den Vorteil, dass für eine Abbildungseinheit eine zusätzliche Information erfasst bzw. hinterlegt werden kann, um dadurch spezifisch auf die individuelle Ausgestaltung der Oberfläche des zu prüfenden Objekts eingehen zu können und dadurch insbesondere die Defekterkennung dahingehend zu verbessern, dass der Zuverlässigkeitsgrad deutlich erhöht wird. Die erfindungsgemäße Ermittlung einer Abweichung zwischen den Äquivalenzdarstellungen wird ggf. in einem mehrdimensionalen Vektorraum durchgeführt, so dass die elektronischen Darstellungen gemäß dieser Weiterbildung bereits in einer weiterverarbeitbaren Form vorliegen.

[0019] Die Abmessungen des Analyseabschnitts müssen derart ermittelt werden, dass ein ausreichend großer Abschnitt in der elektronischen Darstellung zur Prüfung auf Defekte herangezogen wird, insbesondere dass eine ausreichende Menge an Informations- bzw. Strukturinformationseinheiten in der elektronischen Darstellung erfasst wird. Basierend auf den Abmessungen des Analyseabschnitts werden Äquivalenzdarstellungen ermittelt, wobei es von Vorteil ist, wenn die Abmessungen des Analyseabschnitts gering sind, um dadurch eine hohe Verarbeitungsgeschwindigkeit erreichen zu können. Wird nun anspruchsgemäß zur Ermittlung der Abmessungen des Analyseabschnitts die Entropie des Abschnitts als Bewertungskennzahl ermittelt, hat diese Weiterbildung für das erfindungsgemäße Verfahren den besonderen Vorteil, dass sich über die Entropie eine eindeutige Aussage über den Informationsinhalt und damit über die Relevanz des durch den Analyseabschnitt erfassten Überlagerungsbereichs der elektronischen Darstellung treffen lässt. Die Entropie als Bewertungskennzahl erlaubt eine Aussage darüber, welchen Anteil ein Teilabschnitt am gesamten Informationsgehalt eines Abschnitts beiträgt. Basierend auf den Merkmalen in der elektronischen Darstellung des Objekts, bevorzugt also der darin repräsentierten Oberflächenausbildung des Objekts, kann für eine elektronische Darstellung ein Analyseabschnitt mit geringen Abmessungen für die Ermittlung der Äquivalenzdarstellung ausreichend sein, während für eine andere Ausbildung der elektronischen Darstellung des Objekts die Abmessungen des Analyseabschnitts bedeutend größer gewählt werden müssen.

[0020] In einer Weiterbildung kann zur Ermittlung der Abmessungen des Analyseabschnitts die Energiedichte bzw. ein Energieäquivalent des Abschnitts als Bewertungskennzahl ermittelt werden. Auch mit dieser Weiterbildung lassen sich in vorteilhafter Weise die Abmessungen des Analyseabschnitts spezifisch auf die Detailausbildung der elektronischen Darstellung des Objekts optimiert anpassen. Insbesondere gilt auch für die Energiedichte bzw. ein Energieäquivalent oben gesagtes, als auch hier jeder Teilabschnitt des Analyseabschnitts einen bestimmten, kennzeichnenden Anteil zur Äquivalenzdarstellung beiträgt. Somit ist auch gemäß dieser Weiterbildung eine Optimierung dahingehend möglich, die Abmessungen des Analyseabschnitts auf die Strukturierungsdetails in der elektronischen Darstellung des Objekts optimal anpassen zu können.

[0021] Aufgrund der bereits beschriebenen spezifischen Eigenschaften der elektronischen Darstellungen eines Objekt, insbesondere im Hinblick auf die Strukturfeinheit, ist eine Weiterbildung von Vorteil, nach der die Abmessungen des Analyseabschnitts bis zum Erreichen eines Schwellwerts der Bewertungskennzahl vergrößert werden. Da zur Ermittlung des Analyseabschnitts beispielsweise die Entropie und/oder die Energiedichte bzw. ein Energieäquivalent

berücksichtigt werden und sich somit die daraus ermittelte Bewertungskennzahl bei Vergrößerung der Abmessungen des Analyseabschnitts ebenfalls ändern wird, bevorzugt wird der Wert der Bewertungskennzahl steigen, kann durch festlegen eines Schwellwerts die optimale Größe des Analyseabschnitts für das erfindungsgemäße Verfahren festgelegt werden. Der Schwellwert wird insbesondere derart festgelegt sein, dass alle wesentlichen Strukturen in der elektronischen Darstellung des Objekts vom zugrunde liegenden Analyseabschnitt erfasst werden und somit der Analyseabschnitt nicht unnötig groß gewählt ist. Insbesondere liegt eine Eigenschaft der Bewertungskennzahl darin, dass ab Erreichen eines Schwellwerts der zusätzliche Informationsgewinn bei weiterer Vergrößerung des Analyseabschnitts unproportional gering zunimmt und somit für das erfindungsgemäße Verfahren keine wesentliche Verbesserung der Defekterkennungsqualität bringt.

[0022] Bei Vergrößerung der Abmessungen des Analyseabschnitts und der daraus ermittelten Bewertungskennzahl, wird sich der Wert dieser Kennzahl bei Vergrößerung des Analyseabschnitts im Wesentlichen proportional ändern. Wird die für das weitere Verfahren optimale Größe des Analyseabschnitts erreicht, wird sich bei einer weiteren Vergrößerung des Analyseabschnitts auch die Bewertungskennzahl weiterhin proportional ändern, allerdings wird sich der Grad der Änderung verändern, insbesondere wird sich dieser verringern. Ein mögliches Verfahren zur Ermittlung einer Änderung einer Kenngröße besteht insbesondere darin, die relative Änderung der Bewertungskennzahl in Relation zur relativen Änderung der Größe des Analyseabschnitts zu ermitteln, wobei dies als Ermittlung der Steigung der Bewertungskennzahl bekannt ist. Mit dem anspruchsgemäß weitergebildeten Verfahren lässt sich anhand der Analyse der Steigung der Bewertungskennzahl jene Abmessungen des Analyseabschnitts ermitteln, ab denen eine weitere Vergrößerung des Analyseabschnitts keinen wesentlichen Beitrag zur Ermittlung der Äquivalenzdarstellung bringt. Insbesondere wird sich der Wert der Steigung ab Erreichen des Schwellwerts eines optimalen Analyseabschnitts einem Grenzwert, beispielsweise 0, nähern. Die anspruchsgemäße Ausbildung hat den weiteren Vorteil, dass durch Wahl des Schwellwerts, beispielsweise auch durch Festlegung mehrerer Schwellwerte, die Empfindlichkeit des Verfahrens auf Defekte angepasst werden kann. Beispielsweise kann durch Wahl eines ersten Schwellwerts der Analyseabschnitt zur Prüfung grober Defekte festgelegt werden, wobei ein in der Prüfphase mit diesem Analyseabschnitt erkannter Defekt auf einen gravierenden Fehler hindeutet und das zu prüfende Objekt beispielsweise auszusondern ist. Dies ist von Vorteil, da eine Grobprüfung zumeist auf einem kleineren Analyseabschnitt basiert und dementsprechend schneller durchgeführt werden kann, sodass die Arbeitsbelastung für die Prüfvorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens reduziert wird. In einem gegebenenfalls nachgeschaltetem, zweiten Prüfschritt, könnte dann mit einem zweiten Analyseabschnitt eine Detail- bzw. Feinprüfung der elektronischen Darstellung des Objekts durchgeführt werden.

[0023] Zur Ermittlung der optimalen Abmessungen des Analyseabschnitts ist eine Weiterbildung von Vorteil, nach der die Abmessungen des Analyseabschnitts, beginnend bei einem Startwert, iterativ vergrößert werden. Beispielsweise kann als Startwert die kleinste elektronische Informationseinheit, ein Bildpunkt, in der elektronischen Darstellung des Objekts verwendet werden, wodurch sichergestellt ist, dass der kleinstmöglich erfassbare Defekt in der elektronischen Darstellung Berücksichtigung findet. Eine iterative Vergrößerung hat insbesondere den Vorteil, dass nach jeder schrittweisen Vergrößerung des Analyseabschnitts, die Schritte zur Ermittlung des optimalen Analyseabschnitts durchgeführt werden und so sukzessiv der optimale Analyseabschnitt ermittelt wird. In einer weiteren möglichen Ausführung kann als Startwert ein zufälliger Wert für die Abmessungen des Analyseabschnitts gewählt werden, wodurch gegebenenfalls Iterationsschritte eingespart werden können, da der Startwert bereits in einer Nähe der Abmessungen des optimalen Analyseabschnitts liegen kann. Auch kann die Schrittweite der Vergrößerung des Analyseabschnitts zufällig oder nach statistischen Verfahren zur Lösungsfindung angepasst werden.

[0024] Da der Analyseabschnitt zumeist die elektronische Darstellung des Objekts nicht vollständig abdeckt, ist eine Weiterbildung von Vorteil, nach der in der Prüfphase der Analyseabschnitt zur Überlagerung über der elektronischen Darstellung bewegt wird. Durch die Bewegung

wird wiederholend ein unterschiedlicher Überlagerungsbereich gebildet, um daraus die Prüf-Äquivalenzdarstellung zu ermitteln. Die Bewegung kann gleichförmig über der elektronischen Darstellung erfolgen, es ist aber auch eine zufällige Bewegung möglich, um so beispielsweise mit einer verringerten Anzahl von Überlagerungsbereichen trotzdem die elektronische Darstellung vollständig abdecken zu können. Insbesondere muss jede Informationseinheit der elektronischen Darstellung zumindest einmal von einem Überlagerungsbereich erfasst werden.

[0025] Im Hinblick auf eine Erhöhung der Leistungsfähigkeit des erfindungsgemäßen Verfahrens ist eine Weiterbildung von Vorteil, nach der in der Prüfphase zumindest zwei Analyseabschnitte mit der elektronischen Darstellung überlagert werden. Diese zwei Analyseabschnitte können nun beispielsweise gleichartig ausgebildet sein und somit eine Erhöhung der gleichzeitig durchgeführten Prüfungsvorgänge ermöglichen. Beispielsweise können diese zwei Analyseabschnitte auch dazu dienen, die Erkennungssicherheit eines Defekts zu steigern, indem in den zwei Überlagerungsbereichen der zwei Analyseabschnitte und der daraus ermittelten Äquivalenzdarstellungen ein Defekt erkannt werden muss. Diese Erkennungssicherheit lässt sich insbesondere dadurch weiter steigern, dass gemäß einer Weiterbildung mehrere Analyseabschnitt mit der elektronischen Darstellung überlagert werden, wobei ein Defekt durch Vergleich der Äquivalenzdarstellungen in mehreren Überlagerungsabschnitten erkannt werden muss, um als Defekt klassifiziert zu werden. In einer Weiterbildung könnten die zwei Analyseabschnitte aber auch unterschiedlich ausgebildet sein, insbesondere können unterschiedliche Referenz-Äquivalenzdarstellungen zugrunde liegen, sodass zumindest zwei unterschiedliche Strukturen gleichzeitig geprüft werden können. Beispielsweise kann ein Objekt eine weitestgehend gleichmäßige Oberflächentextur aufweisen, in der jedoch periodische Muster vorkommen. Ein erster Analyseabschnitt könnte nun dazu ausgebildet sein, die gleichmäßige Struktur auf Defekte zu prüfen, ein zweiter Analyseabschnitt kann zur Prüfung der wiederkehrenden Muster gebildet sein, wobei diese Ausbildung wiederum nicht auf zwei Analyseabschnitte beschränkt ist.

[0026] Zur Prüfung unterschiedlicher Strukturen eines Objekts bzw. zur Prüfung mehrerer Objekte mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ist eine Weiterbildung von Vorteil, nach der mehrere Referenz-Äquivalenzdarstellungen aus einem oder mehreren Abschnitten einer defektfreien Darstellung des Objekts erzeugt werden. Somit ist das erfindungsgemäße Verfahren in der Lage, der Defektfindung mehrere unterschiedliche Referenzmuster zu Grunde zu legen. Ferner kann das erfindungsgemäße Verfahren auch elektronische Darstellungen unterschiedlicher Objekttypen Arten prüfen, einfach indem die Referenz-Äquivalenzdarstellung in der Prüfungsphase entsprechend angepasst wird. Da nur die Referenz-Äquivalenzdarstellung umgesteuert werden muss, ist das anspruchsgemäß weitergebildete Verfahren somit insbesondere flexibel und sehr schnell auf sich ändernde Prüfbedingungen anpassbar. Erfindungsgemäß ist einer Referenz-Äquivalenzdarstellung immer auch ein entsprechender Analyseabschnitt zugeordnet.

[0027] Die in der Trainings- bzw. Prüfphase ermittelte Äquivalenzdarstellung ist in vorteilhafter Weise derart ausgebildet, dass sie durch ein Parameterfeld von Kenngrößen beschrieben wird, die bei der Ermittlung der Äquivalenzdarstellungen erzeugt werden. Insbesondere ist die Äquivalenzdarstellung durch Parameter gekennzeichnet, mit denen sich das Abbild des Objekts in der elektronischen Darstellung vollständig repräsentieren und beschreiben lässt. Beispielsweise kann eine Äquivalenzdarstellung durch einen Mittelwert und eine Standardabweichung einer Helligkeitsverteilung beschrieben werden, wobei in einer Weiterbildung mehrere derartige Parameter beispielsweise in einem Vektorfeld bzw. einem Vektorraum zusammengefasst bzw. angeordnet werden können. Somit ist der Überlagerungsbereich des Analyseabschnitts mit der elektronischen Darstellung durch einen, bevorzugt jedoch durch eine Mehrzahl von Parameterwerten charakterisiert, ohne dass dafür eine aufwändige, optische Repräsentation erforderlich wäre. Insbesondere ist für den erfindungsgemäßen Vergleich der Äquivalenzdarstellung ein Vergleich von Parameterfeldern wesentlich einfacher durchführbar, als dies für eine optische Übereinstimmungsprüfung der Fall wäre.

[0028] Beim Vergleich der Äquivalenzdarstellungen wird es zumeist zu Abweichungen in den Darstellungen kommen, wobei für diese Abweichung nach einer anspruchsgemäßen Weiterbil-

dung ein Abweichungsvektor ermittelt wird. Da der Vergleich der Äquivalenzdarstellungen bevorzugt im zwei- bzw. mehrdimensionalen Raum statt findet, lassen sich die Unterschiede zwischen den zu vergleichenden Äquivalenzdarstellungen in vorteilhafter Weise als Vektoren darstellen, wodurch eine Fehler bzw. Defekterkennung erleichtert wird, da sich ein Defekt bspw. in einem großen Änderungsvektor auswirken wird. Auf eine detaillierte Beschreibung der Vektorarithmetik wird hier verzichtet, da diese einem kundigen Fachmann bekannt ist.

[0029] Zur Erhöhung der Erkennungssicherheit ist eine Weiterbildung von Vorteil, nach der eine Mehrzahl von Abweichungsvektoren aggregiert wird, da der resultierende Abweichungsvektor nur dann eine wesentliche Größe bekommt, wenn ein Defekt an einer Position in der elektronischen Darstellung von mehreren Vergleichsoperationen als solcher erkannt wurde, während dessen statistische Ausreißer und gegebenenfalls zu unrecht erkannte Defekte durch diese Aggregation für die Erkennung eines Defekts nicht in Betrachtung gezogen werden, da der resultierende Abweichungsvektor unter einem festgelegten Grenzwert bleiben wird.

[0030] Ein Defekt im überprüften Analyseabschnitt wird nun dadurch erkennbar, dass bei Vergleich des Abweichungsvektors mit einem Grenzwertfeld, eine Über- oder Unterschreitung zumindest eines Grenzwerts vorkommt. Insbesondere durch die Betrachtung im Vektorraum kann der Abweichungsvektor hinsichtlich seiner Parameter mit einem Grenzwertfeld verglichen werden, um so eine Grenzwertverletzung festzustellen bspw. durch Verletzung von zugrunde liegenden Mittelwerten und/oder Verteilungswerten der Äquivalenzdarstellung.

[0031] In einer Weiterbildung wird bei einem erkannten Defekt eine Positionsinformation des erfassten Defekts ermittelt, sodass eine gegebenenfalls angeschlossene Auswertevorrichtung die Positionsinformation dazu nutzen kann, um weitere Verfahrensschritte einzuleiten, mit denen eine Weiterbehandlung des erkannten Defekts erfolgt. Beispielsweise kann in einem zu prüfenden Endlosmaterial eine Markierung an der Position des Defekts angebracht werden, um diesen Defekt eindeutig kennzeichnen zu können. Neben der Positionsinformation ist mit dem erfindungsgemäßen Verfahren auch eine Charakterisierung des erkannten Defekts möglich, insbesondere lässt sich eindeutig ein Grad für die Abweichung des Defekts von einem Referenzzustand angeben. Es ist somit eine Unterscheidung möglich, ob es sich um einen Fehler mit großer Abweichung dafür aber geringer örtlicher bzw. räumlicher Ausdehnung handelt, oder ob der Fehler bzw. die Abweichung gering ist, sich dafür aber über einen großen Abschnitt des Objekts erstreckt. Darauf basierend kann eine Auswertevorrichtung entsprechende Schritte einleiten und somit entscheiden, ob der erkannte Fehler für die weitere Verwendung des geprüften Objekts relevant ist, also das Objekt fehlerhaft ist, oder ob es sich um einen geringen bzw. vernachlässigbaren Fehler handelt. Diese Erfassung der Positionsinformation wird bspw. dadurch erreicht, dass für jede Informationseinheit der elektronischen Darstellung alle Abweichungswerte bzw. Abweichungsvektoren der betreffenden Position aggregiert werden, wobei ein Defekt dadurch erkennbar ist, dass ein festgelegter Grenzwert für den Aggregationswert überschritten wird. In diesem Fall wird der betreffende Punkt als defektbehaftet gekennzeichnet.

[0032] Nach einer bevorzugten anspruchsgemäßen Weiterbildung wird die Referenz- und Prüfäquivalenzdarstellung durch eine One-Class-Support-Vector-Machine (OCSVM) ermittelt, die in vorteilhafter Weise besonders gut geeignet ist, Abweichungen von bekannten bzw. festgelegten Referenzdarstellungen zu ermitteln. Insbesondere verwendet eine OCSVM nur eine einzige, klar definierte Klasse von Positivbeispielen, also fehlerfreie Darstellungen des Objekts, um darauf basierend Abweichungen erkennen zu können. Die Klasse positiver Beispiele wird beispielsweise durch eine mehrfache automatische Erfassung positiver Referenzabbilder ermittelt, die im Klassenraum der OCSVM abgelegt werden. Insbesondere hat eine OCSVM in der Trainingsphase den Vorteil, dass zu deren Parametrierung keine manuellen Bedienhandlungen erforderlich sind, sondern ein automatisch ablaufender, iterativer Prozess die jeweils optimale Äquivalenzdarstellung ermittelt. Bei einer Support-Vector-Machine gilt es, die Klasse der positiven Muster im Vektorraum eindeutig abgrenzen zu können, um somit jedes Prüfmuster das außerhalb dieser Grenze liegt, als Defekt kennzeichnen zu können. Eine Möglichkeit dies zu bewerkstelligen, besteht darin, die Anzahl der Support-Vectors zur Erzielung einer linearen Trennbarkeit des Klassen- bzw. Vektorraums der OCSVM mittels eines Gaußschen Kernels zu

minimieren. Zur Herbeiführung einer linearen Trennbarkeit der Objekte der Referenzklasse wird mit dem Kernel eine Transformation in einen höher dimensionalen Raum erreicht, in dem eine lineare Trennbarkeit möglich ist. Zur Findung der optimalen Parameter der Support-Vector-Machine werden die Parameter des Gaußschen Kernels, insbesondere die Empfindlichkeit und die Abweichungsabgrenzung, dahingehend variiert, dass die Anzahl der erforderlichen Support-Vectors zur Herbeiführung einer linearen Trennbarkeit minimiert wird.

[0033] Ein Überlagerungsbereich umfasst zumindest eine Informationseinheit, die einen Teilschnitt des Objekts repräsentiert. Bevorzugt umfasst ein Überlagerungsbereich eine Mehrzahl derartiger Informationseinheiten. Beim erfindungsgemäßen Verfahren wird beim Vergleich der Äquivalenzdarstellungen für die Abweichung eine Kennzahl bestimmt, die jeder Einheit des Überlagerungsbereichs zugewiesen wird. Damit unterscheidet sich das erfindungsgemäße Verfahren von bekannten Verfahren ganz wesentlich, da bisher bekannt war, nur der aktuell verglichenen Informationseinheit die Kennzahl der Abweichung zuzuweisen. Die Beiträge der restlichen Informationseinheiten aufgrund eines möglichen Defekts wurden durch die Abweichungskennzahl der einen Informationseinheit ausgedrückt. Dadurch wurden bekannte Verfahren sehr empfindlich auf statistische Störungen die jedoch nicht auf einem Defekt basierten sondern bspw. durch eine ungünstige Beleuchtungssituation bei der Erfassung der elektronischen Darstellung hervorgerufen wurden. Da für eine Informationseinheit der elektronischen Darstellung eine Mehrzahl von Überlagerungsbereichen zu verwalten ist, werden die Kenndaten der Überlagerungsbereiche wie bspw. die relative Position im Bezug auf die elektronische Darstellung, und die Kennzahl für die Abweichung für jeden Überlagerungsbereich in einem Vektorraum abgelegt.

[0034] Nach einer Weiterbildung werden für jede Informationseinheit alle Kennzahlen aller Überlagerungsbereiche aggregiert. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren wird jede Informationseinheit in der elektronischen Darstellung von bevorzugt mehreren Überlagerungsbereichen erfasst. Aufgrund der spezifischen Lage der Informationseinheit in Relation zum Überlagerungsbereich wird sich beim Vergleich der Äquivalenzdarstellungen eine unterschiedliche Kennzahl der Abweichung ergeben, die jedoch allen Informationseinheiten des Überlagerungsbereichs zugewiesen wird. Vereinfacht dargestellt liegt über jeder Informationseinheit eine Mehrzahl von Überlagerungsbereichen, vorstellbar als übereinander geschichtete Ebenen, mit jeweils einer Kennzahl der Abweichung für jede überdeckte Informationseinheit. Für jede Informationseinheit werden nun alle Abweichungskennzahlen aggregiert, bspw. in dem sie addiert werden. Durch diese Aggregation werden Überlagerungsbereiche, in denen eine Abweichung erkannt wurde, einen großen Anteil zur Gesamtfehlerverteilung liefern, aber auch Überlagerungsbereiche mit einer geringen Abweichung werden aufgrund der Aggregation einen Beitrag zur Fehlerverteilung liefern. Durch eine anschließende Normierung bzw. durch Vergleich mit Grenz- oder Schwellwerten lässt sich in vorteilhafter Weise eine Fehlerklassifizierung durchführen.

[0035] Zum besseren Verständnis der Erfindung wird diese anhand der nachfolgenden Figuren näher erläutert.

[0036] Es zeigen jeweils in stark schematisch vereinfachter Darstellung:

[0037] Fig. 1 Die Verfahrensschritte in der Trainings- und Prüfphase;

[0038] Fig. 2 a) und b) eine optische Darstellung des zu prüfenden Objekts und die darin ermittelten Defekte;

[0039] Fig. 3 Eine dreidimensionale Darstellung der erkannten Defekte der elektronischen Darstellung aus Fig. 2a;

[0040] Fig. 4 Eine graphische Darstellung der Verlaufs des Informationsgehalts aufgetragen über der Größe des Analyseabschnitts;

[0041] Fig. 5 a) bis c) eine schematische Darstellung der Defekterkennung und der Fehleraggregation.

[0042] Einführend sei festgehalten, dass in den unterschiedlich beschriebenen Ausführungsformen gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen bzw. gleichen Bauteilbezeichnungen versehen werden, wobei die in der gesamten Beschreibung enthaltenen Offenbarungen sinngemäß auf gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen bzw. gleichen Bauteilbezeichnungen übertragen werden können. Auch sind die in der Beschreibung gewählten Lageangaben, wie z.B. oben, unten, seitlich usw. auf die unmittelbar beschriebene sowie dargestellte Figur bezogen und sind bei einer Lageänderung sinngemäß auf die neue Lage zu übertragen. Weiters können auch Einzelmerkmale oder Merkmalskombinationen aus den gezeigten und beschriebenen unterschiedlichen Ausführungsbeispielen für sich eigenständige, erfinderische oder erfindungsgemäße Lösungen darstellen.

[0043] Sämtliche Angaben zu Wertebereichen in gegenständlicher Beschreibung sind so zu verstehen, dass diese beliebige und alle Teilbereiche daraus mit umfassen, z.B. ist die Angabe 1 bis 10 so zu verstehen, dass sämtliche Teilbereiche, ausgehend von der unteren Grenze 1 und der oberen Grenze 10 mitumfasst sind, d.h. sämtliche Teilbereich beginnen mit einer unteren Grenze von 1 oder größer und enden bei einer oberen Grenze von 10 oder weniger, z.B. 1 bis 1,7, oder 3,2 bis 8,1 oder 5,5 bis 10.

[0044] Fig. 1 zeigt schematisch die Verfahrensschritte zum automatischen Erkennen eines Defekts in einer elektronischen Darstellung eines Objekts. In einer Trainingsphase 1 wird aus einer defektfreien elektronischen Darstellung eines Objekts 2 ein Analyseabschnitt 3 dadurch ermittelt, dass beginnend bei einem Startabschnitt 4 die Abmessungen des Abschnitts iterativ vergrößert 5 werden, bis die optimalen Abmessungen des Analyseabschnitts erreicht werden. Die defektfreie elektronische Darstellung 2 wird anschließend mit dem so ermittelten Analyseabschnitt 3 überlagert und aus dem Überlagerungsbereich eine Referenz-Äquivalenzdarstellung 6 des Überlagerungsbereichs ermittelt.

[0045] In der Prüfphase 7 wird von einem zu prüfenden Objekt eine elektronische Darstellung 8 erfasst und mit dem, in der Trainingsphase 1 ermittelten Analyseabschnitt 3 überlagert. Für diesen Überlagerungsbereich wird wiederum eine Äquivalenzdarstellung ermittelt, dieses Mal als Prüf-Äquivalenzdarstellung 9. Diese Prüf-Äquivalenzdarstellung 9 wird mit der Referenz-Äquivalenzdarstellung 6 verglichen, wobei im Fall einer Abweichung eine Abweichungsinformationseinheit 11 ermittelt wird.

[0046] Das erfindungsgemäße Verfahren basiert auf der Ermittlung einer Abweichung von einer fehlerfreien elektronischen Darstellung eines Objekts, während bei bekannten Verfahren zumeist auf das Auftreten von definierten und insbesondere trainierten, bekannten Fehlermustern bzw. Fehlerklassen erkannt wird. Daher wird in der Trainingsphase 1 zumindest eine Referenz-Äquivalenzdarstellung 6 einer defektfreien elektronischen Darstellung 2 ermittelt. Bei den zu prüfenden Objekten handelt es sich bspw. um so genannte Endlosmaterialien, bevorzugt sind es Endlosgewebematerialien, die von einer Fertigungsvorrichtung kontinuierlich hergestellt werden. Die elektronische Darstellung kann nun mittels einer optischen Bilderfassungsvorrichtung wie bspw. einer CCD-Kamera erfasst werden und steht somit als elektronische Bilddatendatei zur Verfügung. Die Bilderfassungsvorrichtung ist dabei bevorzugt mit einer Datenverarbeitungseinrichtung verbunden, die auch zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ausgebildet ist. Eine Prüfung auf Defekte in der Oberflächengestaltung eines Objekts kann daher auf eine Prüfung des Abbilds der Objektoberfläche zurückgeführt werden, wobei sowohl eine Auflicht- als auch eine Durchlichtdarstellung mitumfasst ist, da sich bei Gewebematerialien eine Störung in der Herstellungsvorrichtung zumeist durch eine Störung im regelmäßigen Muster der Oberflächenstruktur auswirken wird.

[0047] Dem Analyseabschnitt kommt beim erfindungsgemäßen Verfahren eine besondere Bedeutung zu, da dieser alle wesentlichen strukturellen Merkmale der zu prüfenden elektronischen Darstellung umfassen muss, die Abmessungen des Abschnitts jedoch klein genug gewählt sein müssen, um nicht unnötig viele, insbesondere sich wiederholende Details der elektronischen Darstellung für die Ermittlung der Referenz-Äquivalenzdarstellung 6 berücksichtigen zu müssen. Zum Beispiel gibt es bei einem Gewebematerial zumindest zwei unterschiedliche

periodische Strukturen, die die Abmessungen des Analyseabschnitts ganz wesentlich beeinflussen. Einmal gibt es die so genannte Maschenweite als grundlegende periodische Struktur des Gewebes, die sich jeweils im Abstand der Kett- bzw. Schussfäden wiederholen wird. Eine zweite periodische Struktur wird durch die Oberflächenstruktur der Gewebefäden gebildet, wobei diese Struktur sich mit kürzerer Periode als die Gewebsstruktur wiederholt und zusätzlich eine größere Variation enthält, die bspw. von der relativen Lage, der Verdrehung und der Spannung des Fadens abhängt. Somit wird es eine Vielzahl unterschiedlicher defektfreier Darstellungen innerhalb der Periodizität des Gewebes geben. Die Abmessungen des Analyseabschnitts sind insbesondere dann optimal gewählt, wenn eine Vergrößerung des Analyseabschnitts keinen wesentlichen Informationsgewinn für die Ermittlung der Referenz-Äquivalenzdarstellung 6 bringt, es sind dann alle Feinstrukturen der Fäden und die gröbere Struktur des Gewebes umfasst. Der kleinstmögliche Analyseabschnitt ist dabei durch die kleinstmögliche Informationseinheit in der elektronischen Darstellung, einem Bildpunkt, gekennzeichnet, der größtmögliche Analyseabschnitt entspricht dabei der gesamten elektronischen Darstellung.

[0048] Zur Ermittlung der Abmessungen des Analyseabschnitts wird dabei beginnend bei einem Startabschnitt 4 die Entropie bzw. ein Energiegehalt des Überlagerungsbereichs des Startabschnitts 4 mit der elektronischen Darstellung 2 ermittelt und durch eine Bewertungskennzahl ausgedrückt. Der Analyseabschnitt wird nun iterativ vergrößert 5 und dabei die Änderung der Bewertungskennzahl überwacht. Abhängig vom zugrunde liegenden Muster bzw. der Oberflächenstruktur, die durch die elektronische Darstellung repräsentiert wird, wird sich die Bewertungskennzahl bei Vergrößerung des Analyseabschnitts anfänglich stark ändern, bei Erreichen der Abmessungen des optimalen Analyseabschnitts wird die Änderung der Bewertungskennzahl abflachen. Beispielsweise kann nun die Bewertungskennzahl mit einem Schwellwert verglichen werden, bevorzugt wird jedoch das Maß der Änderung, also die Steigerung, überwacht. Die Steigerung wird bei Erreichen des optimalen Analyseabschnitts eine merkbare Wertänderung erfahren bzw. gegen einen Grenzwert konvergieren. Zur Ermittlung des optimalen Analyseabschnitts kann nun die Bewertungskennzahl zum gesamten Informationsgehalt der elektronischen Darstellung in Bezug gesetzt werden. Mittels mathematischer Methoden kann aus der gesamten elektronischen Darstellung der Informationsgehalt und somit die Bewertungskennzahl ermittelt werden, wobei die Abmessungen des optimalen Analyseabschnitts bevorzugt dadurch gekennzeichnet sind, dass die Bewertungskennzahl 90 % jenes Werts erreicht, der für die gesamte elektronische Darstellung erreichbar ist. Durch diese Wahl des Analyseabschnitts ist sichergestellt, dass trotz entsprechend kleinem Analyseabschnitt ein großes Maß an Information in diesem Analyseabschnitt enthalten ist und für die Ermittlung der Referenz-Äquivalenzdarstellung herangezogen wird. Zumeist wird ein rechteckiger Analyseabschnitt mit Breite 16 und Höhe 17 gewählt, wobei insbesondere ein quadratischer Analyseabschnitt besonders bevorzugt ist.

[0049] Für die Ermittlung der Referenz-Äquivalenzdarstellung 6 wird das System der Support-Vector-Machine (SVM) verwendet. Dieses System hat sich zur optischen Fehlererkennung mittels Datenverarbeitungseinrichtungen bewährt und basiert auf einer Darstellung einer Verteilungsfunktion in einem Vektorraum. Dabei lässt sich eine Menge bekannter Zustände im Vektorraum repräsentieren und ggf. in einem mehrdimensionalen Volumen einschließen. Für die Referenz-Äquivalenzdarstellung 6 wird nun zumindest ein derartiger Zustand ermittelt, zur Erhöhung der Zuverlässigkeit des Verfahrens werden jedoch eine Mehrzahl von Zuständen erfasst, insbesondere werden aus der defektfreien elektronischen Darstellung 250 zufällig gewählte Überlagerungsbereiche analysiert und im Vektorraum abgebildet. Als Resultat dieser Mehrfacherfassung von Analyseabschnitten wird bspw. durch Mittelwertbildung der ermittelten Parameter die Referenz-Äquivalenzdarstellung gebildet, die somit bestmöglich die Merkmale der elektronischen Darstellung im Analyseabschnitt repräsentiert und damit indirekt auch die Struktur, insbesondere die Oberflächenstruktur des Objekts beschreibt.

[0050] In der Prüfphase 7 wird aus dem Überlagerungsbereich des Analyseabschnitts 3 mit der elektronischen Darstellung des zu prüfenden Objekts 8 eine Prüf-Äquivalenzdarstellung 9 ermittelt, wobei für den Überlagerungsbereich wiederum im Wesentlichen ein Mittelwert sowie eine

Verteilung ermittelt wird, wobei anschließend die Prüf-Äquivalenzdarstellung 9 mit der Referenz-Äquivalenzdarstellung 6 verglichen wird 10. Da der Analyseabschnitt 3 zumeist deutlich kleiner ist als die elektronische Darstellung des prüfenden Objekts 8, wird der Analyseabschnitt 3 über das gesamte zu prüfende elektronische Abbild bewegt, wobei kontinuierlich Überlagerungsbereiche gebildet werden, für die wiederum eine Prüf-Äquivalenzdarstellung ermittelt wird. Die Überlagerungsbewegung 12 des Analyseabschnitts 3 kann nun einem zyklischen bzw. kontinuierlichen Bewegungsmuster folgen, es ist aber auch ein zufälliges Bewegungsmuster denkbar. In einer bevorzugten Ausbildung wird das erfindungsgemäße Verfahren zur Prüfung kontinuierlich bereitgestellter Objekte, insbesondere zu Oberflächenprüfung von Endlosmaterialien eingesetzt. Das zu prüfende Objekt bewegt sich also kontinuierlich an einer Erfassungsvorrichtung vorbei, die kontinuierlich bzw. periodisch ein Abbild des Objekts, insbesondere der Objektoberfläche erfasst. Die kontinuierliche Bewegung des Objekts wird sich auch in der elektronischen Darstellung 8 widerspiegeln, wobei die Bewegung 12 des Analyseabschnitts derart gewählt sein muss, dass stets der gesamte Abschnitt der elektronischen Darstellung 8 überlagert und eine Prüf-Äquivalenzdarstellung erfasst wird. Beispielsweise kann dazu ein Erfassungsbereich 13 festgelegt werden, welcher sich relativ zur kontinuierlich erfassten elektronischen Darstellung 8 bewegt, wobei in diesem Erfassungsbereich wiederum der Analyseabschnitt 3 derart bewegt 12 wird, dass stets sichergestellt ist, dass der gesamte Erfassungsbereich vom Analyseabschnitt abgedeckt und aus dem Überlagerungsbereich eine Prüf-Äquivalenzdarstellung ermittelt wurde.

[0051] Zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit des Verfahrens, insbesondere im Hinblick auf eine kontinuierliche Defektprüfung, können mehrere Analyseabschnitte über der elektronischen Darstellung des prüfenden Objekts 8 bewegt werden, wobei wiederum eine kontinuierlich periodische und/oder statistisch zufällige Bewegungslinie 12 möglich ist. Durch die Mehrzahl der Analyseabschnitte wird es Bereiche in der elektronischen Darstellung geben, die von mehreren Analyseabschnitten überdeckt wurden und für die daher auch mehrere Prüf-Äquivalenzdarstellung ermittelt wurden. Dies hat insbesondere den Vorteil, dass dadurch die Zuverlässigkeit der Defekterkennung bedeutend erhöht wird, da somit eine Fehleraggregation möglich wird und ein Defekt im Wesentlichen nur dann als solcher erkannt wird, wenn mehrere Prüf-Äquivalenzdarstellungen einen Fehleranteil liefern. Durch diese Fehleraggregation wird vermieden, dass ggf. vorhandene zufällige Störungen in der elektronischen Darstellung zu einer Defektanzeige führen. Nur wenn ein Defekt in mehreren Überlagerungsbereichen und damit in mehreren Prüf-Äquivalenzdarstellungen als solcher erfasst wird, wird dieser einen ausreichenden Beitrag in der Abweichungsinformationseinheit 11 bringen.

[0052] Beim Vergleich 10 der Äquivalenzdarstellungen 6, 9 wird eine Abweichung zwischen den beiden Darstellungen ermittelt und in einer Abweichungsinformationseinheit 11 abgelegt. Das erfindungsgemäße Verfahren bietet nun den besonderen Vorteil, dass neben der Position des erkannten Defekts zusätzlich auch eine Aussage über den Grad der Abweichung an der jeweiligen Position getroffen werden kann. Im Gegensatz zu bekannten Verfahren ist es daher möglich, spezifisch auf erkannte Defekte zu reagieren, wodurch eine deutlich erweiterte Entscheidungsmöglichkeit für die weitere Behandlung des zu prüfenden Objekts möglich ist. Beispielsweise kann von einer nachfolgenden Auswertevorrichtung, unter Zugrundelegung von Bewertungskriterien festgelegt werden, ab welchem Abweichungsgrad eine weitere Verwendung des zu prüfenden Objekts nicht mehr möglich ist und das Objekt als fehlerhaft zu kennzeichnen ist. Objekte mit einem geringeren Abweichungsgrad könnten somit weiterhin im Produktionsablauf bleiben, würden jedoch als qualitätsgemindert gekennzeichnet werden.

[0053] Aufgrund der Struktur der elektronischen Darstellung 8 und der Mehrzahl der ermittelten Abweichungsinformationseinheiten je Informationseinheit, ist die Abweichungsinformationseinheit 11 bevorzugt als mehrdimensionales Komponentenfeld, insbesondere als Vektorfeld ausgebildet. Somit kann für jede Informationseinheit in der elektronischen Darstellung und damit für jeden Teilabschnitt eine Mehrzahl von Abweichungen von der Referenz-Äquivalenzdarstellung angegeben werden, die nach einer erfindungsgemäßen Weiterbildung aggregiert werden. Insbesondere lässt sich die Abweichungsinformationseinheit 11 sehr einfach und grafisch anschaulich darstellen, bspw. in einer dreidimensionalen Darstellung der Fehlerverteilungsfunktion.

[0054] Fig. 2 zeigt eine grafische Darstellung eines erkannten Defekts in einem Gewebe. Fig. 2a zeigt ein optisches Abbild 8 der Oberflächenstruktur mit einem Defekt der zwar mit freiem Auge erkennbar ist, allerdings lässt sich nur schwer eine Aussage darüber treffen, welchen Abweichungsgrad der Defekt gegenüber der defektfreien Oberfläche aufweist. In Fig. 2b ist die Abweichungsinformationseinheit 11 als Ergebnis des erfindungsgemäßen Verfahrens dargestellt, wobei der Grad der Abweichung durch unterschiedliche Helligkeiten dargestellt ist. Für dieses spezifische zu prüfende Muster wurde in der Trainingsphase für die One-Class-Support-Vector-Machine ein Analysefenster mit einer Größe von 12 Bildpunkten und für den Gaußschen Kern der Stützvektormaschine die Parameter $\sigma = 0,059$ und $\nu = 0,00005$ ermittelt. Der Fehler in Fig. 2a entsteht bspw. dadurch, dass beim Webvorgang ein Faden ausgelassen wurde. Fig. 2b zeigt nun einen schwerwiegenden Einzelfehler der zwar örtlich eng begrenzt ist, allerdings eine große Abweichung gegenüber der defektfreien Umgebung aufweist. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren wurden in der elektronischen Darstellung nach Fig. 2b weitere Abweichungen erkannt, aufgrund der sehr geringen Abweichung von der Referenz-Äquivalenzdarstellung und der durchgeführten Fehleraggregation treten diese erkannten Abweichungen kaum in Erscheinung.

[0055] In Fig. 3 ist das Ergebnis des erfindungsgemäßen Verfahrens für die Oberflächenstruktur nach Fig. 2a in einer dreidimensionalen Darstellung angegeben. Die Horizontale (XY-Ebene) entspricht dabei der elektronischen Darstellung des zu prüfenden Objekts und damit der Objektobjektfläche, in Z-Richtung ist die Abweichungsinformationseinheit als Ergebnis des erfindungsgemäßen Verfahrens dargestellt.

[0056] Fig. 4 zeigt ein Diagramm der Entropie der elektronischen Darstellung in Abhängigkeit von den Abmessungen des Analyseabschnitts. Der maximale Informationsgehalt, also die maximale Entropie wird dann erreicht, wenn der Analyseabschnitt gleich groß der elektronischen Darstellung gewählt wird. Ein großer Analyseabschnitt ist jedoch für das erfindungsgemäße Verfahren von Nachteil, da zur Bildung der Äquivalenzdarstellung, sowohl in der Trainingsphase als auch in der Prüfphase, eine sehr große Anzahl von Informationseinheiten in der elektronischen Darstellung berücksichtigt werden müssen, was eine äußerst leistungsstarke Datenverarbeitungseinrichtung erforderlich machen würde. Eine Möglichkeit zur Einschränkung der zu berücksichtigten Informationseinheiten liegt darin, den Analyseabschnitt zu beschränken, insbesondere die Größe derart zu reduzieren, dass nur ein wesentlicher Abschnitt erfasst wird. Die Entropie ist ein Maß für den mittleren Informationsgehalt einer Informationseinheit, hier eines Bildpunktes der elektronischen Darstellung, und besagt vereinfacht, welchen Anteil eine einzelne Informationseinheit zum Informationsgehalt der gesamten elektronischen Darstellung beiträgt. Durch Vergrößern des Analyseabschnitts, insbesondere von einer einzelnen Einheit als kleinstmöglicher Startwert, bis hin zur gesamten elektronischen Darstellung, nimmt die Entropie stetig zu, wobei der Anstieg bei größer werdendem Analyseabschnitt abflacht. Durch Festlegen eines Grenzwerts von bspw. 90 % der maximalen Entropie wird ein Analyseabschnitt gewählt, der vereinfacht ausgedrückt groß genug ist, um 90 % der gesamten Informationsmenge in der elektronischen Darstellung zu erfassen. Das erfindungsgemäße Verfahren wird bevorzugt zum Prüfen von Gewebepartien verwendet, wobei bei der Ermittlung der dargestellten Kurve bei 100 Analyseabschnitten die Abmessungen im Bereich zwischen 1 und 50 Bildpunkten zufällig gewählt wurden und daraus die Entropie ermittelt wurde. Die gewünschte Abmessung 14 des Analyseabschnitts erhält man nun durch den Schnittpunkt 15 der Kurve mit dem Ordinatenwert bei 90 % des Maximalwerts. Im dargestellten Fall ist der Analyseabschnitt also 12 Informationseinheiten bzw. Bildpunkte groß.

[0057] Nachdem die Abmessungen des Analyseabschnitts ermittelt wurden, gilt es, durch Überlagerung der elektronischen Darstellung mit dem Analyseabschnitt für den Überlagerungsbereich die Referenz-Äquivalenzdarstellung zu ermitteln. Das Konzept von Support-Vector-Machines (SVM) sei hierin als hinlänglich bekannt angesehen, insbesondere ist es bekannt, zur Herbeiführung einer linearen Trennung der Vektoren der SVM einen so genannten Kernel-Trick einzuführen, um die lineare Trennung implizit in einem hochdimensionalen Raum ausführen zu können. Für das erfindungsgemäße Verfahren wird ein Gaußscher Kernel verwendet, der unter

anderem durch eine Empfindlichkeit und einen Verteilungsparameter gekennzeichnet ist. Für das erfindungsgemäße Verfahren wird nun der Gaußsche Kernel in seinen Parametern dahingehend optimiert, dass eine möglichst geringe Empfindlichkeit erreicht wird, gleichzeitig jedoch für die Erreichung der linearen Trennbarkeit eine möglichst geringe Anzahl von Support-Vectors erforderlich ist.

[0058] Ein weiteres Merkmal des erfindungsgemäßen Verfahrens liegt darin, dass die elektronische Darstellung des Objekts, insbesondere wenn diese als Helligkeitsverteilung erfasst wurde, vor der weiteren Bearbeitung bzw. Verarbeitung normalisiert wird. Da das erfindungsgemäße Verfahren bevorzugt zur Prüfung von Oberflächen von Objekten verwendet wird, wobei diese Oberflächen zumeist von einer Bilderfassungsvorrichtung in eine elektronische Darstellung übergeführt werden, kommt der Beleuchtung des Objekts bei der Erfassung der elektronischen Darstellung eine besondere Bedeutung zu. Nun kann es jedoch vorkommen, dass sich die Beleuchtungsverhältnisse in der Prüfphase von denen in der Trainingsphase unterscheiden und sich somit die Prüf-Äquivalenzdarstellung von der Referenz-Äquivalenzdarstellung prinzipiell unterscheiden wird. Die Normalisierung einer erfassten Helligkeitsverteilung bzw. der Informationseinheiten in der elektronischen Darstellung hat nun den Vorteil, dass das erfasste Wertespektrum der Helligkeitsverteilung immer auf einen bekannten und festgelegten Wertebereich umgewandelt wird, bspw. auf einen Wertebereich von 0 bis 1. Da bei Erfassung einer Oberflächenstruktur unter zwei unterschiedlichen Beleuchtungssituationen die jeweiligen Extremwerte, also der dunkelste und der hellste Bildpunkt, unterschiedlich sein werden, die Verteilung der Helligkeitswerte zwischen den beiden extremen jedoch gleich bleiben wird, wird durch die Normalisierung eine Angleichung der elektronischen Darstellung erreicht. Man spricht hier auch von einer Bereichspreizung bzw. einer Bereichsstauchung.

[0059] Fig. 5a zeigt einen Ausschnitt aus der elektronischen Darstellung 8 eines zu prüfenden Objekts. Insbesondere handelt es sich dabei um Bildpunkte eines von einer Bilderfassungsvorrichtung erfassten Abbilds. In der Prüfphase wird dabei für jeden Bildpunkt der elektronischen Darstellung 8 ein Überlagerungsbereich gebildet, für den eine Prüfäquivalenzdarstellung ermittelt wird. Dabei können ein oder mehrere Analyseabschnitte 3 über das elektronische Abbild 8 bewegt werden, wobei für jeden Überlagerungsbereich die ermittelte Prüf-Äquivalenzdarstellung mit der Referenz-Äquivalenzdarstellung verglichen wird und bei Erkennen einer Abweichung der Überlagerungsbereich als Defekt beinhaltend markiert wird.

[0060] Im Detail sehen die Verfahrensschritte nun folgendermaßen aus, wobei die Beschreibung stark vereinfacht ausgeführt ist. Für einen ersten zu prüfenden Bildpunkt 28 mit den Koordinaten X_1 und Y_1 wird der Überlagerungsbereich mit der elektronischen Darstellung 8 dadurch gebildet, dass der Bildpunkt 18 als Mittelpunkt des Analyseabschnitts 3 gewählt wird, wodurch der erste Überlagerungsbereich 19 entsteht. Für diesen Überlagerungsbereich 19 wird die Prüf-Äquivalenzdarstellung ermittelt, wobei ein Vergleich mit der Referenz-Äquivalenzdarstellung keine Abweichung ergeben wird, da sich im betroffenen Abschnitt 19 keine Defektstelle befindet.

[0061] Für einen zweiten zu prüfenden Bildpunkt 20 wird in gleicher Weise vorgegangen, wodurch der zweite Überlagerungsbereich 21 gebildet wird. Da sich nun in diesem Überlagerungsbereich 21 ein Defekt 22 befindet, wird es beim Vergleich mit der Referenzäquivalenzdarstellung zu einer Abweichung kommen, also die Abweichungsinformationseinheit einen Beitrag erhält. Durch das erfindungsgemäße Verfahren wurde nun festgestellt, dass im Überlagerungsbereich 21 ein Defekt vorhanden ist, die genaue Position innerhalb des Überlagerungsbereichs ist zu diesem Zeitpunkt jedoch nicht bekannt. Zur Vorbereitung der so genannten Fehleraggregation wird nun jedem Bildpunkt im Überlagerungsbereich 21 der ermittelte Fehlergrad zugewiesen, dies kann beispielsweise ein Skalar als Maß für den Grad der Abweichung sein.

[0062] Diese Schritte werden auch für den dritten zu überprüfenden Bildpunkt 23 durchgeführt, insbesondere wird ebenfalls ein dritter Überlagerungsbereich 24 gebildet. Obwohl der Defekt 22 vom dritten Überlagerungsbereich 24 nur mehr am Rand erfasst wird, wird der ermittelte Abweichungswert wiederum allen Bildpunkten des Überlagerungsbereichs 24 zugewiesen, allerdings

wird der Absolutwert des Abweichungswerts kleiner sein, da nur ein kleiner Abschnitt des Defekts erfasst wurde. Diese Schritte werden für alle Bildpunkte der elektronischen Darstellung durchgeführt, wobei in einer Weiterbildung die Bewegung der Analyseabschnitte 3 derart optimiert werden kann, dass jeder Bildpunkt zumindest von einem Analyseabschnitt erfasst wurde, insbesondere dass jeder Bildpunkt zumindest in einem Überlagerungsbereich zur Berücksichtigung der Prüf-Äquivalenzdarstellung erfasst wurde.

[0063] Nach Durchführung der Verfahrensschritte in der Prüfphase erhält man nun eine Vielzahl von Abweichungsinformationseinheiten. In Fig. 5b ist eine stark vereinfachte Darstellung dieser Situation angegeben. Um den Defekt 22 gibt es eine Mehrzahl von Überlagerungsbereichen 25, für die nach dem erfindungsgemäßen Verfahren eine Abweichung von der Referenzäquivalenzdarstellung ermittelt wurde. Zur Vereinfachung der Darstellung werden Überlagerungsbereiche, die den Defekt vollständig umschließen, mit einer 2 gekennzeichnet, Überlagerungsbereiche ohne einen Defekt werden mit einer 0 gekennzeichnet und Überlagerungsbereiche die den Defekt nur teilweise erfassen werden mit einer 1 gekennzeichnet. Bei der Fehleraggregation werden nun für jeden Bildpunkt die Abweichungswerte zusammengefasst, im dargestellten Fall werden sie addiert. In der Darstellung nach Fig. 5 b wird es nun im Bereich des Defekts 22 zu einem vermehrten Auftreten von defektbehafteten Überlagerungsbereichen, gekennzeichnet durch eine 2 oder eine 1, kommen. Abseits des Defekts werden defektfreie Überlagerungsbereiche, gekennzeichnet durch eine 0, überwiegen, sodass hier der Aggregationswert gering bleiben wird.

[0064] In Fig. 5c ist dies für das Beispiel aus Fig. 5b durchgeführt, wobei im Bereich des Defekts der Aggregationswert zunimmt. Für eine große Anzahl derartiger Überlagerungsbereiche und die daher große Anzahl aggregierter Abweichungswerte, lässt sich der Bereich des Defekts sehr genau eingrenzen, da hier der Aggregationswert sehr groß sein wird, insbesondere umso höher sein wird, je stärker die Abweichung im betroffenen Bereich von der Referenz-Äquivalenzdarstellung ist. Zur Vereinfachung der Darstellung bzw. zur weiteren Verarbeitung kann der Absolutwert der Aggregation normiert werden, wie dies beispielsweise in Fig. 3 dargestellt ist.

[0065] Die Ausführungsbeispiele zeigen mögliche Ausführungsvarianten des Verfahren zum automatischen Erkennen eines Defekts in einer elektronischen Darstellung eines Objekts, wobei an dieser Stelle bemerkt sei, dass die Erfindung nicht auf die speziell dargestellten Ausführungsvarianten derselben eingeschränkt ist, sondern vielmehr auch diverse Kombinationen der einzelnen Ausführungsvarianten untereinander möglich sind und diese Variationsmöglichkeit aufgrund der Lehre zum technischen Handeln durch gegenständliche Erfindung im Können des auf diesem technischen Gebiet tätigen Fachmannes liegt.

[0066] Der Ordnung halber sei abschließend darauf hingewiesen, dass zum besseren Verständnis des Aufbaus des Verfahren zum automatischen Erkennen eines Defekts in einer elektronischen Darstellung eines Objekts, diese bzw. deren Bestandteile teilweise unmaßstäblich und/oder vergrößert und/oder verkleinert dargestellt wurden.

[0067] Die den eigenständigen erfindnerischen Lösungen zugrundeliegende Aufgabe kann der Beschreibung entnommen werden.

[0068] Vor allem können die einzelnen in den Fig. 1 bis 5 gezeigten Ausführungen den Gegenstand von eigenständigen, erfindungsgemäßen Lösungen bilden. Die diesbezüglichen, erfindungsgemäßen Aufgaben und Lösungen sind den Detailbeschreibungen dieser Figuren zu entnehmen.

BEZUGSZEICHENAUFSTELLUNG

- 1 Trainingsphase
- 2 Defektfreie elektronische Darstellung
- 3 Analyseabschnitt
- 4 Startabschnitt
- 5 Iterative Vergrößerung des Abschnitts

- 6 Referenz-Äquivalenzdarstellung
- 7 Prüfphase
- 8 Elektronische Darstellung eines zu prüfendes Objekt
- 9 Prüf-Äquivalenzdarstellung
- 10 Vergleich der Äquivalenzdarstellungen

- 11 Abweichungsinformationseinheit
- 12 Überlagerungsbewegung
- 13 Erfassungsbereich
- 14 Abmessung
- 15 Schnittpunkt

- 16 Breite des Analyseabschnitts
- 17 Höhe des Analyseabschnitts
- 18 Erster zu prüfende Bildpunkt
- 19 Erster Überlagerungsbereich
- 20 Zweiter zu prüfende Bildpunkt

- 21 Zweiter Überlagerungsbereich
- 22 Defekt
- 23 Dritter zu prüfende Bildpunkt
- 24 Dritter Überlagerungsbereich

Patentansprüche

1. Verfahren zum automatischen Erkennen eines Defekts in einer elektronischen Darstellung (8) eines Objekts, wobei die elektronische Darstellung (8) von einer optischen Bilderfassungsvorrichtung erfasst wird wobei in einer Trainingsphase (1) die Schritte durchgeführt werden:
 - Ermitteln der Abmessungen (14, 16, 17) eines Analyseabschnitts (3) aus einer defektfreien elektronischen Darstellung (2) eines defektfreien Objekts;
 - Überlagern der defektfreien elektronischen Darstellung (2) mit dem Analyseabschnitt (3) und Ermitteln einer Referenz-Äquivalenzdarstellung (6) des Überlagerungsbereichs; und wobei nachfolgend in einer Prüfphase (7) die Schritte durchgeführt werden:
 - Überlagern der elektronischen Darstellung (8) eines zu prüfenden Objekts mit dem Analyseabschnitt (3);
 - Ermitteln einer Prüf-Äquivalenzdarstellung (9) des Überlagerungsbereichs;
 - Vergleich der Prüf-Äquivalenzdarstellung (9) mit der Referenz-Äquivalenzdarstellung (6) und Ermitteln einer Abweichung (11) daraus.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die elektronische Darstellung (8) des Objekts kontinuierlich erfasst wird.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die elektronische Darstellung (8) des Objekts als Helligkeitsverteilung erfasst wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erfasste Helligkeitsverteilung normalisiert wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Darstellung (2, 8) der Objekte als mehrdimensionale Werteverteilung erfasst wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Ermittlung der Abmessungen (14, 16, 17) des Analyseabschnitts die Entropie als Maß für den mittleren Informationsgehalt einer Informationseinheit des Abschnitts als Bewertungskennzahl ermittelt wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Ermittlung der Abmessungen des Analyseabschnitts (14, 16, 17), die aus der Helligkeitsverteilung abgeleitete Energiedichte bzw. ein Energieäquivalent des Abschnitts als Bewertungskennzahl ermittelt wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Abmessungen des Analyseabschnitts (14, 16, 17) bis zum Erreichen eines Schwellwerts der Bewertungskennzahl vergrößert werden.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Abmessungen des Analyseabschnitts (14, 16, 17) bis zum Erreichen eines Schwellwerts der Steigung der Bewertungskennzahl vergrößert werden.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Abmessungen des Analyseabschnitts (14, 16, 17) beginnend bei einem Startwert iterativ vergrößert werden.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass in der Prüfphase (7) der Analyseabschnitt (3) zur Überlagerung über der elektronischen Darstellung (8) bewegt wird.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass in der Prüfphase (7) zumindest zwei Analyseabschnitte (3) mit der elektronischen Darstellung (8) überlagert werden.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass mehrere Referenz-Äquivalenzdarstellungen (6) aus einem oder mehreren Abschnitten einer defektfreien Darstellung (2) des defektfreien Objekts erzeugt werden.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei der Ermittlung der Referenz-Äquivalenzdarstellung (6) und/oder der Prüf-Äquivalenzdarstellung (9), ein Parameterfeld von Kenngrößen erzeugt wird.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass für die Abweichung (11) ein Abweichungsvektor ermittelt wird.
16. Verfahren nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Mehrzahl von Abweichungsvektoren aggregiert wird.
17. Verfahren nach Anspruch 15 oder 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Abweichungsvektor mit einem Grenzwertfeld verglichen wird, wobei eine Über- oder Unterschreitung zumindest eines Grenzwerts einen Defekt im überprüften Analyseabschnitt aufzeigt.
18. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei einem erkannten Defekt, eine Positionsinformation des erfassten Defekts ermittelt wird.
19. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Referenz- und Prüf-Äquivalenzdarstellung (6, 9) durch eine One-Class-Support-Vector-Machine ermittelt wird.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass für die Abweichung eine Kennzahl bestimmt wird, die jeder Informationseinheit des Überlagerungsbereichs zugewiesen wird.
21. Verfahren nach Anspruch 20, **dadurch gekennzeichnet**, dass für jede Informationseinheit alle Kennzahlen aller Überlagerungsbereiche aggregiert werden.

Hierzu 6 Blatt Zeichnungen

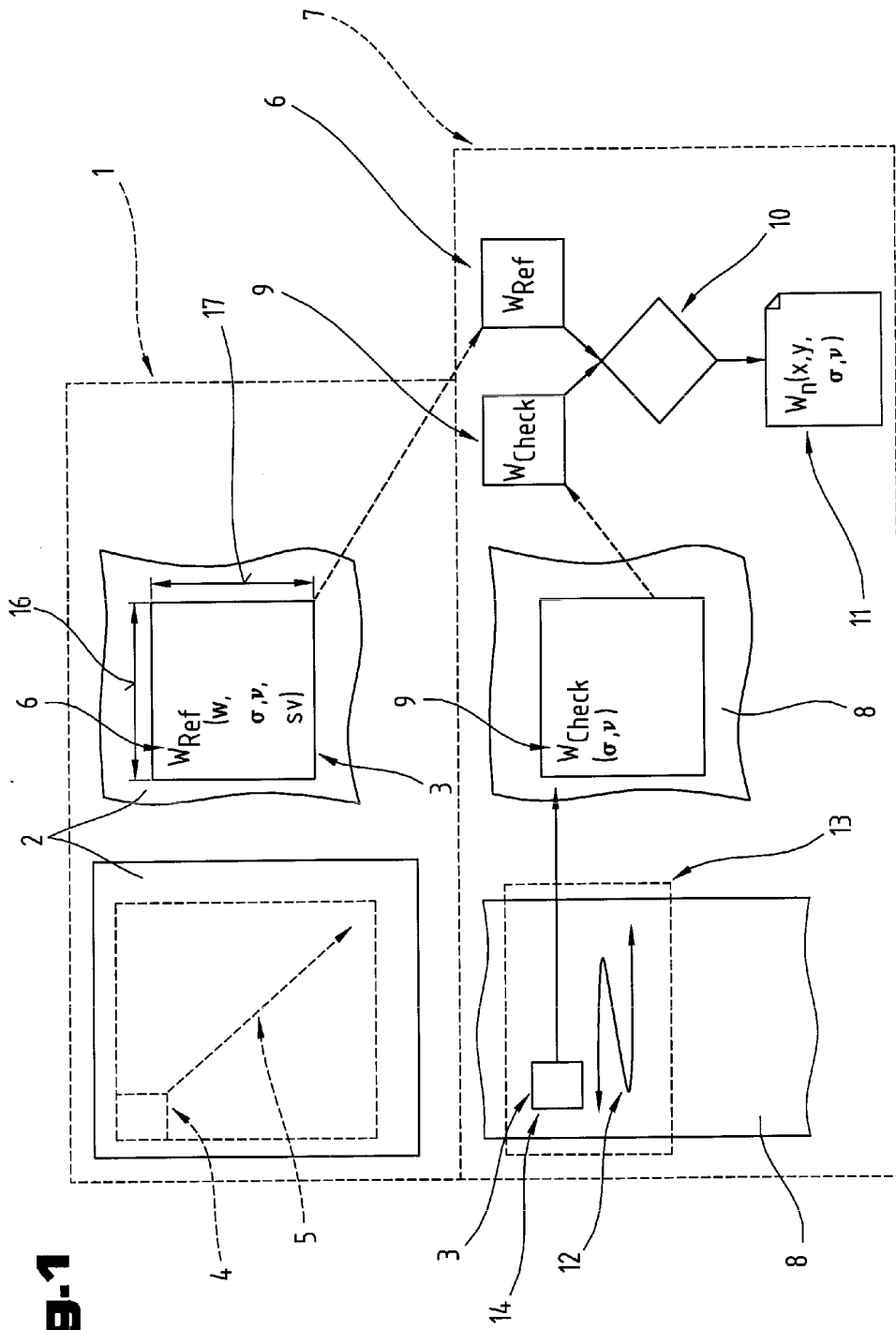


Fig. 1

Fig. 2a

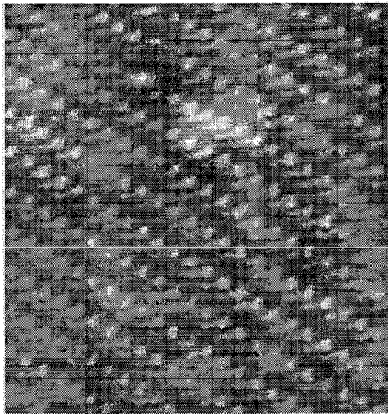


Fig. 2b

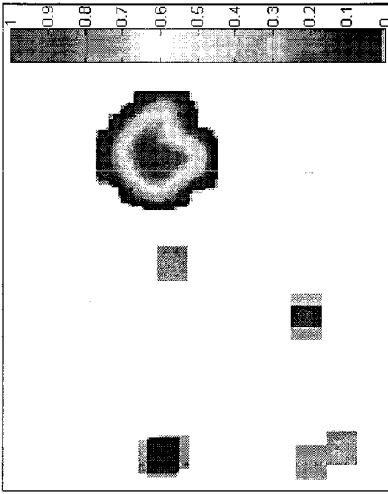
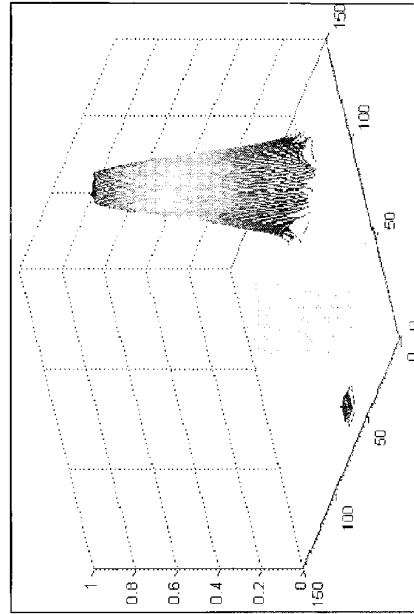


Fig. 3



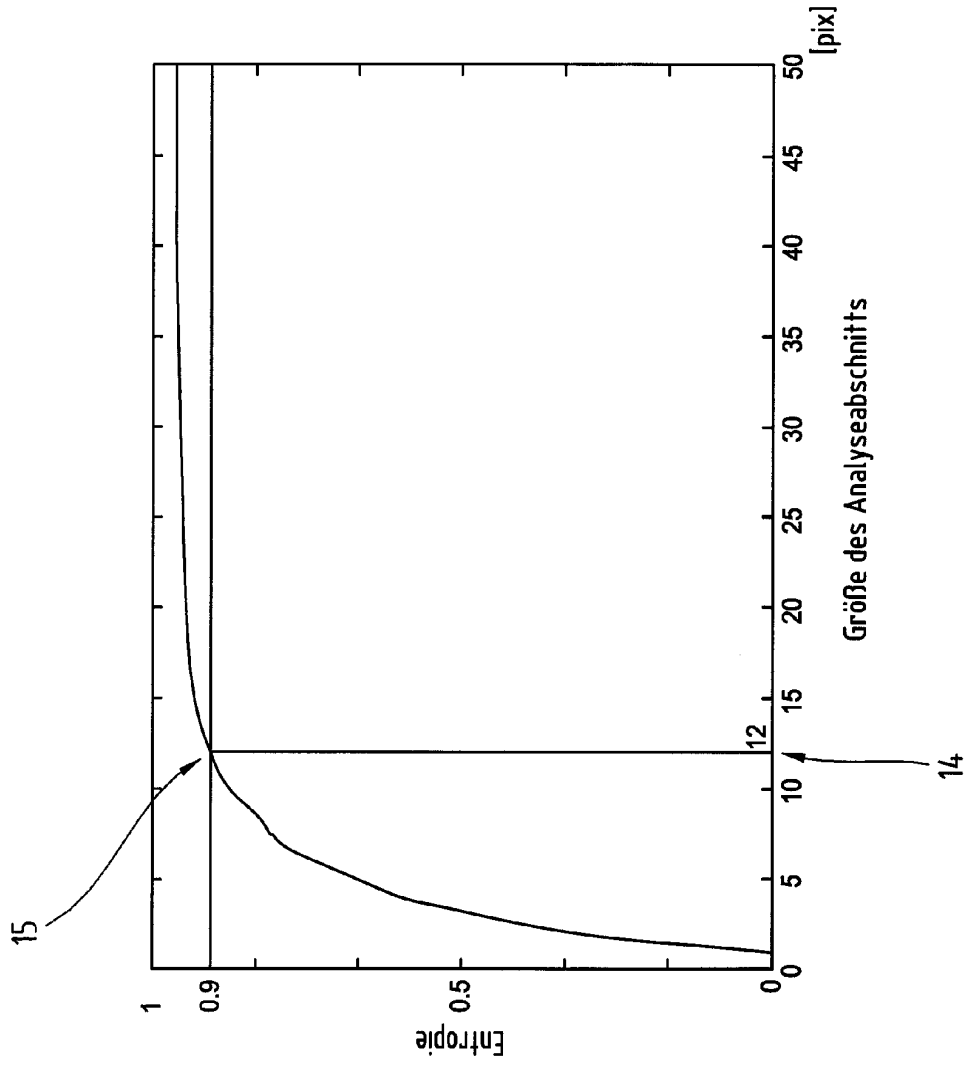


Fig.4

Fig.5b

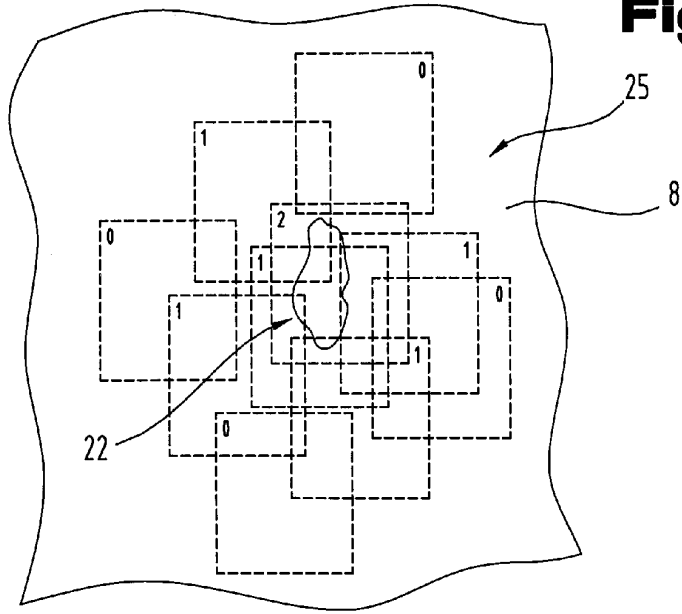


Fig. 6c

