



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 10 2007 063 473 A1 2009.06.25

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2007 063 473.2

(22) Anmeldetag: 20.12.2007

(43) Offenlegungstag: 25.06.2009

(51) Int Cl.⁸: G01N 21/88 (2006.01)

(71) Anmelder:
Volkswagen AG, 38440 Wolfsburg, DE

(74) Vertreter:
Anwaltskanzlei Gulde Hengelhaupt Ziebig &
Schneider, 10179 Berlin

(72) Erfinder:
Sonnenberg, Karl-Heinz, Dr., 38442 Wolfsburg,
DE; Spitzer, Markus, 38444 Wolfsburg, DE;
Schmal, Martin, 59597 Erwitte, DE; Müller,
Thomas, 38446 Wolfsburg, DE

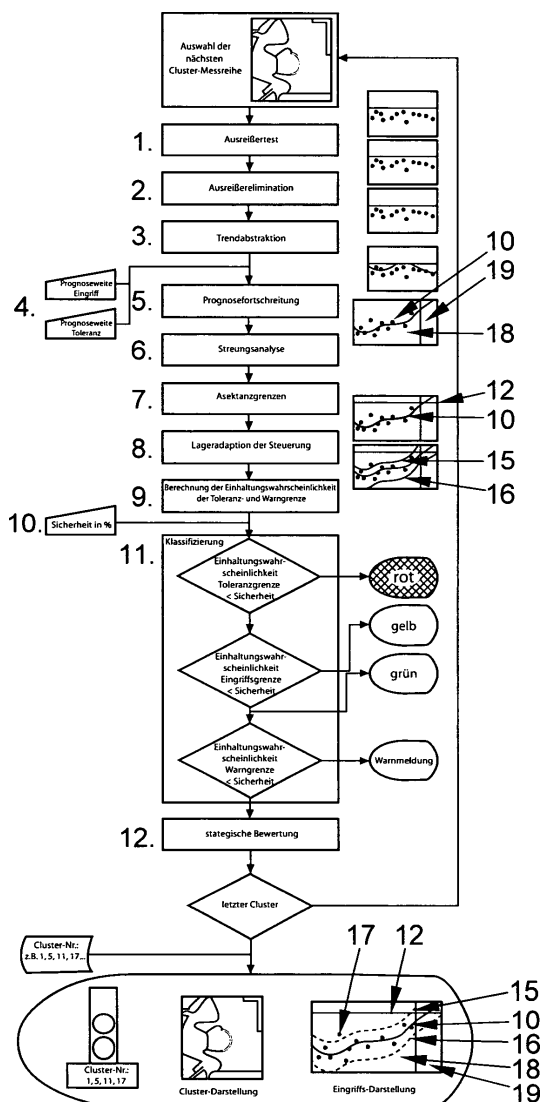
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: Verfahren zur Qualitätskontrolle einer Vielzahl von Oberflächen

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Qualitätskontrolle von Oberflächen, insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur Qualitätskontrolle von farblich bestimmten Oberflächen von Karosserien und deren Anbau- und Einbauteilen für Kraftfahrzeuge.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, eine verbesserte Simulation der Wahrnehmung des menschlichen Auges für die Bewertung einer Oberfläche, insbesondere der Lackschicht eines Karosserieteils bereitzustellen. Dabei sollen insbesondere größere Flächen ($> 500 \text{ cm}^2$) mit geringem Aufwand, jedoch schnell und zuverlässig bewertet werden können.

Dazu wird ein zweidimensionales Bild der zu bewertenden Oberfläche erzeugt, wobei jedem Bildpunkt neben seinen geometrischen Koordinaten weiterhin Farb-Koordinaten zugeordnet werden, eine Vielzahl zweidimensionaler, zusammenhängender Unterbereiche gebildet wird, die innerhalb des zweidimensionalen Bildes liegen, aus den Bildpunkten jedes Unterbereichs jeweils ein gewichteter Helligkeitswert und mindestens ein gewichteter Farbwert generiert, die Vielzahl gewichteter Helligkeitswerte jeweils mit einem Referenz-Helligkeitswert eines Farbkontrollmodells und die Vielzahl gewichteter Farbwerte jeweils mit einem Referenz-Farbwert eines Farbkontrollmodells verglichen und daraus für jeden Unterbereich eine Helligkeitsabweichung (ΔY) und mindestens eine Farbabweichung (ΔI , ΔQ) ermittelt, aus den ermittelten Helligkeitsabweichungen (ΔY) und ...



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Qualitätskontrolle einer Vielzahl von Oberflächen, insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur Qualitätskontrolle von farblich bestimmten Oberflächen von Karosserien und deren Anbau- und Einbauteilen für Kraftfahrzeuge.

[0002] Verfahren zur Qualitätskontrolle von Oberflächen sind beispielsweise aus DE 101 03 555 A1 und WO 2004/010124 A1 bekannt.

[0003] DE 101 03 555 A1 beschreibt ein Verfahren zur Beurteilung einer Farbschicht, insbesondere des Oberflächeneindrucks der Farbschicht auf einen Betrachter, das mit geringem apparativen und programmtechnischen Aufwand eine schnelle Beurteilung der Farbschicht ermöglicht und eventuelle Farbabweichungen oder sonstige Fehler erkennt. Bei diesem Verfahren wird aus der mittels eines optischen Empfängers aufgenommenen fünfdimensionalen (x, y, Y, I, Q) Information eine zweidimensionale Information extrahiert, die ein Maß für den Farb- und/oder Helligkeitsverlauf des empfangenen Lichts in einem vorbestimmten geometrischen Bereich der Farbschicht darstellt.

[0004] WO 2004/010124 A1 offenbart ein Simulationsverfahren, bei dem die Wahrnehmung des menschlichen Auges nachvollzogen wird. Ein Freiheitsgrad des betrachtenden menschlichen Auges ist der Betrachtungswinkel. Die winkelabhängigen Beiträge der Farbwahrnehmung können auch durch beliebige Einstellung des Betrachtungswinkels erfasst werden. Auf Grund dieser winkelabhängigen Beiträge kann eine materialspezifische Kennlinie erstellt werden, die beispielsweise bei Lackierprozessen in der Automobilindustrie zur Bewertung der Risiken einzelner Arbeitsschritte genutzt werden kann.

[0005] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, eine verbesserte Simulation der Wahrnehmung des menschlichen Auges für die Bewertung einer Vielzahl von Oberflächen, insbesondere von Lackschichten von Karosserieteilen einer Serienproduktion bereitzustellen. Dabei sollen insbesondere größere Flächen (> 500 cm²) mit geringem Aufwand, jedoch schnell und zuverlässig bewertet werden können. Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, die Notwendigkeit eines Eingriffs in den Produktionsprozess der zu bewertenden Oberflächen (z. B. den Lackierungsprozess) automatisch zu erkennen, um so auf Tendenzen (Farbtrends) während des Produktionsprozesses rechtzeitig reagieren zu können. Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, technische und/oder statistische Ausreißer bei der Messwerterfassung automatisch zu erkennen und zu eliminieren bzw. zu interpolieren und lediglich die verbleibenden Messwerte einer weiteren Bewertung zuzuführen.

[0006] Diese Aufgaben werden erfindungsgemäß durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 gelöst. Bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen enthalten.

[0007] Das erfindungsgemäße Verfahren weist folgende Verfahrensschritte auf:

- sequentielles Lackieren einer Vielzahl von Oberflächen,
- jeweils nachfolgendes Einstrahlen von Licht auf jede der lackierten Oberflächen,
- Abbilden mindestens eines Teils des von der jeweiligen Oberfläche reflektierten und/oder gestreuten Lichts auf einen zweidimensionalen, orts aufgelösten Empfänger, und
- Erzeugen eines zweidimensionalen Bildes (mit einer Vielzahl von Bildpunkten) für jede lackierte Oberfläche, wobei jedem Bildpunkt neben seinen geometrischen Koordinaten weiterhin Farb-Koordinaten und Helligkeits-Koordinaten zugeordnet werden,
- für jede lackierte Oberfläche eine Vielzahl zweidimensionaler Unterbereiche gebildet wird, die innerhalb des zweidimensionalen Bildes der jeweils zu untersuchenden Oberfläche liegen,
- aus den Bildpunkten jedes Unterbereichs wird jeweils ein gewichteter Helligkeitswert, mindestens ein gewichteter Farbwert und/oder ein aus Helligkeitswert und mindestens einem Farbwert generierter gewichteter Gesamtfarbwert erzeugt,
- die gewichteten Helligkeitswerte und/oder die gewichteten Farbwerte und/oder die gewichteten Gesamtfarbwerte werden jeweils mit einem Referenzwert verglichen und daraus wird eine Helligkeitsabweichung und/oder mindestens eine Farbabweichung und/oder ein Gesamtfarbabstand ermittelt,
- die ermittelte Helligkeitsabweichung und/oder die mindestens eine Farbabweichung und/oder der Gesamtfarbabstand mindestens eines Unterbereichs wird chronologisch für die Vielzahl lackierter Oberflächen in einer Datenreihe erfasst,
- aus den mindestens zwei letzten Elementen der Datenreihe wird ein Trend für die Helligkeitsabweichung und/oder die Farbabweichung und/oder den Gesamtfarbabstand ermittelt,
- die Helligkeitsabweichung und/oder die Farbabweichung und/oder der Gesamtfarbabstand wird für eine

vorgegebene Anzahl von Oberflächen vorausberechnet,
 – und die vorausberechnete Helligkeitsabweichung
 und/oder die vorausberechnete Farbabweichung und/oder der vorausberechnete Gesamtfarbabstand wird
 mit einem ersten Grenzwert verglichen.

[0008] Aus dem Resultat des Vergleichs können Modifikationen für den Herstellungsprozess der lackierten Oberflächen abgeleitet werden. Zur Ermittlung des Trends werden vorzugsweise zwischen 2 und 20 der letzten Elementen der Datenreihe verwendet. Vorzugsweise wird aus den ermittelten Helligkeitsabweichungen und den ermittelten Farbabweichungen für jeden Unterbereich ein Gesamtfarbabstand bestimmt und für diesen Gesamtfarbabstand jeweils eine Datenreihe für die Vielzahl von Karosserien erfasst.

[0009] Die Idee der Erfindung besteht darin, die Qualität einer Vielzahl von gleichartigen und mit einem gleichen Farbton lackierten Karosserieteilen auf ihre Farbtreue bzw. ihren Abstand von einem Referenzmodell zu untersuchen. Dabei sollen die lackierten Karosserieteile in-situ und sukzessive während des Herstellungsprozesses untersucht und bewertet werden, um auf ggf. auftretende Tendenzen (Farbtrends) während des Produktionsprozesses schnell reagieren zu können. Solche Tendenzen können beispielsweise durch das sukzessive Verkleben einer Düse, aber auch durch sonstige ungewollte Einflüsse auf die zur Produktion verwendeten Vorrichtungen auftreten.

[0010] Erfindungsgemäß kann der optische Eindruck einer größeren Fläche von vorzugsweise mehr als 100 cm² (bevorzugter mehr als 500 cm² und noch bevorzugter mehr als 1000 cm²) durch wenige gemittelte (beziehungsweise gewichtete) Farb- beziehungsweise Helligkeitswerte repräsentiert und einfach bewertet werden. Das bedeutet, dass vorzugsweise eine lackierte Oberfläche von mehr als 100 cm² (bevorzugter mehr als 500 cm² und noch bevorzugter mehr als 1000 cm²) auf den zweidimensionalen, orts aufgelösten Empfänger abgebildet wird.

[0011] Um auf entsprechende Tendenzen der Farbabweichung vom Referenzmodell besonders schnell reagieren zu können, ist es vorgesehen, die zeitliche bzw. chronologische Entwicklung der Farbabweichung (Helligkeitsabweichung, Farbabweichung bzw. Gesamtfarbabstand) zu bestimmen und die Farbabweichung für eine vorgegebene Anzahl von Karosserien anhand der zeitlichen Entwicklung in die Zukunft zu prognostizieren. Dabei wird erfindungsgemäß berücksichtigt, dass die Vermessung (durch Einstrahlung von Licht und Abbildung auf einen Empfänger) und Bewertung zur eigentlichen Produktion (Lackierung) stets zeitversetzt erfolgt. Daher wird der Farbabweichung vorzugsweise für mindestens solch eine Anzahl von Karosserien prognostiziert, die innerhalb der Serienproduktion in der Zeit zwischen Lackierung und Bewertung wieder lackiert worden sind. Dann entspricht die prognostizierte Farbabweichung nämlich mindestens der in-situ zu erwartenden Farbabweichung der in diesem Augenblick lackierten Karosserie. Die vorgegebene Anzahl von zu prognostizierenden Karosserien kann durch eine Bedienperson festgelegt werden. Es ist alternativ jedoch auch möglich, diese vorgegebene Anzahl vorab im System zu implementieren und somit als Systemparameter vorzusehen.

[0012] Um einen Eingriff in die Produktion rechtzeitig vornehmen zu können, sollen die Helligkeitsabweichungen, Farbabweichungen bzw. Gesamtfarbabstände nicht nur mit einem absoluten Kriterium verglichen werden, sondern es ist erfindungsgemäß vorgesehen, jedem Wert (Helligkeitsabweichung, Farbabweichung bzw. Gesamtfarbabstand) der Datenreihe (d. h. für eine Vielzahl von zu vermessenden Karosserieteilen) für einen oder mehrere Cluster einen Trendwert zuzuordnen, der unter Berücksichtigung mindestens eines (bevorzugt einer Vielzahl) ggf. vorhandenen vorhergehenden und/oder nachfolgenden Elements der Datenreihe gebildet wird. Für den Wert der ersten vermessenen Karosserie kann der Trendwert lediglich aus dem ermittelten Wert (Helligkeitsabweichung, Farbabweichung bzw. Gesamtfarbabstand) und ggf. nachfolgenden Werten ermittelt werden. Für später zu vermessende Karosserien kann dieser Trendwert ein (gewichteter) Mittelwert einer Vielzahl vorhergehender und/oder nachfolgender Elemente der Datenreihe sein. Aus der ständig fortschreitenden Datenreihe für Helligkeitsabweichung, Farbabweichung bzw. Gesamtfarbabstand wird somit mindestens einem Cluster (vorzugsweise jedem Cluster) eine weitere Datenreihe zugeordnet, aus deren Verlauf auf entsprechende Trends bzgl. Helligkeitsabweichung, Farbabweichung bzw. Gesamtfarbabstand geschlossen werden kann. Weiterhin soll die Entwicklung des Trendwerts im Zeitpunkt der Bewertung in die Zukunft, d. h. auf den tatsächlich stattfindenden Lackierprozess innerhalb der Serienproduktion prognostiziert werden (der tatsächlich erst später bewertet wird).

[0013] Um einen Eingriff in die Produktion rechtzeitig vornehmen zu können, wird die prognostizierte Datenreihe der Trendwerte (prognostizierte Farbabweichung) sowie eine zulässige Streubreite mit einem ersten Grenzwert, der sog. Toleranzgrenze verglichen. Wird diese Toleranzgrenze durch die Summe aus zulässiger

Streubreite und dem entsprechenden Trendwert erreicht bzw. überschritten, wird vermutet, dass eine (noch nicht vermessene bzw. noch nicht bewertete aber ggf. bereits lackierte) Oberfläche außerhalb der gesetzten Toleranzen liegt bzw. liegen wird, und der Produktionsprozess wird modifiziert (ggf. Unterbrechung desselben und Einleiten einer Fehleranalyse).

[0014] Die zulässige Streubreite wird derart ermittelt, dass ein vorgegebener Prozentsatz der ermittelten Differenzen (zwischen Messwert wie Helligkeitsabweichung, Farbabweichung bzw. Gesamtfarbabstand und zugeordnetem Trendwert) innerhalb der zulässigen Streubreite liegt. Der Prozentsatz kann durch einen Benutzer vorgegeben werden. Es ist alternativ jedoch auch möglich, diesen Prozentsatz (Sicherheit in %) zur Ermittlung der zulässigen Streubreite vorab im System zu implementieren und somit als Systemparameter vorzusehen.

[0015] Die Toleranzgrenze (erster Grenzwert) kann aus einem Farbkontrollmodell (beispielsweise aus einem Vielfachen (reelle Zahl) der Streuung des Farbkontrollmodells) abgeleitet werden. Ein solches Kontrollmodell kann vorab dadurch bereitgestellt werden, dass mehrere Serienkarosserien (beziehungsweise deren Teile), insbesondere 10 bis 100, vorzugsweise 35 bis 65 solcher Serienkarosserien (beziehungsweise deren Teile), deren Oberflächen subjektiv als einwandfrei eingestuft wurden, bzgl. Ihrer Helligkeits- (Y) und Farbkoordinaten (L, Q) vermessen werden und hieraus für die einzelnen Cluster ein jeweiliger Soll (Referenz-)Mittelwert gebildet wird. Dieser Mittelwert stellt dann den entsprechenden Referenzfarbwert oder den entsprechenden Referenzhelligkeitswert für das jeweilige Cluster dar. Durch diese Vorgehensweise ist es beispielsweise möglich, die Wolkigkeit eines Kraftfahrzeuges herauszumitteln. Die einzelne Karosserie wird damit in ihrer aktuellen Situation mit dem definierten Farbkontrollmodell verglichen.

[0016] Eine lackierte Oberfläche im Sinne der vorliegenden Erfindung ist eine Oberfläche, die eine oder mehrere übereinander liegende Lackschichten aufweisen kann. Die farbbestimmende Schicht muss bei mehrschichtigen Lackierungen nicht die oberste Schicht sein, letztere kann vielmehr beispielsweise auch ein Klarlack sein. Die farbbestimmende Schicht im Sinne der vorliegenden Erfindung ist daher bei mehrschichtigen Lackierungen diejenige Lackschicht, die den vorgesehenen, endgültigen Farbton des lackierten Gegenstandes im Wesentlichen bestimmt.

[0017] Neben der Toleranzgrenze bezogen auf das Farbkontrollmodell können weitere Grenzwerte (Eingriffsgrenze, Warngrenze) anhand von erforderlichen Toleranzen festgelegt werden, die sich aus dem Produktionsprozess des Gesamtfahrzeugs ergeben oder auch Zielsetzungen des Unternehmens abbilden. Diese Grenzwerte können dann dazu herangezogen werden, entsprechende Farbtrends vor Erreichen der Toleranzgrenze zu signalisieren. Die Toleranzgrenze wird regelmäßig durch Streubreite des Farbkontrollmodells – dies ist der Stand der Technik bezogen auf das Produkt "lackierte Karosserie" – multipliziert mit einer reellen Zahl im Bereich zwischen 1.5 und 10 (vorzugsweise 2–4) gewählt; Eingriffsgrenze und Warngrenze werden ebenfalls durch Streubreite des Farbkontrollmodells multipliziert mit einer reellen Zahl (der Multiplikator für die Eingriffsgrenze ist geringer als für die Toleranzgrenze und der Multiplikator für die Warngrenze ist geringer als für die Eingriffsgrenze) gewählt. Die Multiplikatoren können durch eine Bedienperson festgelegt werden. Es ist alternativ jedoch auch möglich, diese Multiplikatoren vorab im System zu implementieren und somit als Systemparameter vorzusehen.

[0018] Vorzugsweise sind die einzelnen Unterbereiche zueinander disjunkt. Hierdurch kann die optische Wahrnehmung der zu untersuchenden Oberfläche mit einer geringen Anzahl von Unterbereichen besonders effizient repräsentiert werden. Natürlich ist es auch möglich, dass sich einzelne Cluster überlappen, jedoch führt dies zu redundanten Daten, so dass hierdurch die Anzahl der zu verarbeitenden Daten unnötig erhöht würde.

[0019] Vorzugsweise weisen die Unterbereiche eine Fläche zwischen 0,1 cm² und 100 cm² (bevorzugter 1 cm² und 25 cm² und noch bevorzugter 5 cm² und 15 cm²) auf. Als Fläche eines Unterbereichs (Cluster) im Sinne der vorliegenden Erfindung ist die tatsächliche geometrische Fläche des abgebildeten Unterbereichs auf der zu untersuchenden Oberfläche (lackiertes Karosserieteil) und nicht die Fläche des Abbilds auf dem zweidimensionalen, orts aufgelösten Empfänger zu verstehen. Die Fläche des Abbilds auf dem zweidimensionalen, orts aufgelösten Empfänger ist regelmäßig kleiner als die tatsächliche Fläche eines Unterbereichs.

[0020] Durch die erfindungsgemäße Größenwahl für die einzelnen Cluster wird einerseits die Anzahl der zu bewertenden Parameter auf ein effizientes Maß reduziert, andererseits kann der räumliche Verlauf von Farb-/Helligkeitsabweichungen für die gesamte (zu untersuchende) Oberfläche beziehungsweise nahezu die gesamte (zu untersuchende) Oberfläche dargestellt werden. Die Darstellung des räumlichen Verlaufs von Farb-/Helligkeitsabweichungen ist beispielsweise wichtig, da ein bestimmtes Maß an Farb-/Helligkeitsabwei-

chungen in Randbereichen eines Bauteils deutlich relevanter sein kann als in der Mitte, da das Bauteil im Randbereich beispielsweise zu anderen Bauteilen harmonisieren muss und daher eine ein bestimmtes Maß an Farb-/Helligkeitsabweichung von einem Betrachter empfindlicher wahrgenommen werden kann – insbesondere bei unterschiedlichen Flächennormalen von gefügten Teilen im angrenzenden Bereich.

[0021] Die Anzahl der Unterbereiche beträgt vorzugsweise zwischen 5 und 3000 (bevorzugter zwischen 15 und 500 noch bevorzugter zwischen 25 und 200). Die Lage und Größe der einzelnen Unterbereiche kann vorzugsweise von einem Benutzer vorab eingestellt werden. Dies hat den Vorteil, dass Bereiche, die für die optische Wahrnehmung durch einen Betrachter nicht relevant sind (beispielsweise Teilflächen in einer größeren Fläche) vorab entsprechend unterdrückt werden können, da die Cluster vorzugsweise nur in Bereichen lokalisiert werden, die für die optische Wahrnehmung durch einen Betrachter relevant sind. Ferner ist es möglich, für die optische Wahrnehmung als besonders relevant eingeschätzte Flächen (Unterbereiche) festzulegen und nur diese Unterbereiche (Prio-Teilflächen) zu bewerten.

[0022] Als Farb-Koordinaten werden vorzugsweise solche des RGB-Farbraums, des CIELab-Farbraums oder des DIN99-Farbraums verwendet. Es ist alternativ auch möglich, andere Farb-Koordinaten zu verwenden. Aus den Farb-Koordinaten werden ein gewichteter Helligkeitswert und mindestens ein gewichteter Farbwert bestimmt, die ein Maß für Helligkeit und Farbe des Clusters darstellen. Dadurch kann die Vielzahl der Bildpunkte auf dem orts aufgelösten Empfänger in eine Vielzahl von Cluster transformiert werden, wobei ein Cluster einen bestimmten geometrischen Ausschnitt repräsentiert. Der gewichtete Helligkeitswert ist vorzugsweise ein arithmetischer Mittelwert der Helligkeitswerte aller Bildpunkte des Clusters, und der gewichtete Farbwert ist vorzugsweise ein arithmetischer Mittelwert der Farbwerte aller Bildpunkte des Clusters. Es ist alternativ jedoch auch möglich, einen gewichteten Helligkeitswert/Farbwert zu verwenden, der vom arithmetischen Mittelwert abweicht. Essentiell ist jedoch, dass mindestens 10% (bevorzugt mindestens 50%, besonders bevorzugt mindestens 95%) der Bildpunkte des Clusters in die gewichteten Helligkeitswert/Farbwert einfließen.

[0023] Aufgrund dieser Transformation wird die Anzahl der zu bewertenden Farbwerte deutlich reduziert, ohne dass die wesentliche Informationen über den räumlichen Verlauf von Farb-/Helligkeitsabweichungen verloren gehen.

[0024] Vorzugsweise werden Unterbereiche stets in gleicher Weise innerhalb des zweidimensionalen Bildes der jeweiligen Oberfläche positioniert wird. Vorzugweise werden in gleicher Weise geformte und lackierte Karosserien verwendet. Dadurch lassen die Farb-/Helligkeitswerte einzelner Cluster verschiedener Karosserien Rückschlüsse auf Farb-/Helligkeits-Trends zu, so dass zeitnah eine Fehleranalyse vorgenommen werden kann.

[0025] In einer bevorzugten Ausführungsvariante der Erfindung ist es vorgesehen, dass die Cluster mindestens 30% (bevorzugter mindestens 50% noch bevorzugter mindestens 80%) der Fläche der zu untersuchenden Oberfläche, die auf dem orts aufgelösten Empfänger abgebildet wird, abdecken. Dadurch wird erfindungsgemäß der Gesamteindruck besonders realitätsnah durch die Vielzahl von Unterbereiche repräsentiert.

[0026] Bei der Erfassung von Datenreihen unterschiedlicher Karosserieteile einer Serie (für mindestens einen Cluster – diese Cluster-Datenreihen können auch für alle Cluster erfasst werden) ist es vorgesehen, technische Ausreißer (die beispielsweise durch ein falsches Karosserieteil, Ausfall des Blitzlichts oder zu späte Auslösung der Aufnahme derart, dass sich das Karosserieteil nicht mehr in der vorgegebenen Position befindet, bedingt sein können) aus der Datenreihe zu eliminieren. Dazu werden Helligkeitsabweichungen, Farbabweichungen und/oder Gesamtfarbabstände, die betragsmäßig einen zweiten vorgegebenen Grenzwert überschreiten, vorab (d. h. vor Bestimmung des Trendwerts) aussortiert, wobei der zweite Grenzwert betragsmäßig größer als der erste Grenzwert ist. Der zweite Grenzwert wird vorzugsweise derart gewählt, dass Cluster mit einem Gesamtfarbabstand größer als dem zweiten Grenzwert als außerhalb der durch Mess/Produktionsfehler bedingten Toleranzgrenzen eingestuft werden.

[0027] Durch die Eliminierung technischer Ausreißer wird einerseits die zu verarbeitende Datenmenge verringert und weiterhin sichergestellt, dass entsprechende Mittelwerte (= Trendwerte), die für eine Langzeitanalyse (Trendanalyse) beziehungsweise eine Prognose zugrunde gelegt werden können, durch die genannten Szenarien (falsches Karosserieteil, Ausfall des Blitzlichts oder zu späte Auslösung der Aufnahme derart, dass sich das Karosserieteil nicht mehr in der vorgegebenen Position befindet) nicht verfälscht werden.

[0028] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsvariante der Erfindung ist es vorgesehen, (vorzugsweise zusätzlich) statistische Ausreißer einer Datenreihe (beispielsweise Helligkeitsabweichung, Farbabweichung

oder Gesamtfarbabstand) unterschiedlicher Karosserieteile benachbarter Elemente (vorhergehende und/oder nachfolgende Messwerte) der Datenreihe zu interpolieren, um die Verfälschung von Trends zu vermeiden.

[0029] Dazu ist es vorgesehen, den numerischen Wert der Helligkeitsabweichung (beziehungsweise der Farbabweichung oder des Gesamtfarbabstandes) derjenigen Elemente einer Datenreihe eines Unterbereichs, die betragsmäßig einen dritten vorgegebenen Grenzwert überschreiten, durch einen numerischen Wert zu ersetzen, der aus der Helligkeitsabweichung (beziehungsweise der Farbabweichung oder dem Gesamtfarbabstand) mindestens eines benachbarten Elements der Datenreihe des Unterbereichs gebildet ist.

[0030] Vorzugsweise wird vor dem Einstrahlen von Licht ein Fahrzeugkarosserieteil lackiert und mindestens 100 cm² der lackierten Oberfläche des Fahrzeugkarosserieteils (bevorzugter mehr als 500 cm² und noch bevorzugter mehr als 1000 cm²) auf den zweidimensionalen, orts aufgelösten Empfänger abgebildet. Dadurch ist es möglich, eine sehr große Oberfläche durch die Auswertung lediglich eines Bildes (zum Beispiel einer CCD-Kamera) sehr realistisch zu bewerten.

[0031] Vorzugsweise werden die zu untersuchende Oberfläche sowie sämtliche Unterbereiche graphisch dargestellt, wobei Unterbereiche, deren Summe aus prognostiziertem Trendwert und der ermittelten zulässigen Streubreite größer als der erste Grenzwert ist, und Unterbereiche, deren Gesamtfarbabstand (beziehungsweise Helligkeitsabweichung und mindestens eine Farbabweichung) kleiner als der erste Grenzwert ist, in der graphischen Darstellung unterschiedlich markiert werden, beispielsweise durch unterschiedliche Farbgebung (beispielsweise Summe aus prognostiziertem Trendwert und der ermittelten zulässigen Streubreite größer als die Toleranzgrenze (erster Grenzwert) wird rot dargestellt und Summe aus prognostiziertem Trendwert und der ermittelten zulässigen Streubreite kleiner als Toleranzgrenze und größer als Eingriffsgrenze wird gelb dargestellt und alle anderen Cluster werden grün dargestellt). Dadurch wird eine Einschätzung durch einen Benutzer dahingehend, ob die Abweichungen aufgrund ihrer räumlichen Anordnung zu einer Aussortierung des Karosserieteils führen, besonders einfach. Eine solche Einschätzung durch einen Benutzer erfolgt regelmäßig unter weiteren Gesichtspunkten, beispielsweise unter Berücksichtigung weiterer mit gleicher oder ähnlicher Farbe lackierter Teile in der späteren Umgebung des Karosserieteils (im eingebauten Zustand), wobei regelmäßig Abweichungen in Grenzbereichen als relevanter eingestuft werden als in der Mitte eines Karosserieteils, da die Sensitivität eines Betrachter für Farbunterschiede in Grenzbereichen regelmäßig erhöht ist.

[0032] Alternativ ist es jedoch auch möglich, nur einen Teil der Unterbereiche nach vorgegeben Kriterien darzustellen, beispielsweise nur vorselektierte Unterbereiche (so genannte Prio-Teilflächen) oder nur den beziehungsweise die „schlechtesten“ Unterbereiche einer zu bewertenden Oberfläche, das heißt denjenigen beziehungsweise diejenigen Unterbereiche mit dem größten Gesamtfarbabstand (beziehungsweise Helligkeitsabweichung und mindestens eine Farbabweichung).

[0033] Vorzugsweise wird eine Glättung der Elemente der Datenreihe durchgeführt. Vorzugsweise wird die Glättung mittels 2-Parameter-Verfahren und/oder Prä-Post-Mittelung durchgeführt.

[0034] Die oben beschriebene Prognose/Trendanalyse kann einerseits in Echtzeit erfolgen. In diesem Fall können natürlich nur zuvor ermittelte Abweichungen (das heißt zuvor lackierte und bewertete Karosserien des gleichen Clusters) in die Bewertung einfließen. Alternativ ist es möglich, die oben beschriebene Trendanalyse nach der messtechnischen Erfassung einer Vielzahl von (gleich lackierten Karosserien) durchzuführen. Dann können sowohl zuvor als auch nachfolgend ermittelte Abweichungen (das heißt gleicher Cluster von zuvor/danach lackierten und bewerteten Karosserien) in die Bewertung einfließen. Aus einer solchen Trendanalyse können sehr schnell Rückschlüsse dahingehend gezogen werden, welche prozesstechnischen (von einem Benutzer gegebenenfalls einzustellenden Parameter) zu einem spürbaren Trend in den Farb-/Helligkeitsverläufen führt, so dass eine schnellere Reaktion/Korrektur ermöglicht wird.

[0035] Die Erfindung soll nachfolgend anhand von in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert werden. Es zeigen:

[0036] [Fig. 1a](#) ein Flussdiagramm einer bevorzugten Ausführungsvariante des erfindungsgemäßen Verfahrens;

[0037] [Fig. 1b](#) eine vergrößerte Darstellung der Unterteilung einer lackierten, zu bewertenden Oberfläche in eine Vielzahl von Unterbereiche;

[0038] [Fig. 2a](#) unterschiedliche Darstellungsmöglichkeiten für Helligkeits-/Farbabweichungen und Prognose

für Helligkeits-/Farbabweichungen einer Datenreihe einer Vielzahl von Karosserieteilen für einen ausgewählten Unterbereich;

[0039] [Fig. 2b](#) die Darstellung des Gesamtfarbabstandes für 100 Karosserieteile sowie des Prognose des Gesamtfarbabstandes für 5 Karosserieteile für einen ausgewählten Unterbereich;

[0040] [Fig. 3](#) eine Darstellung einer Datenreihe des Gesamtfarbabstandes einer Vielzahl von Karosserieteilen für einen ausgewählten Unterbereich zur Erkennung von technischen und statistischen Ausreißern;

[0041] [Fig. 4a](#) eine fotografische Darstellung eines ordnungsgemäßen Karosserieteils (Referenz);

[0042] [Fig. 4b–Fig. 4c](#) fotografische Darstellungen für die Bewertung von Karosserieteilen in unterschiedlichen Situationen;

[0043] [Fig. 5](#) eine Darstellung der Datenreihe nach [Fig. 3](#) nach der Eliminierung technischer Ausreißer;

[0044] [Fig. 6a–Fig. 7b](#) eine schematische Darstellung zur Erkennung und Eliminierung statistischer Ausreißer;

[0045] [Fig. 8](#) eine Darstellung der Datenreihe nach [Fig. 3](#) nach der Eliminierung technischer Ausreißer und Interpolation der statistischen Ausreißer;

[0046] [Fig. 9](#) eine Darstellung der Datenreihe nach [Fig. 3](#) nach der Eliminierung technischer und statistischer Ausreißer;

[0047] [Fig. 10a–c](#) eine schematische Darstellung zur Trendabstrahierung aufeinanderfolgender Messwerte und

[0048] [Fig. 11a–Fig. 12b](#) eine weitere schematische Darstellung der Trendabstraktion sowie der Bewertung der einzelnen Messwerte.

[0049] [Fig. 1a](#) zeigt ein Flussdiagramm einer bevorzugten Ausführungsvariante des erfindungsgemäßen Verfahrens. Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht einerseits darin, Farb- und Helligkeitsstreuungen (Abweichungen von einem Referenzmodell) einer Serienproduktion, das heißt einer Vielzahl von gleichartig lackierten Karosserieteilen zu überwachen und für einen Benutzer anhand voreingestellter Kriterien übersichtlich darzustellen. Aus dieser Darstellung kann ein Benutzer entweder unmittelbar entnehmen oder zumindest schnell darauf schließen, ob ein bestimmtes lackiertes Karosserieteil der Serie die Kriterien an die optische Wahrnehmung erfüllt. Andererseits sollen Tendenzen (Trends) von Farb- und Helligkeitsstreuungen über die gesamte Serie (oder zumindest) einen Teil der Serie ermittelt und prognostiziert werden, d. h. durch eine Prognose der Farb- und Helligkeitsstreuungen soll die Verzögerung zwischen Lackierung und Vermessung/Bewertung der Oberfläche kompensiert werden, so dass daraus in-situ Rückschlüsse auf die Einhaltung oder Nicht-Einhaltung von Produktionsparametern während der Lackierung erfolgen können.

[0050] Die Erfindung bezieht sich bei der Bewertung und Darstellung einer Serie insbesondere auf eine Vielzahl gleicher Karosserieteile, die mit einem gleichen Farbton lackiert wurden. Die entsprechend lackierten Karosserieteile sollen dann mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens bewertet werden, wobei die technischen Merkmale der Bewertung insbesondere die optische Wahrnehmung durch einen Betrachter möglichst realitätsnah nachbilden sollen.

[0051] Erfindungsgemäß wird, wie in [Fig. 1a](#) (oberstes Fenster) dargestellt, ein lackiertes Karosserieteil – das im Ausführungsbeispiel eine nicht lackierbare Öffnung für einen Tankdeckel aufweist – vorzugsweise vollständig auf einen zweidimensionalen Empfänger – beispielsweise eine CCD-Kamera – abgebildet und dieses Bild in eine Vielzahl von Unterbereichen (auch als „Cluster“ bezeichnet) aufgeteilt. Gegenüber der Messung an einzelnen Messstellen hat das (vorzugsweise vollständige) Abbilden des Karosserieteils (es sollen mindestens 30%, vorzugsweise mindestens 50% und weiter bevorzugt mindestens 80% der von einer Kameraposition sichtbaren Fläche des Karosserieteils auf den Empfänger abgebildet werden) den Vorteil, dass nicht nur ein nicht-repräsentativer Ausschnitt des Karosserieteils erfasst wird, was zur einer deutlich veränderten Bewertung im Vergleich zur optischen Wahrnehmung des menschlichen Auges (das regelmäßig das gesamte Karosserieteil erfasst) führen kann.

[0052] [Fig. 1b](#) zeigt eine vergrößerte Darstellung der Unterteilung in eine Vielzahl von Unterbereiche. Dabei ist es vorgesehen, für jeden Cluster einen Farb- und Helligkeitsmittelwert zu bilden und diese Daten dem Cluster zuzuordnen. Das heißt beispielsweise, dass jedem Cluster zwei Ortskoordinaten (x, y) und drei Farb-Koordinaten nach RGB-Farbraum, CIE Lab-Farbraum, DIN99-Farbraum oder ähnliche (die bereits einen Helligkeitswert umfassen) aufweist. Es können jedoch auch vergleichbare, durch entsprechende Transformation erhältliche Ortskoordinaten und Farb-Koordinaten zugeordnet werden. Die Farb-Koordinaten umfassen zumindest anteilig auch Informationen über die Helligkeit der zu bewertenden Oberfläche. Die vereinzelt Cluster im oberen Bereich der [Fig. 1b](#) dienen zur Anpassung der Bildhelligkeit und Prüfung der Systemstabilität. So kann beispielsweise gemessen werden, ob sich die Kameras bewegt haben, oder die Lichtmenge des Blitzes zu hoch war. Diese vereinzelt Cluster werden zur Bestimmung der Helligkeits-/Farbabweichungen vom Farbkontrollmodell jedoch nicht herangezogen. Durch die Zuordnung eines Farb- und Helligkeitsmittelwerts für jeden bzw. vordefinierte Cluster kann erfindungsgemäß eine größere Fläche durch eine geringe Anzahl von Daten (Farb- und Helligkeitswerten) dargestellt werden. Erfindungsgemäß werden diese einzelnen Cluster-bezogenen Daten mit entsprechenden Daten eines Farbkontrollmodells verglichen und die entsprechenden Abweichungen gespeichert. In einer bevorzugten Ausführungsvariante des erfindungsgemäßen Verfahrens werden die ermittelten Helligkeits- und Farbabweichungen zu einem so genannten Gesamtfarbabstand berechnet.

[0053] Farbabstände können grundsätzlich durch Vektoraddition der ΔL -, ΔC - und ΔH -Werte zwischen der Referenzfarbe und dem Farbprüfling bestimmt werden.

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta C^2 + \Delta H^2}$$

[0054] Die CIE nimmt aufbauend auf den L^*a^*b -Farbraum in ihrer im Jahr 2001 veröffentlichten CIEDE2000-Farbdifferenzformel zusätzlich zu dieser geometrischen Darstellung Korrekturen an den zugrunde liegenden ΔL -, ΔC - und ΔH vor, um durch eine weitere Verzerrung des Farbraumes eine Berücksichtigung des Einflusses der Farbsättigung und eine Korrektur der Ausrichtung der Toleranzellipsen zu erreichen. Als Gesamtfarbabstand können aber auch äquivalente Größen herangezogen werden.

[0055] Dieser Gesamtfarbabstand repräsentiert einen gewichteten Wert aus den entsprechenden Helligkeits- und Farbabweichungen. Um eine schnelle Analyse eines lackierten Karosserieteils durch einen Benutzer vornehmen zu können, ist es nach einer bevorzugten Ausführungsvariante der Erfindung vorgesehen, zunächst technische Ausreißer (siehe in [Fig. 1a](#) unter 1.) zu eliminieren, danach statistische Ausreißer zu interpolieren (in [Fig. 1a](#): kleine Fenster neben 1.–3.: statistische Ausreißer sind durch ein Kreuz gekennzeichnet) und nachfolgend einen Trendwert **10**, **14** (durchgezogene Linie 10 im kleinen Fenster neben 2. und 3. in [Fig. 1a](#) und durchgezogene Linie **14** in [Fig. 2b](#)) zu bestimmen. Dieser Trendwert **10**, **14** wird vorzugsweise durch Mittelwertbildung einer Vielzahl (vorzugsweise zwischen 1 und 20) (ggf. vorhandener) vorhergehender und nachfolgender Werte **17** (Gesamtfarbabstand **20** vom Farbkontrollmodell) bestimmt. Danach wird die Streuung der bestimmten Gesamtfarbabstände **17** um den Trendwert **10**, **14** bestimmt und graphisch dargestellt ([Fig. 2b](#) und Punkte und Kreuze im kleinen Fenster neben 3. und 5. in [Fig. 1a](#)).

[0056] Danach werden die Toleranz- und Eingriffgrenze festgelegt. Dazu wird zunächst eine Sicherheit in % (siehe in [Fig. 1a](#) unter 10.) vorgegeben, beispielsweise durch eine Bedienperson oder als Systemparameter. Ferner wird eine Prognoseweite für die Bestimmung einer Toleranzgrenze und ggf. weiterhin eine Prognoseweite für die Bestimmung einer Eingriffsgrenze (siehe in [Fig. 1a](#) unter 4.) vorgegeben, beispielsweise durch eine Bedienperson oder als Systemparameter.

[0057] Beispielsweise kann gefordert werden, dass mindestens 95% der vermessenen Karosserien innerhalb einer zulässigen Streubreite **15**, **16** ([Fig. 2b](#)) liegen sollen. Daraus wird dann anhand der bis dahin gemessenen Gesamtfarbabstände **17** in-situ die zulässige Streubreite **15**, **16** bestimmt und ebenfalls graphisch dargestellt (gestrichelte Linie **15**, **16** oberhalb und unterhalb der Trendwertlinie **14**). Die zulässige Streubreite **15**, **16** wird vorzugsweise durch Approximation einer Verteilungsfunktion der Streuung um die Trendlinie **10**, **14** (vorzugsweise Gauß-Approximation oder Polynomial-Approximation) ermittelt.

[0058] Als Prognoseweite für die Bestimmung einer Toleranzgrenze wird die Anzahl der Karosserien festgelegt, die prognostiziert werden soll, um über die Tauglichkeit lackierten Karosserieteils zu entscheiden. Diese Anzahl (Prognoseweite der Toleranzgrenze) ist vorzugsweise größer gleich als diejenige Anzahl lackierter Karosserien, die im Zeitraum zwischen Lackierung und Bewertung einer Karosserie lackiert werden, damit der Produktionsprozess ggf. rechtzeitig, vor Lackierung einer Karosserie außerhalb der Toleranzgrenze unterbrochen bzw. modifiziert werden kann. Als Prognoseweite für die Bestimmung einer Eingriffsgrenze wird die Anzahl der Karosserien festgelegt, die prognostiziert werden soll, um über die Notwendigkeit eines Eingriffs in

den Produktionsprozess zu entscheiden. Diese Anzahl (Prognoseweite der Eingriffsgrenze) ist vorzugsweise größer gleich als diejenige Anzahl lackierter Karosserien, die im Zeitraum zwischen Lackierung und Bewertung einer Karosserie lackiert werden, damit der Produktionsprozess ggf. rechtzeitig, vor Lackierung einer Karosserie außerhalb der Toleranzgrenze unterbrochen bzw. modifiziert werden kann.

[0059] Ferner werden eine Toleranzgrenze **12** und eine Eingriffsgrenze **13** bestimmt, beispielsweise wird die Toleranzgrenze **12** als 3-fache Streubreite des Farbkontrollmodells und die Eingriffsgrenze **13** als doppelte Streubreite des Farbkontrollmodells festgelegt (siehe auch [Fig. 2b](#)).

[0060] Weiterhin ist es vorgesehen, die Trendlinie **14** ([Fig. 2b](#)) bzw. **10** ([Fig. 2a](#)) und im kleinen Fenster neben 5. und 6. in [Fig. 1a](#)) zu prognostizieren bzw. interpolieren. Dazu wird ein mittlerer Anstieg einer Vielzahl zurückliegender Trendwerte der Trendlinie **14** ([Fig. 2b](#)) bestimmt und ausgehend vom letzten Trendwert **14** (Abszisse = 0) für eine vorgegebene Anzahl von Karosserien (Prognoseweite = 5) vorausberechnet. Damit erhält man eine Voraussage dahingehend, wie sich der Gesamtfarbabstand (bzw. die Helligkeits-/Farbabweichungen) bei gleichbleibendem Trend entwickeln wird. Daraus kann eine Prognose dahingehend erstellt werden, ob die innerhalb der zulässigen Streubreite liegenden Karosserien – die noch nicht vermessen/bewertet wurden – noch innerhalb der Toleranzgrenze **12** oder der Eingriffsgrenze **13** liegen. Aufgrund dieser Einschätzung kann rechtzeitig in den Produktionsprozess eingegriffen werden, wenn eine nicht hinnehmbare Verschiebung des Gesamtfarbabstandes (bzw. der Helligkeits-/Farbabweichungen) einsetzt, d. h. wenn die Summe aus prognostiziertem Gesamtfarbabstand und zulässiger Streubreite größer oder gleich der Toleranzgrenze **12** (bzw. der Eingriffsgrenze **13**) ist.

[0061] In [Fig. 2a](#) sind die prognostizierten Werte für die Trendlinie **10** in den Fenstern **7** dargestellt. In [Fig. 1a](#) sind die prognostizierten Werte für die Trendlinie **10** (und die zulässige Streubreite **15**, **16**) im Teilbereich **19** dargestellt, wohingegen die tatsächlichen Messwerte im Teilbereich **18** dargestellt sind.

[0062] Danach wird die Einhaltungswahrscheinlichkeit der Toleranzgrenze **12** bestimmt, also ob die Summe aus prognostiziertem Gesamtfarbabstand und zulässiger Streubreite einer vorgegebenen Anzahl (Prognoseweite für die Toleranzgrenze) von noch nicht bewerteten Karosserien innerhalb der Toleranzgrenze **12** liegt. Ist dies nicht der Fall, wird der entsprechende Unterbereich (Cluster) als nicht in Ordnung klassifiziert und entsprechend (beispielsweise rot) dargestellt (unten in [Fig. 1a](#)). In einem solchen Fall wird vorzugsweise der Produktionsprozess unterbrochen bzw. modifiziert.

[0063] Die Bestimmung der Einhaltungswahrscheinlichkeit kann durch bekannte mathematische Verfahren erfolgen, beispielsweise durch Bestimmung eines relativen Verhältnisses zwischen a) einem unbestimmten Integral der Messwertstreuung (um die Trendlinie **10**, **14**) und b) dem durch die (obere und untere) Toleranzgrenze **12** bestimmten Integral unter Berücksichtigung der Lage.

[0064] Ferner ist es möglich, die Einhaltungswahrscheinlichkeit der Eingriffsgrenze **13** ([Fig. 2b](#)) zu bestimmen, also ob die Summe aus prognostiziertem Gesamtfarbabstand und zulässiger Streubreite einer vorgegebenen Anzahl (Prognoseweite für die Eingriffsgrenze) von noch nicht bewerteten Karosserien innerhalb der Eingriffsgrenze **13** liegt. Ist dies nicht der Fall, wird der entsprechende Unterbereich (Cluster) entsprechend (beispielsweise gelb) dargestellt (unten in [Fig. 1a](#)). In diesem Fall kann eine Bedienperson (oder eine Systemroutine) einen Eingriff in den Produktionsvorgang vornehmen, da sich bereits abzeichnet, dass sich die Farbwerte tendenziell derart entwickeln, dass ein zeitnahes Verlassen der Toleranzgrenze **12** zu erwarten ist. Ein Eingriff in den Produktionsvorgang kann beispielsweise in einer Unterbrechung der Serien-Lackierung und Überprüfung der Produktionsmittel (Düsen, Farbmischung etc.) liegen.

[0065] Die oben genannte Analyse zwischen den gemessenen Helligkeits- und Farbwerten und den Referenzhelligkeits- und Farbwerten (Farbkontrollmodell) inkl. Trendanalyse, Ermittlung der zulässigen Streubreite, Prognose und Vergleich mit Toleranzgrenze **12** (ggf. auch Eingriffsgrenze **13**) wird vorzugsweise für sämtliche Cluster (Unterbereiche) jedes Karosserieteils vorgenommen. Alternativ ist es jedoch möglich, den entsprechenden Vergleich der Gesamtfarbabstände (beziehungsweise Helligkeits- und Farbabstände) mit dem ersten Grenzwert nur für eine bestimmte Anzahl von Clustern eines Karosserieteils durchzuführen. Ein weiterer Aspekt der vorliegenden Erfindung besteht darin, nicht nur große lackierte Flächen in einem einfachen System zu bewerten, sondern weiterhin Veränderungen von Helligkeits- und Farbwerten innerhalb einer Serie von lackierten Oberflächen effizient erfassen zu können, wobei die Bewertung der Farb- und Helligkeitsabweichungen (beziehungsweise der Gesamtfarbabstände) einer durch einen Betrachter realisierten optischen Wahrnehmung möglichst nahe kommen soll und weiterhin Trends von Farb- und Helligkeitsänderungen möglichst schnell erfassbar sein sollen.

[0066] Dazu ist es erfindungsgemäß vorgesehen, die entsprechende Aufteilung des zweidimensionalen Bildes für jedes Karosserieteil einer zu bewertenden Serie in jeweils die gleichen Unterbereiche vorzunehmen, so dass die entsprechenden Unterbereiche einer Serie (einer Vielzahl von nacheinander lackierten Karossen) entsprechend verglichen und bewertet werden kann (das heißt, die Ortskoordinaten und die Ausdehnung der Cluster sind für alle Karosserien einer Serie gleich). Dazu werden erfindungsgemäß die Helligkeits- und Farbdifferenzen (beispielsweise der Gesamtfarbabstand) eines Clusters für eine Vielzahl von lackierten Oberflächen in einer Datenreihe erfasst, wobei die einzelnen Elemente der Datenreihe vorzugsweise chronologisch entsprechend dem Zeitpunkt des Lackierens sortiert werden sollen. Eine solche Darstellung ist beispielsweise in [Fig. 2a](#) für unterschiedliche Farb-/Helligkeitskriterien veranschaulicht, wobei eine Serie von 100 lackierten Teilen (siehe Abszisse von -100 bis 0) dargestellt worden ist. Insbesondere wird durch ΔY in Fenster 1 die Helligkeitsabweichung der einzelnen Karosserien Nr. -100 bis Nr. 0 für einen vorausgewählten (stets gleichen) Cluster vom entsprechenden Farbkontrollmodell dargestellt. Aus den über die Serie erfassten Helligkeitsabweichungen können für jeden Messwert entsprechende Mittelwerte, die beispielsweise aus einer Vielzahl vorhergehender und nachfolgender Messwerte ermittelt werden, dargestellt werden. Ebenfalls können entsprechende Toleranzgrenzen, die ebenfalls aus der Vielzahl der Messwerte gewonnen beziehungsweise generiert werden, dargestellt werden. In analoger Weise stellt Fenster 2a mit ΔI eine Farbabweichung rot-grün, Fenster 3 mit ΔQ eine Farbabweichung gelb-blau, Fenster 4 mit ΔE eine Gesamtfarbabweichung dar. In Fenster Nr. 5 sind die Farbabweichungen kartesisch dargestellt und in Fenster 6 ist veranschaulicht, eine Helligkeitsabweichung als Balkendiagramm darzustellen.

[0067] Die in [Fig. 2a](#) gezeigten Trendlinien 10 (beziehungsweise gewichteten Verläufe) können einem Benutzer Rückschlüsse auf die Einhaltung oder Nicht-Einhaltung von Produktionsparametern ermöglichen, so dass ein Verlassen der Toleranzgrenze 12 innerhalb einer Serie rechtzeitig erkannt werden kann. Als Indikatoren dient dabei die Eingriffsgrenze 13 ([Fig. 2b](#)). In den Fenstern 1-4 der [Fig. 2a](#) zeigen die Abszissen je eine durchlaufende Nummer der lackierten Karosserien und die Ordinaten je die ermittelten Werte für Helligkeitsabweichung/Farbabweichung bzw. Gesamtfarbabstand. In den Bereichen 7 werden die Werte der Trendlinien 10 in die Zukunft approximiert, vorzugsweise durch Bestimmung eines mittleren Anstieges einer vorgegebenen Anzahl der letzten ermittelten Werte der Trendlinien 10 und Fortschreibung der Werte der Trendlinien 10 unter Berücksichtigung des mittleren Anstieges.

[0068] Um die in [Fig. 2a](#) gezeigten Mittelwertslinien 10 einwandfrei ermitteln zu können, ist es erfindungsgemäß vorgesehen, technische Ausreißer und statistische Ausreißer aus einer entsprechenden Datenreihe zu eliminieren und bei der Mittelwertsbildung (beziehungsweise Wichtung) nicht zu berücksichtigen. [Fig. 3](#) zeigt eine Datenreihe des Gesamtfarbabstandes ΔE (Ordinaten) einer Vielzahl von Karosserieteilen (Abszisse) für einen ausgewählten Unterbereich zur Erkennung von technischen und statistischen Ausreißern. (technischer Ausreißer: durch ein Kreuz und statistische Ausreißer durch eine Umrandung gekennzeichnet).

[0069] Bei einem technischen Ausreißer kann es sich um mehrere Szenarien handeln, die beispielsweise nicht durch eine fehlerhafte Lackierung, sondern durch andere Umstände bedingt sein müssen. Zur Veranschaulichung ist in [Fig. 4a](#) die fotografische Aufnahme eines korrekt lackierten Karosserieteils dargestellt. In [Fig. 4b](#) ist eine fotografische Aufnahme eines mit einer falschen Farbe lackierten Karosserieteils dargestellt, wobei in einem solchen Fall (der als technischer Ausreißer klassifiziert werden soll) der Gesamtfarbabstand eines vorausgewählten Clusters einen zweiten Grenzwert überschreitet. Das gleiche kann wie in [Fig. 4c](#) dargestellt, beispielsweise dann der Fall sein, wenn die Auslösung der Kamera (zweidimensionaler ortsaufgelöster Empfänger) derart spät erfolgt, dass sich die in einem Produktionsband automatisch weiterbewegte Karosserie nicht mehr (oder noch nicht) an der zur fotografischen Erfassung vorgegebenen Position befindet (ebenfalls technischer Ausreißer). Ein weiterer Fall ist in [Fig. 4d](#) dargestellt, wo es sich um den Ausfall des Blitzlichtes handelt, so dass eine entsprechende fotografische Aufnahme nur fehlerhaft erfolgen kann (ebenfalls technischer Ausreißer). In [Fig. 4e](#) ist ein weiteres Beispiel dargestellt, bei dem es sich jedoch nicht um einen technischen Ausreißer handelt. Dort ist eine fotografische Aufnahme eines lackierten Karosserieteils dargestellt, die unter dem Einfluss von (ungewolltem) Fremdlicht erfolgt ist. Hier ist jedoch der Gesamtfarbabstand des entsprechenden Clusters unter einem zweiten Grenzwert geblieben, so dass dieser Gesamtfarbabstand in der Datenreihe, siehe [Fig. 3](#), weiterhin berücksichtigt wird (keine Eliminierung). Der zweite Grenzwert ist den oben genannten Szenarien entsprechend anzupassen. Vorzugsweise wird der zweite Grenzwert als Gesamtfarbabstand $\Delta E = 10$ verwendet.

[0070] In [Fig. 5](#) werden die nach [Fig. 3](#) dargestellten Messwerte nach Eliminierung des technischen Ausreißers dargestellt.

[0071] Ein weiterer Aspekt des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht in der Interpolation statistischer Aus-

reißer (siehe [Fig. 3](#) umrandete Messwerte mit $2 < \Delta E < 10$). Um statistische Ausreißer handelt es sich bei Messwerten, die nicht als technische Ausreißer klassifiziert werden, das heißt, deren Gesamtfarbabstand beispielsweise kleiner als ein zweiter Grenzwert ist, deren Abweichungen jedoch von den übrigen Messwerten derart deutlich abweicht, so dass es sich hier nicht um Zufallsabweichungen handeln kann (hier beispielsweise ist der Gesamtfarbabstand größer einem dritten Grenzwert). Der Vorteil der Interpolation dieser statistischen Ausreißer liegt darin, dass die entsprechende Trendanalyse (beispielsweise die in den [Fig. 2a](#), [Fig. 11a](#) und [Fig. 12a](#) gezeigte statistische Mittellinie) nicht unnötig verfälscht wird. Vorzugsweise wird der dritte Grenzwert als Gesamtfarbabstand mit $\Delta E < 10$ und $\Delta E > 2$ verwendet.

[0072] In [Fig. 6a](#) bis [Fig. 7b](#) wird ein Beispiel zur Interpolation statistischer Ausreißer dargestellt. Insbesondere ist die Ermittlung des dritten Grenzwertes aus einer Vielzahl von Messwerten auf unterschiedliche Weise möglich. In [Fig. 6a](#) bis [Fig. 7b](#) ist über die Abszissen eine Vielzahl lackierter Karosserien und über die Ordinateen die jeweils ermittelten Werte für den Gesamtfarbabstand abgetragen.

[0073] Im Ausführungsbeispiel soll die Bestimmung des dritten Grenzwertes anhand von 5 bekannten Messwerten einer Serie, das heißt 5 bekannten Gesamtfarbabständen für 4 unterschiedliche Karosserien demonstriert werden:

$$x_1 = -8; x_2 = 6; x_3 = 6,4; x_4 = 10,25; x_5 = 35$$

[0074] Zunächst wird der Median der Messwerte gebildet: $\tilde{x} = 6,4$

[0075] Danach der Median der absoluten Abweichungen (MaD) von $\tilde{x}$:

$$|x_1 - \tilde{x}| = 14,4; |x_2 - \tilde{x}| = 0,4; |x_3 - \tilde{x}| = 0; |x_4 - \tilde{x}| = 3,85; |x_5 - \tilde{x}| = 28,6; \text{MaD} = 3,85$$

[0076] Schließlich werden die oberen und unteren Ausreißergrenzen mit Hilfe folgender Tabelle

Proben- umfang N	g(n, α)						
	Gavies/Gather		Grubbs		Dixon		
	g(n, 5%)	g(n, 1%)	g(n, 10%)	g(n, 5%)	g(n, 10%)	g(n, 5%)	g(n, 1%)
3	33,59	161,15	1,148	1,153	0,886	0,941	0,988
4	10,12	24,71	1,425	1,463	0,679	0,765	0,889
5	11,77	28,84	1,602	1,672	0,557	0,642	0,780
6	8,20	15,40	1,729	1,822	0,482	0,560	0,698
7	8,32	13,75	1,828	1,938	0,434	0,507	0,637
8	7,30	11,87	1,909	2,032	0,479	0,554	0,683
9	7,38	11,48	1,977	2,110	0,441	0,512	0,635
10	6,81	10,20	2,036	2,176	0,409	0,477	0,597
11	6,97	10,96	2,088	2,234	0,517	0,576	0,679
12	6,51	9,27	2,134	2,285	0,490	0,546	0,642
13	6,71	10,53	2,175	2,331	0,467	0,521	0,615
14	6,30	8,70	2,213	2,371	0,492	0,546	0,641
15	6,49	9,95	2,247	2,409	0,472	0,525	0,616
16	6,15	8,32	2,279	2,443	0,454	0,507	0,595
17	6,29	9,25	2,309	2,475	0,438	0,490	0,577
18	6,03	8,05	2,335	2,504	0,424	0,475	0,561
19	6,10	8,49	2,361	2,532	0,412	0,462	0,547
20	5,92	7,84	2,385	2,557	0,401	0,450	0,535
21	5,92	7,70	2,408	2,580	0,391	0,440	0,524
22	5,83	7,67	2,429	2,603	0,382	0,430	0,514
23	5,74	6,92	2,448	2,624	0,374	0,421	0,505
24	5,75	7,53	2,467	2,644	0,367	0,413	0,497
25	5,59	6,15	2,486	2,663	0,360	0,406	0,489

Tabelle: Kritische Faktoren g(n, α) zu den Verfahren von Davies/Gather, Grubbs und Dixon

errechnet:

$$g_u(n, \alpha) = \tilde{x} - g(n, \alpha) \cdot \text{MaD}; \quad g_o(n, \alpha) = \tilde{x} + g(n, \alpha) \cdot \text{MaD};$$

$$g_u(5, 1\%) = 6,4 - 1,76 \cdot 3,85 = -0,376; \quad g_o(5, 5\%) = 6,4 + 1,76 \cdot 3,85 = 13,176$$

[0077] Die Bestimmung des dritten Grenzwertes kann jedoch auch nach anderen Kriterien erfolgen.

[0078] [Fig. 8](#) zeigt eine Darstellung der Datenreihe nach [Fig. 6a](#), [Fig. 6b](#) nach der Eliminierung Interpolation der statistischen Ausreißer, wobei die Kreise in [Fig. 8](#) die interpolierten Werte darstellen.

[0079] [Fig. 9](#) zeigt eine schematische Darstellung der Messwerte der [Fig. 3](#) nach Eliminierung sowohl der technischen als auch der statistischen Ausreißer In den [Fig. 3](#), 7 und [Fig. 9](#) wurde eine Serie von 250 lackierten Karosserieteilen bewertet. Erfindungsgemäß werden statistische Ausreißer im Gegensatz zu technischen Ausreißern nicht vollständig eliminiert, da neben additiven Ausreißern auch Sprünge oder Trendänderungen im Verlauf der Messwerte als Ausreißer identifiziert werden können. Durch die Interpolation anstelle der vollständigen Eliminierung der Ausreißer wird eine angemessene Reaktion des Überwachungssystems erreicht, ohne dass eine spezielle Bewertung der Ausreißer notwendig wird. Die Auswirkungen einer Fehlentscheidung (nicht erkannte Ausreißer) werden somit gering gehalten.

[0080] Ein weiterer Aspekt der vorliegenden Erfindung ist die so genannte Trendabstrahierung, die in den [Fig. 10a](#) bis [Fig. 12b](#) schematisch dargestellt wird. Die Idee besteht darin, die entsprechenden Messwerte eines Clusters oder mehrerer Cluster (bei Messwerten sind ermittelte Helligkeitsabweichungen, ermittelte Farbabweichungen beziehungsweise der ermittelte Gesamtfarbabstand gemeint) für eine Serie einer Vielzahl von

lackierten Karossen grafisch darzustellen, wobei zur Veranschaulichung von Trends zu jedem Messwert ein gewichteter Mittelwert, der aus einer Vielzahl vorangehender oder nachfolgender Elemente der Datenreihe gebildet wird, ebenfalls grafisch (als Linie) dargestellt wird. Zur entsprechenden Mittelwertbildung kann beispielsweise das 2-Parameter-Verfahren nach Holt verwendet werden, bei dem zunächst optimale Parameter bestimmt und gegebenenfalls eine Glättung der gewichteten Mittelwerte Ergebnisse (Prä-Post-Mittelung, Goldener Schnitt) durchgeführt wird.

[0081] [Fig. 10a](#), [Fig. 10b](#), [Fig. 10c](#) zeigen beispielhaft das Ergebnis des Verfahrens der exponentiellen Glättung welches gleichzeitig den Periodengrundwert und den Trend eines Messwertverlaufes ermittelt und diese mittels 2 verschiedener Parameter glättet. Als Optimum werden die Ergebnisse der Prä-Post-Mittelung gewählt. Es liefert dadurch deutlich bessere Ergebnisse als eine Trendabstrahierung durch Mittelwertbildung.

[0082] [Fig. 11a](#) zeigt eine Darstellung der Datenreihe nach [Fig. 9](#) nach der Durchführung des 2-Parameter-Verfahrens mit den optimalen Parametern. [Fig. 11b](#) zeigt die Streuung der Elemente der Datenreihe nach [Fig. 11a](#).

[0083] [Fig. 12a](#) zeigt eine Darstellung der Datenreihe nach [Fig. 9](#) nach der Durchführung des 2-Parameter-Verfahrens und der Prä-Post-Mittelung. [Fig. 12b](#) zeigt die Streuung der Elemente der Datenreihe nach [Fig. 12a](#).

Bezugszeichenliste

1	Farbabweichung Helligkeit
2	Farbabweichung Rot-Grün
3	Farbabweichung Gelb-Blau
4	Gesamtfarbabstand
5	Farbabweichung Rot-Grün und Farbabweichung Gelb-Blau kartesisch
6	Farbabweichung Helligkeit als Balkendarstellung
7	Prognosefortschreibung
10	Trendwert
12	Toleranzgrenze
13	Eingriffsgrenze
14	Trendwert (berechneter Trend)
15	Streubreite
16	Streubreite
17	Messwert (Gesamtfarbabstand)
18	Rückblick (über 10 Karosserien)
19	Prognose (5 Karosserien)
20	Gesamtfarbabstand
ΔI	Farbabweichung Rot-Grün
ΔQ	Farbabweichung Gelb-Blau
ΔY	Farbabweichung Helligkeit
ΔE	Gesamtfarbabstand

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

- DE 10103555 A1 [[0002](#), [0003](#)]
- WO 2004/010124 A1 [[0002](#), [0004](#)]

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bewertung einer Vielzahl von lackierten Oberflächen mit folgenden Verfahrensschritten:
 - sequentielles Lackieren einer Vielzahl von Oberflächen,
 - jeweils nachfolgendes Einstrahlen von Licht auf jede der lackierten Oberflächen,
 - Abbilden mindestens eines Teils des von der jeweiligen Oberfläche reflektierten und/oder gestreuten Lichts auf einen zweidimensionalen, orts aufgelösten Empfänger, und
 - Erzeugen eines zweidimensionalen Bildes für jede lackierte Oberfläche, wobei jedem Bildpunkt neben seinen geometrischen Koordinaten weiterhin Farb-Koordinaten und Helligkeits-Koordinaten zugeordnet werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass
 - für jede lackierte Oberfläche eine Vielzahl zweidimensionaler Unterbereiche gebildet wird, die innerhalb des zweidimensionalen Bildes der jeweils zu untersuchenden Oberfläche liegen,
 - aus den Bildpunkten jedes Unterbereichs jeweils ein gewichteter Helligkeitswert, mindestens ein gewichteter Farbwert und/oder ein aus Helligkeitswert und mindestens einem Farbwert generierter gewichteter Gesamtfarbwert erzeugt wird,
 - die gewichteten Helligkeitswerte und/oder die gewichteten Farbwerte und/oder die gewichteten Gesamtfarbwerte jeweils mit einem Referenzwert verglichen werden und daraus eine Helligkeitsabweichung (ΔY) und/oder mindestens eine Farbabweichung (ΔI , ΔQ) und/oder ein Gesamtfarbabstand (ΔE) ermittelt wird,
 - die ermittelte Helligkeitsabweichung (ΔY) und/oder die mindestens eine Farbabweichung (ΔI , ΔQ) und/oder der Gesamtfarbabstand (ΔE) mindestens eines Unterbereichs chronologisch für die Vielzahl lackierter Oberflächen in einer Datenreihe erfasst wird,
 - aus den mindestens zwei letzten Elementen der Datenreihe ein Trend für die Helligkeitsabweichung (ΔY) und/oder die Farbabweichung (ΔI , ΔQ) und/oder den Gesamtfarbabstand (ΔE) ermittelt wird,
 - die Helligkeitsabweichung (ΔY) und/oder die Farbabweichung (ΔI , ΔQ) und/oder der Gesamtfarbabstand (ΔE) für eine vorgegebene Anzahl von Oberflächen unter Berücksichtigung des Trends vorausberechnet wird,
 - und die vorausberechnete Helligkeitsabweichung (ΔY) und/oder die vorausberechnete Farbabweichung (ΔI , ΔQ) und/oder der vorausberechnete Gesamtfarbabstand (ΔE) mit einem ersten Grenzwert verglichen wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur Ermittlung des Trends zwischen 2 und 20 der letzten Elementen der Datenreihe verwendet werden.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als Trend der mittlere Anstieg der Helligkeitsabweichung (ΔY) und/oder die Farbabweichung (ΔI , ΔQ) und/oder der Gesamtfarbabstand (ΔE) für eine vorgegebene Anzahl von Oberflächen verwendet wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass wobei jedem Element der mindestens einen Datenreihe ein Trendwert zugeordnet wird, wobei der Trendwert unter Berücksichtigung mindestens eines vorhandenen vorhergehenden und/oder nachfolgenden Elements der Datenreihe gebildet wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass
 - die Differenz zwischen jedem Element der mindestens einen Datenreihe und dem zugeordneten Trendwert bestimmt wird, weiterhin eine zulässige Streubreite derart ermittelt wird, dass ein vorgegebener Prozentsatz der ermittelten Differenzen innerhalb der zulässigen Streubreite liegt, und für jedes Element der Datenreihe die Summe aus zugeordneten Trendwert und der ermittelten zulässigen Streubreite mit einem vorgegebenen ersten Grenzwert verglichen wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Unterbereiche zueinander disjunkte Bereiche sind und/oder die Fläche der Unterbereiche zwischen 1 cm² und 25 cm² beträgt.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Anzahl der Unterbereiche zwischen 15 und 1500 beträgt.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Vielzahl zweidimensionaler Unterbereiche stets in gleicher Weise innerhalb des zweidimensionalen Bildes der jeweiligen Oberfläche positioniert wird.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Helligkeits-

abweichungen (ΔY), die mindestens eine Farbabweichung (ΔI , ΔQ) und/oder die Gesamtfarbabstände (ΔE) der Vielzahl von Oberflächen für alle Unterbereiche als Datenreihe erfasst werden.

10. Verfahren nach Anspruch 4–9, dadurch gekennzeichnet, dass diejenigen Elemente einer Datenreihe eines Unterbereichs vor Berechnung des Trends und/oder des Trendwerts aussortiert werden, deren Helligkeitsabweichung (ΔY), Farbabweichung (ΔI , ΔQ) oder Gesamtfarbabstand (ΔE) betragsmäßig einen zweiten vorgegebenen Grenzwert überschreiten, wobei der zweite Grenzwert betragsmäßig größer als der erste Grenzwert ist.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 4–10, dadurch gekennzeichnet, dass der numerische Wert der Helligkeitsabweichung (ΔY), der Farbabweichung (ΔI , ΔQ) oder des Gesamtfarbabstandes (ΔE) derjenigen Elemente einer Datenreihe eines Unterbereichs, die betragsmäßig einen dritten vorgegebenen Grenzwert überschreiten, vor Berechnung des Trends und/oder des Trendwerts durch einen numerischen Wert interpoliert wird, der unter Berücksichtigung der Helligkeitsabweichung (ΔY), der Farbabweichung (ΔI , ΔQ) oder dem Gesamtfarbabstand (ΔE) mindestens eines benachbarten Elements der Datenreihe des Unterbereichs gebildet ist.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass dritte Grenzwert betragsmäßig kleiner als der zweite Grenzwert ist und/oder der dritte Grenzwert betragsmäßig größer als der erste Grenzwert ist.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass jeweils eine Fläche von mindestens 100 cm² der lackierte Fläche auf den zweidimensionalen, orts aufgelösten Empfänger abgebildet wird.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens 50% der lackierten Oberfläche der Vielzahl von Unterbereichen zugeordnet wird.

Es folgen 17 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

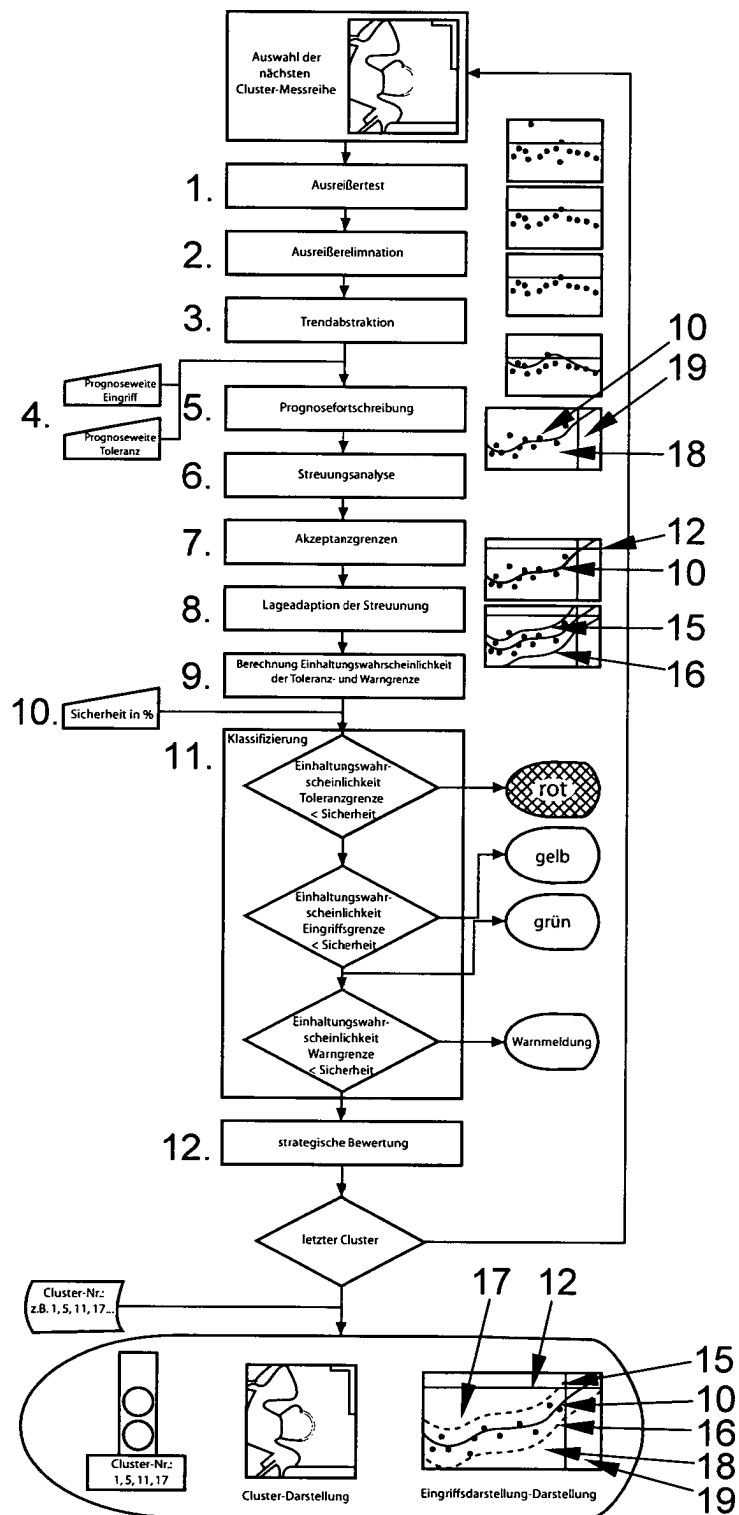


FIG. 1a

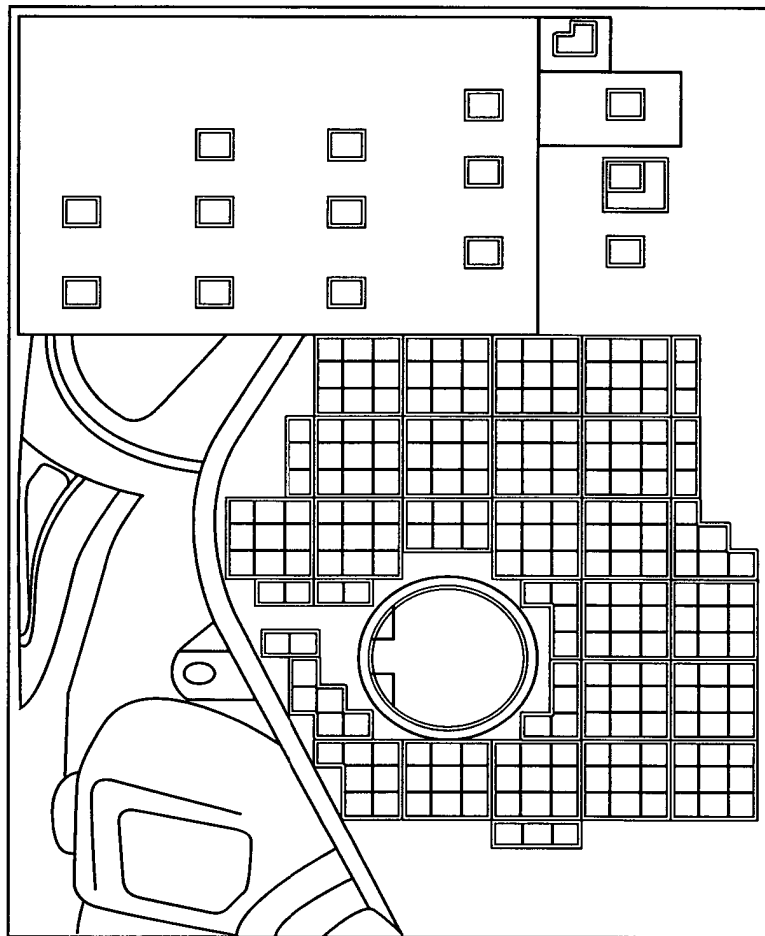


FIG. 1b

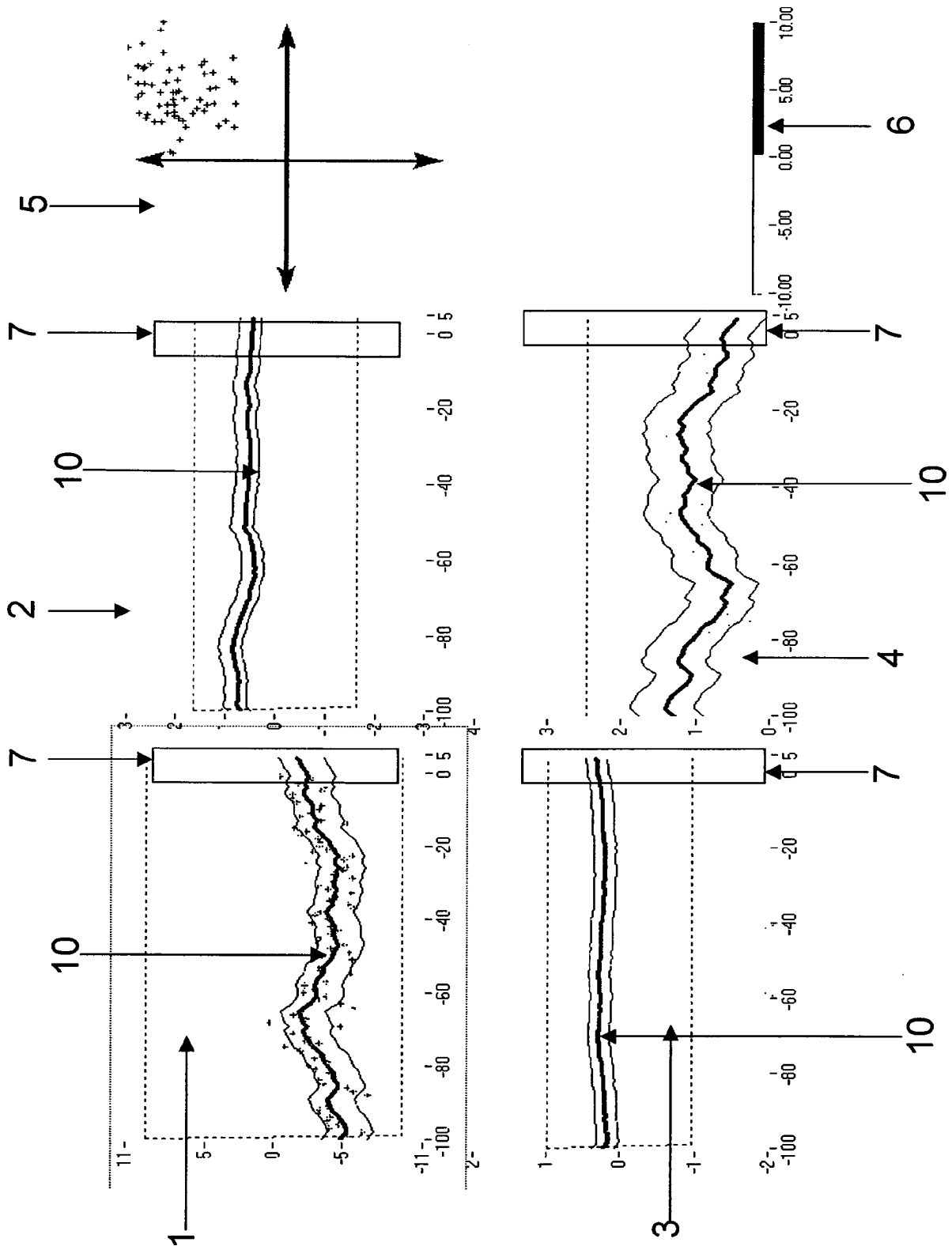


Fig. 2a

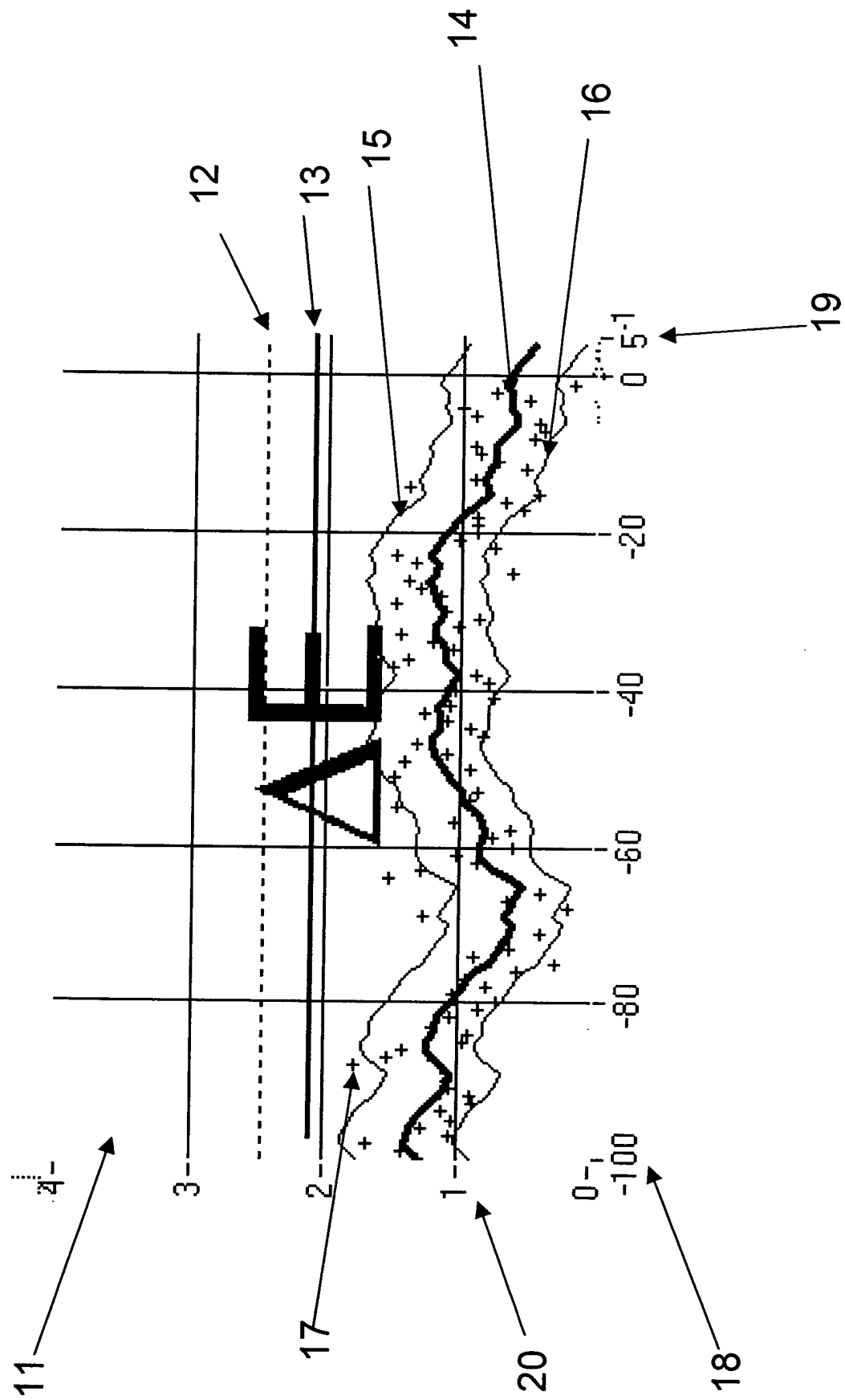


Fig. 2b

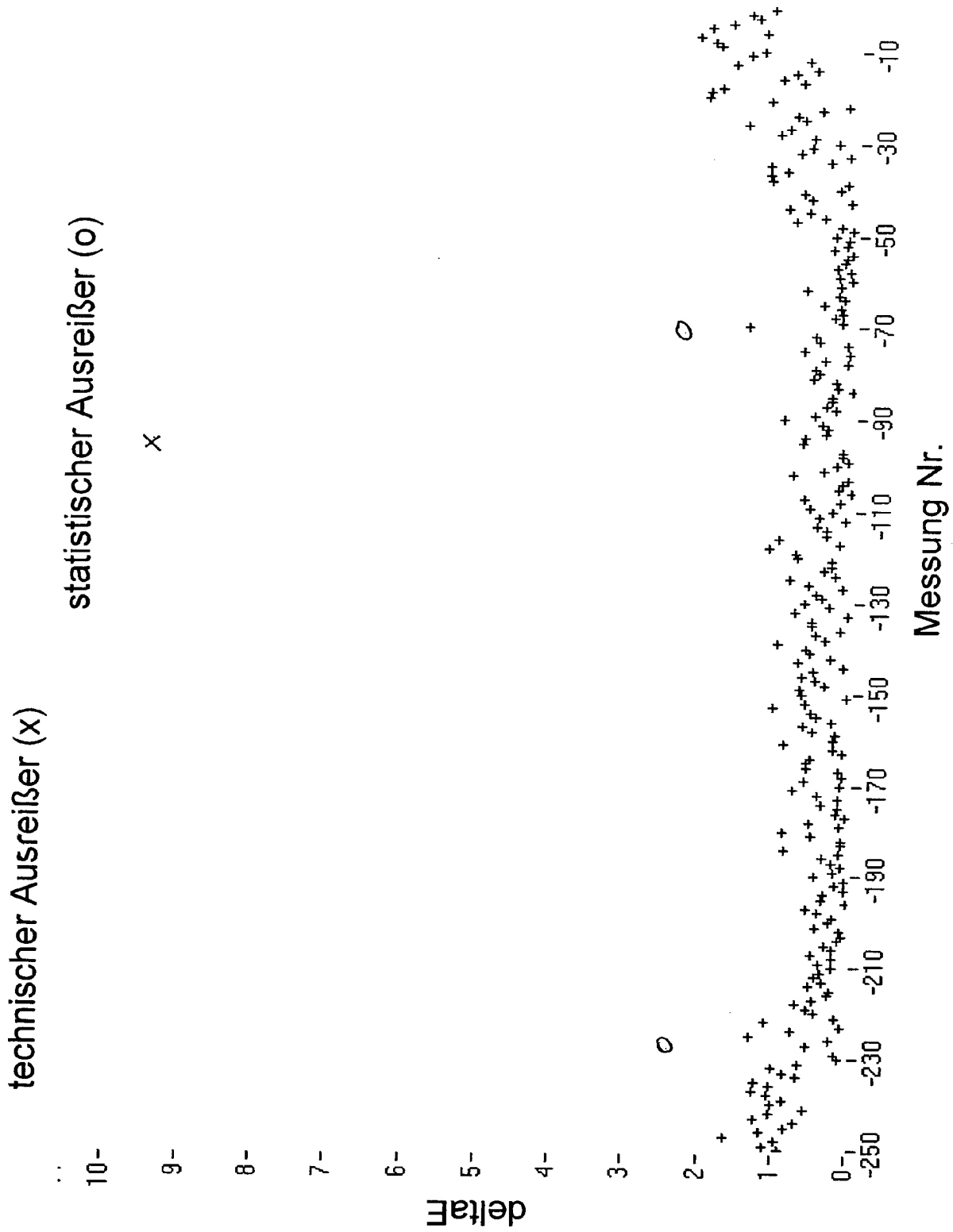


Fig. 3

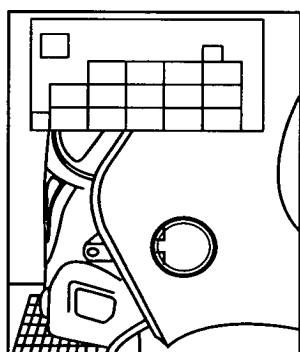


FIG. 4b

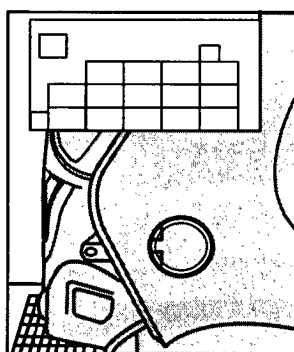


FIG. 4a



FIG. 4d

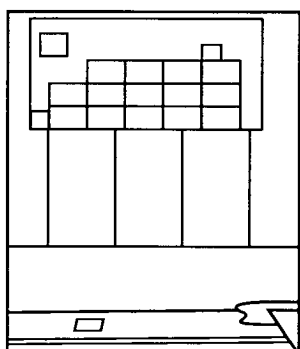


FIG. 4c

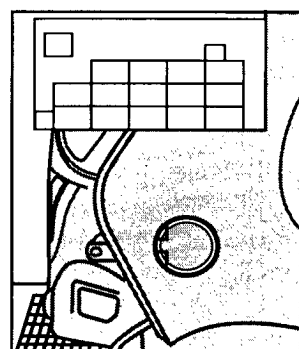


FIG. 4e

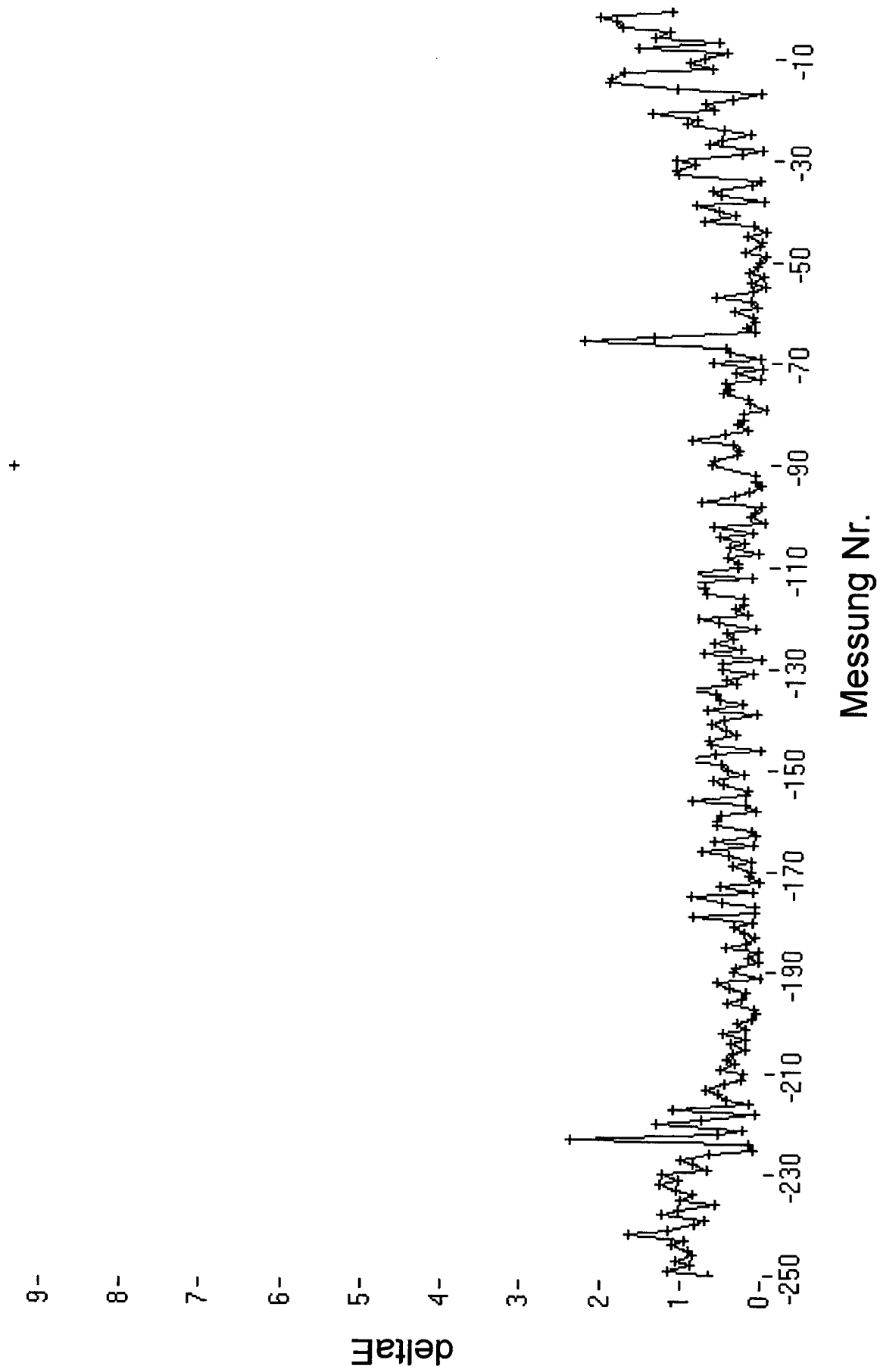


Fig. 5

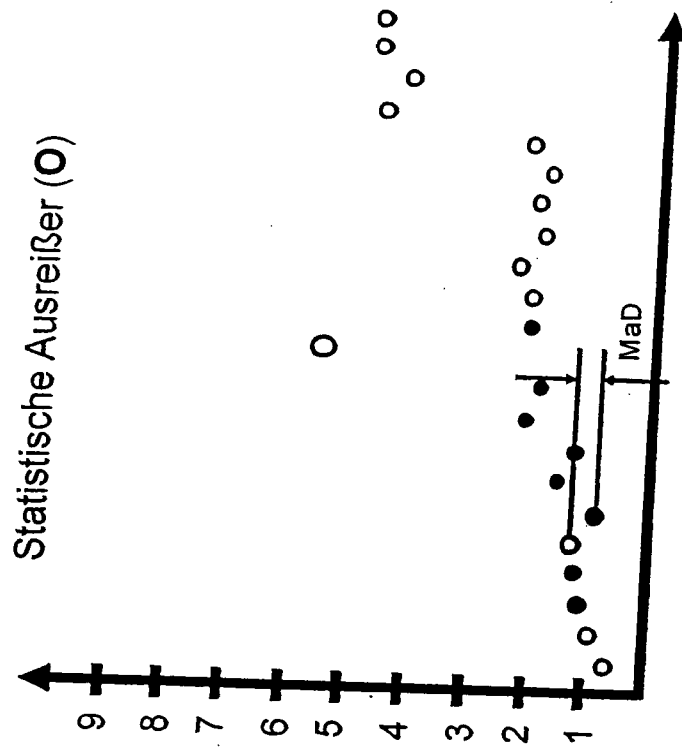


Fig. 6a

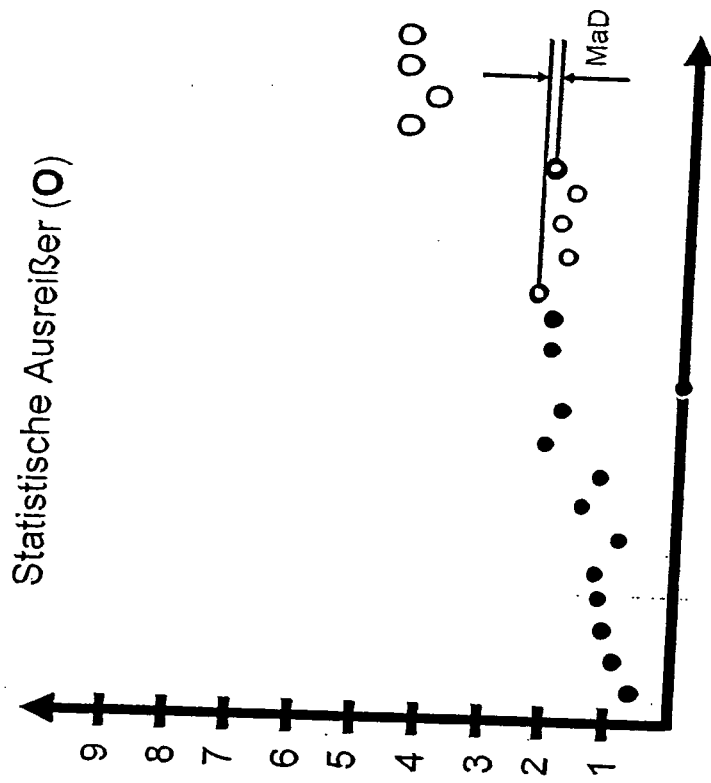


Fig. 6b

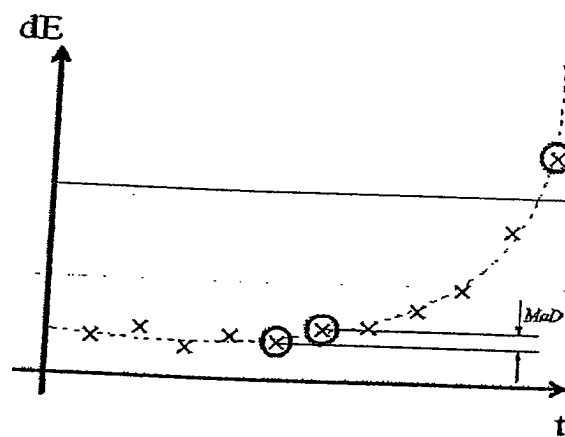


Fig. 7a

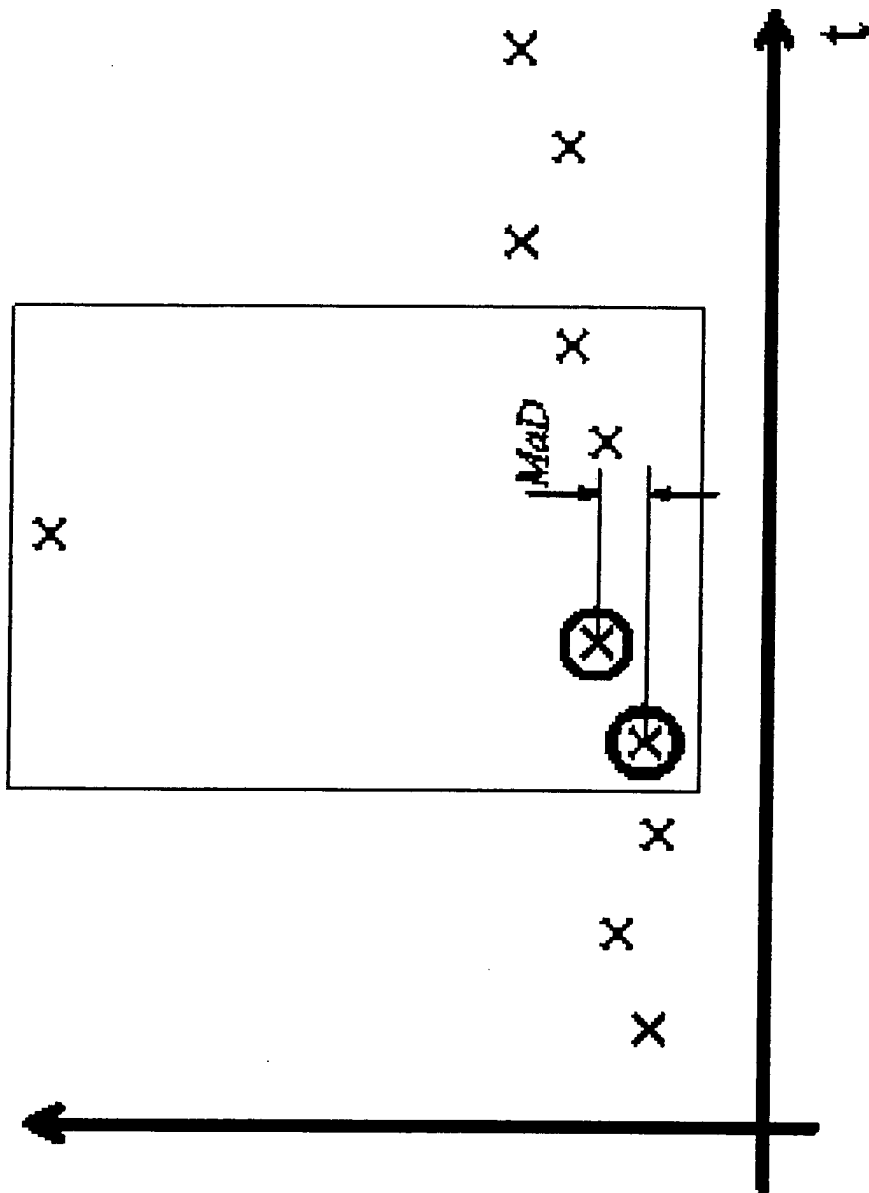


Fig. 7b

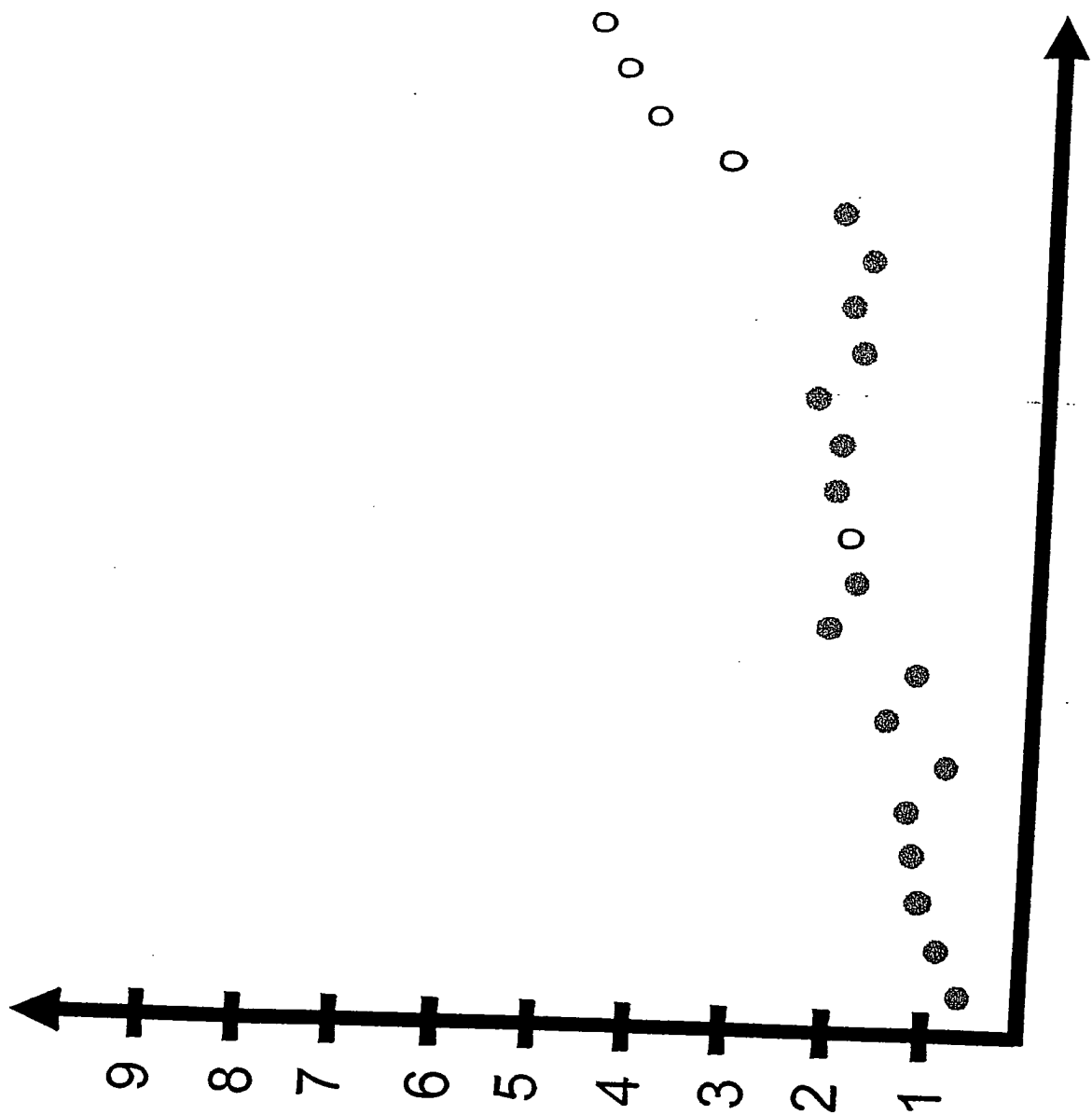


Fig. 8

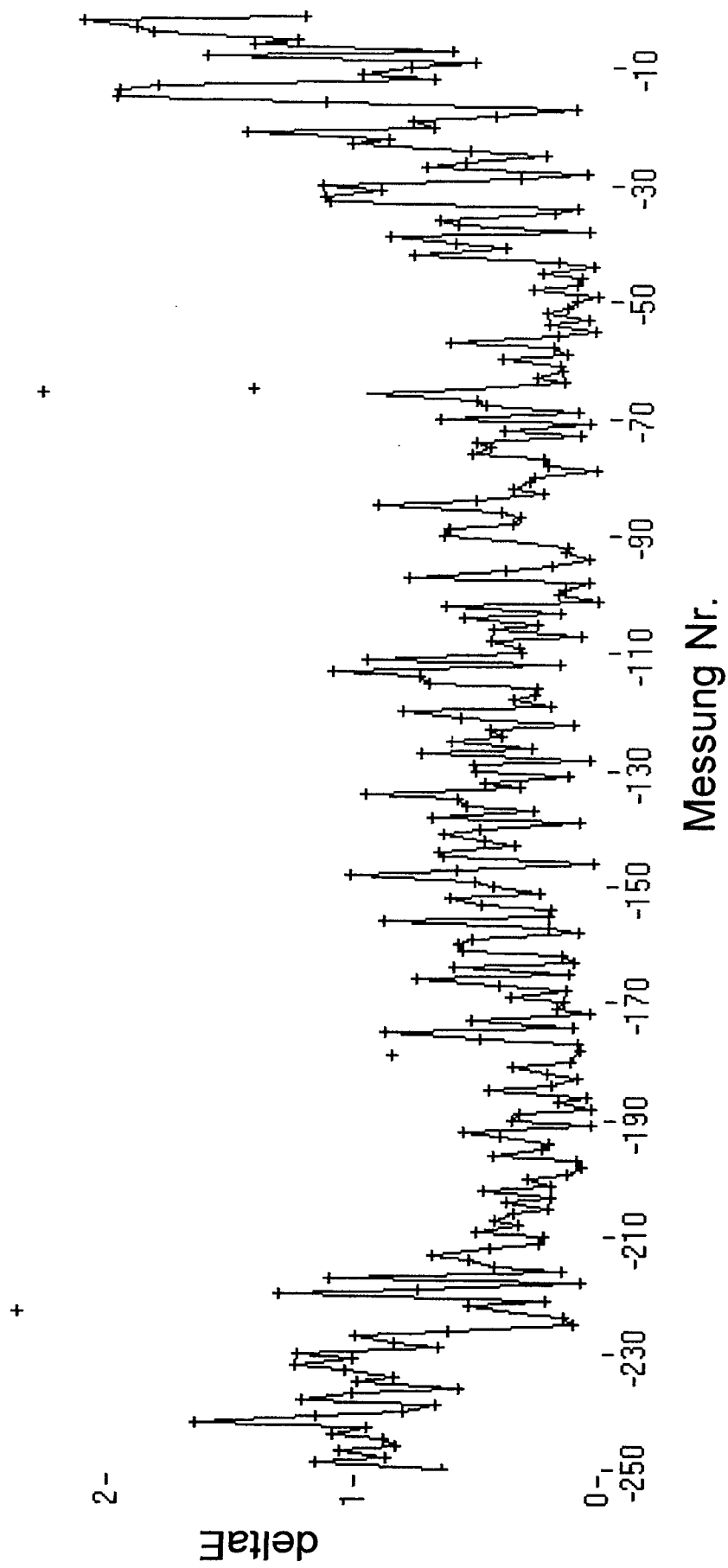


Fig. 9

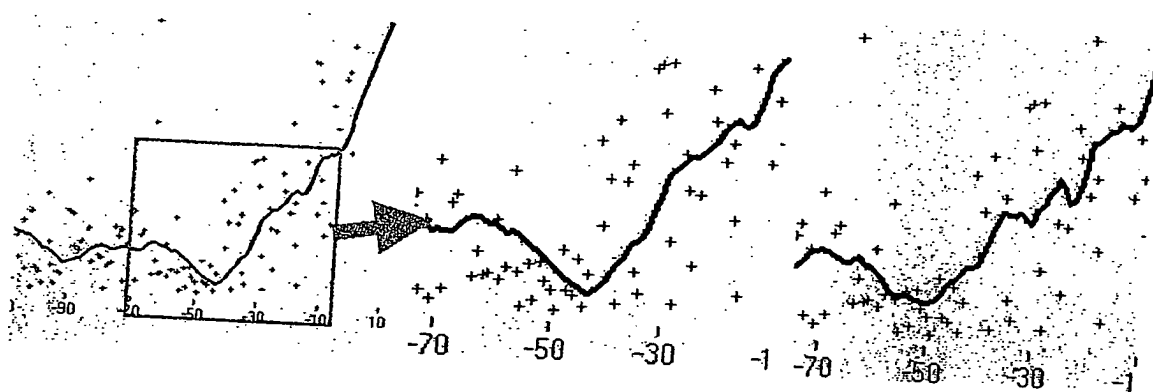


Fig. 10a

Fig. 10b

Fig. 10c

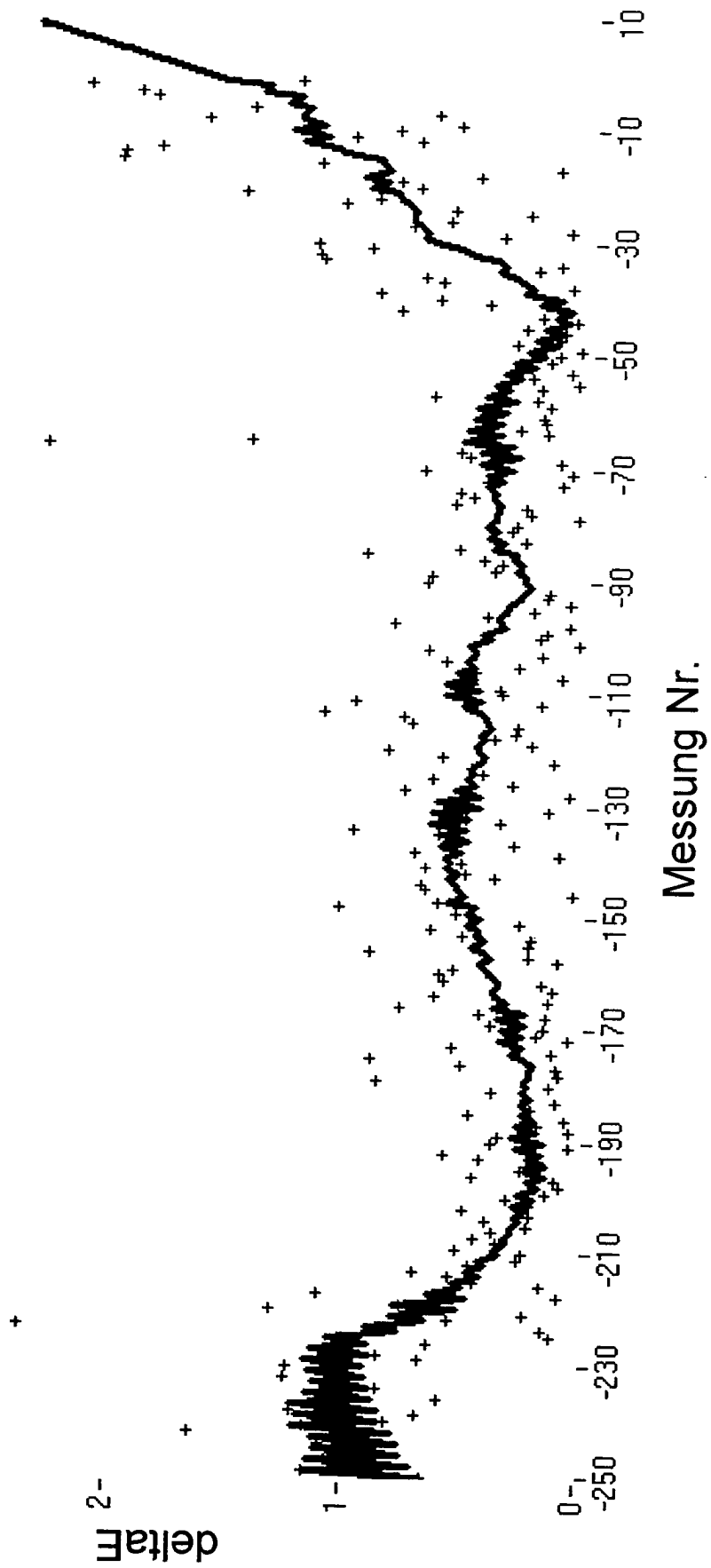


Fig. 11a

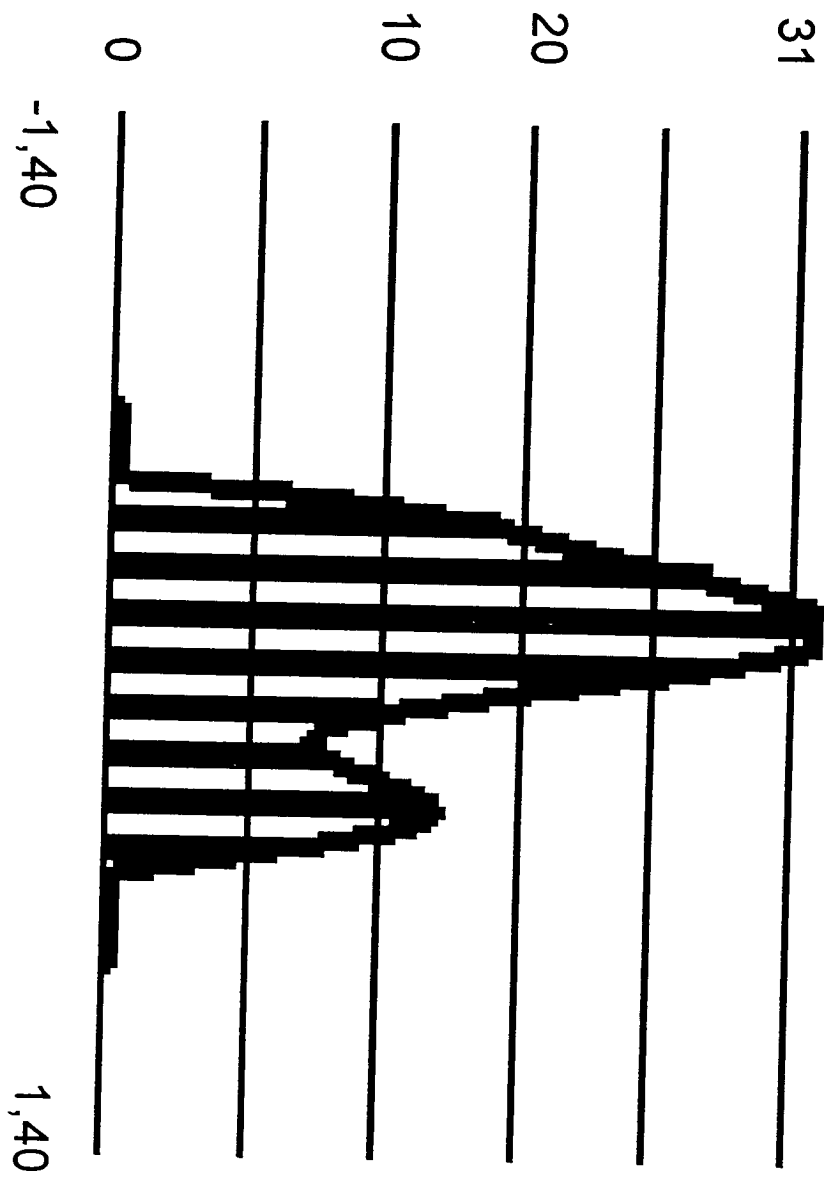


Fig. 11b

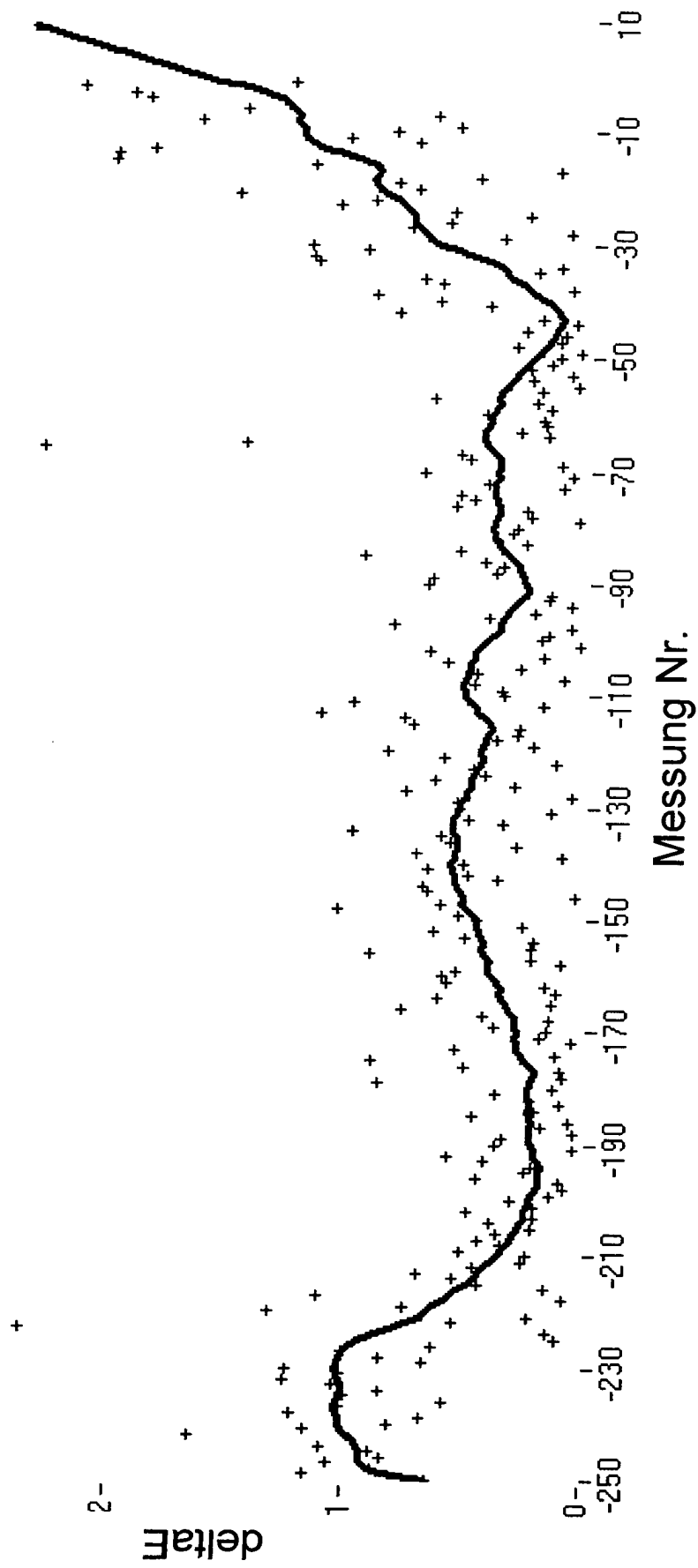


Fig. 12a

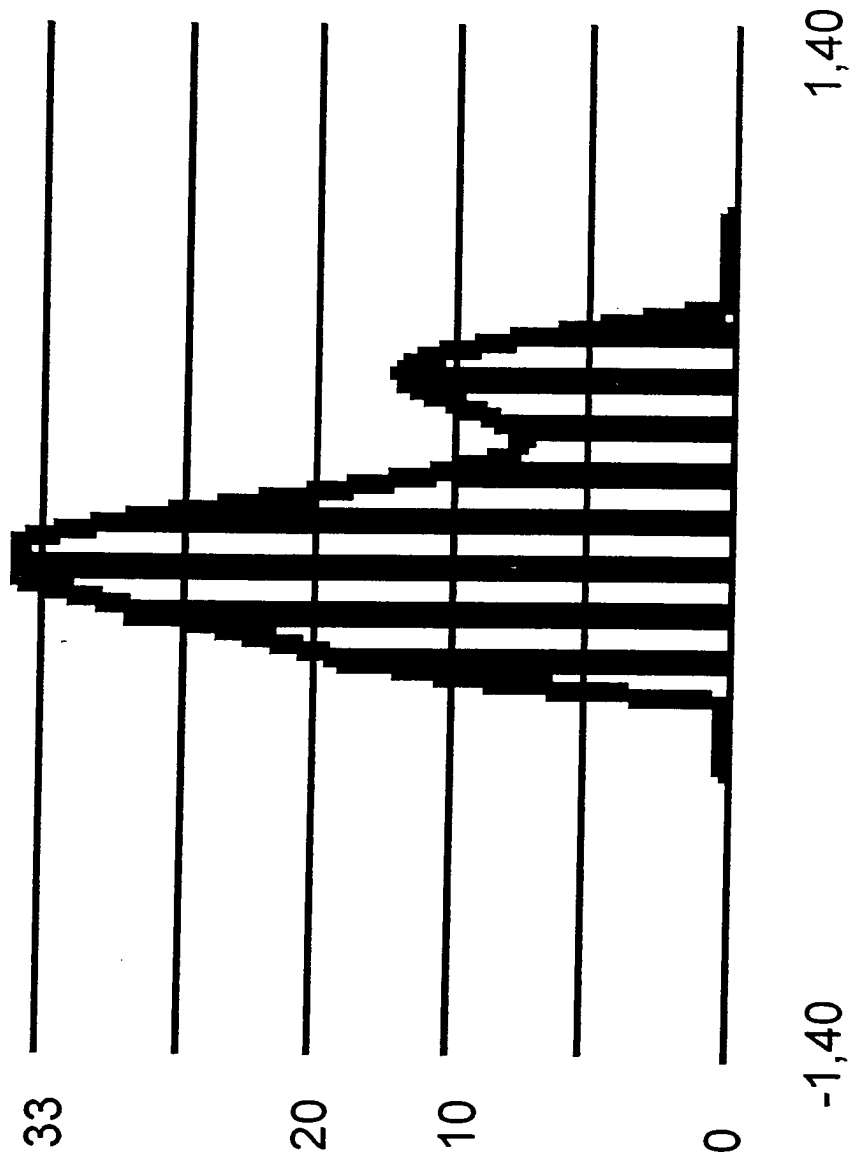


Fig. 12b