

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges

Eigentum

Internationales Büro



(43) Internationales

Veröffentlichungsdatum

16. März 2017 (16.03.2017)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer

WO 2017/042064 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G01N 21/55 (2006.01) G01N 21/59 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2016/070469

(22) Internationales Anmeldedatum:

31. August 2016 (31.08.2016)

(25) Einreichungssprache:

Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache:

Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

10 2015 217 091.8

7. September 2015 (07.09.2015)

DE

(71) Anmelder: FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR  
FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG  
E.V. [DE/DE]; Hansastraße 27c, 80686 München (DE).

(72) Erfinder: GRUBER, Florian; Robert-Matzke-Str. 44,  
01127 Dresden (DE). GRÄHLERT, Wulf; Herkulesstr.  
22, 01277 Dresden (DE). WOLLMANN, Philipp;  
Saarplatz 5, 01189 Dresden (DE).

(74) Anwalt: PFENNING, MEINIG & PARTNER MBB; An  
der Frauenkirche 20, 01067 Dresden (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,

AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,  
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,  
DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,  
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP,  
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME,  
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,  
OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA,  
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,  
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM,  
ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,  
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,  
SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG,  
KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH,  
CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE,  
IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,  
RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,  
GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz  
3)

(54) Title: ASSEMBLY FOR DETERMINING THE ACHIEVABLE ADHESIVE STRENGTH BEFORE FORMING AN  
INTEGRAL CONNECTION TO A SURFACE OF A JOIN PARTNER

(54) Bezeichnung : ANORDNUNG ZUR BESTIMMUNG DER ERREICHBAREN HAFTFESTIGKEIT VOR AUSBILDUNG  
EINER STOFFSCHLÜSSIGEN VERBINDUNG AN EINER OBERFLÄCHE EINES FÜGEPARTNERS

(57) Abstract: In an assembly for determining the achievable adhesive strength before forming an integral connection to a surface of a join partner, multiple detectors, designed for location-resolved spectral analysis of electromagnetic radiation within a wavelength interval, are provided and connected to an electronic evaluation unit. The detectors can detect radiation which is emitted from a broadband radiation source and which impinges on said detectors after being reflected by the surface of the join partner, and/or after irradiating the join partner that is transparent for electromagnetic radiation. In addition, a laterally and temporally homogeneous intensity of the electromagnetic radiation is to be observed. The join partner is formed of a material that does not absorb 100% of the respective electromagnetic radiation, and a transmittance and/or reflection is thereby possible. The electronic evaluation unit is designed in such a way that the location- and wavelength-resolved detected measurement signals of the detectors can be detected within a wavelength interval for an individual location point arranged on a predetermined surface, and measurement signals detected at multiple positions can each be assigned to a sub-region of the detected surface (hypercube). A data reduction can be carried out for all measurement signals of the sub-regions. Based on these selected characteristics, a statement relating to a corresponding adhesive strength can be achieved using a regression module stored in the storage means.

(57) Zusammenfassung: Bei der Anordnung zur Bestimmung der erreichbaren Haftfestigkeit vor Ausbildung einer stoffschlüssigen Verbindung an einer Oberfläche eines Fügepartners sind mehrere Detektoren, die zur ortsaufgelösten spektralen Analyse elektromagnetischer Strahlung innerhalb eines Wellenlängenintervalls ausge bildet sind, vorhanden angeordnet und mit einer elektronischen Auswerte einheit verbunden. Sie können von einer breitbandigen Strahlungsquelle emittierte Strahlung einer Reflexion an der Oberfläche eines der Fügepartner, einer und/oder nach dem Durchstrahlen der für die elektromagnetische Strahlung transparenten Fügepartner auf die Detektoren auftrifft, detektieren. Dabei soll eine lateral

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2017/042064 A1



---

und zeitlich homogene Intensität der elektromagnetischen Strahlung eingehalten sein. Der Fügepartner ist aus einem Werkstoff gebildet, der die jeweilige elektromagnetische Strahlung nicht 100 %-ig absorbiert und so eine Transmission und/oder Reflexion möglich ist. Die elektronische Auswerteeinheit ist so ausgebildet, dass die orts- und wellenlängenaufgelöst erfassten Messsignale der Detektoren innerhalb eines Wellenlängenintervalls für einzelne Ortspunkte, die auf einer vorgebbaren Fläche angeordnet sind, erfassbar sind und an mehreren Positionen erfassste Messsignale jeweils einem Teilbereich der detektierten Fläche (Hypercube) zuordnenbar sind. Für alle Messsignale der Teilbereiche ist eine Datenreduzierung durchführbar. Anhand dieser selektierten Merkmale ist mit eines im Speicher abgelegten Regressionsmodells eine Aussage über eine dementsprechende Haftfestigkeit erreichbar.

Anordnung zur Bestimmung der erreichbaren Haftfestigkeit vor Ausbildung einer stoffschlüssigen Verbindung an einer Oberfläche eines Fügepartners

5

Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur Bestimmung der erreichbaren Haftfestigkeit vor Ausbildung einer stoffschlüssigen Verbindung an einer Oberfläche eines Fügepartners. Fügepartner können dabei stoffschlüssig durch Kleben, Schweißen oder Löten miteinander verbunden werden. Dabei können ebenso Fügepartner miteinander verbunden sein, die beide aus dem gleichen Werkstoff, insbesondere Kunststoffe, Metalle oder Keramiken oder von denen mindestens ein Fügepartner aus einem Polymer gebildet ist. Es können so auch Fügepartner aus unterschiedlichen Werkstoffen untersucht werden, bevor die stoffschlüssige Verbindung hergestellt wird. Mit der Erfindung kann aber auch die erreichbare Haftfestigkeit einer Beschichtung, die auf der Oberfläche eines Bauteils, das nachfolgend ebenfalls als Fügepartner bezeichnet werden soll, bestimmt werden, bevor die Beschichtung ausgebildet wird.

10

15

Dabei kann man unter Haftfestigkeit die erreichbare Adhäsionswirkung verstehen.

- 5 Bisher ist es üblich, solche Haftfestigkeiten bevorzugt mittels Keiltest nach DIN 65448, aber auch mittels Abzugstest nach ISO 4624, Winkelschälversuch nach DIN 53282, Zugfestigkeit nach DIN 53288, Rollenschälversuch nach DIN 53289 und weiteren Prüfverfahren zu prüfen. Entsprechende Proben können damit aber erst nach der Ausbildung der stoffschlüssigen Verbindung und deren Verfestigung geprüft werden, was ebenso wie die eigentliche Prüfung mehrere Tage dauern kann. Dadurch ist eine Prüfung unmittelbar während der Fertigung nicht möglich. Außerdem handelt es sich um Verfahren, bei dem die Proben zerstört werden müssen.
- 10
- 15 Die Haftfestigkeit von Beschichtungen wird üblicherweise mittels Tape-Test ermittelt. Dieser kann erst nach der Ausbildung der Beschichtung durchgeführt werden. Eine Vorhersage ist daher nicht möglich. Außerdem wird die Beschichtung zerstört und das jeweilige Substrat zumindest beeinträchtigt.
- 20 Es ist daher Aufgabe der Erfindung, Möglichkeiten für die zerstörungsfreie Bestimmung der erreichbaren Haftfestigkeit vor Ausbildung einer stoffschlüssigen Verbindung an einer Oberfläche eines Fügepartners anzugeben, die in deutlich verkürzter Zeit zu Ergebnissen mit ausreichender Genauigkeit führen und somit sogar für eine inline Messung in Fertigungsprozessen einsetzbar sind.
- 25
- 30 Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe mit einer Anordnung, die die Merkmale des Anspruchs 1 aufweist, gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung können mit in untergeordneten Ansprüchen bezeichneten Merkmalen realisiert werden.
- 35 Die erfindungsgemäße Anordnung zur Bestimmung der erreichbaren Haftfestigkeit vor Ausbildung einer stoffschlüssigen Verbindung an der Oberfläche eines Fügepartners weist mehrere Detektoren auf, die zur ortsaufgelösten spektralen Analyse elektromagnetischer Strahlung innerhalb eines Wellenlängenintervalls ausgebildet sind. Diese Detektoren sind dazu in

einer Reihen- oder einer Reihen- und Spaltenanordnung angeordnet. Die Detektoren sind mit einer elektronischen Auswerteeinheit verbunden und so angeordnet, dass von einer breitbandigen Strahlungsquelle emittierte elektromagnetische Strahlung entweder nach einer Reflexion an der Oberfläche eines der Fügepartner, einer auf der Oberfläche eines Fügepartners ausgebildeten Schicht, mit der die stoffschlüssige Verbindung ausgebildet ist, und/oder nach dem Durchstrahlen von für die elektromagnetische Strahlung transparenten Fügepartnern auf die Detektoren auftrifft. Dabei erfolgt die Bestrahlung so, dass auf einer Fläche, von der die elektromagnetische Strahlung reflektiert oder durch die Fläche transmittiert wird, eine homogene Intensität der elektromagnetischen Strahlung eingehalten ist. Die jeweils gleichzeitig zu detektierende Fläche soll also mit homogener Intensität bestrahlt werden. Bei der breitbandigen Bestrahlung werden elektromagnetische Wellen, die innerhalb eines Wellenlängenintervalls liegen, auf die jeweilige Oberfläche eines der Fügepartner gerichtet, die untersucht werden soll.

Der Fügepartner oder eine auf der Oberfläche ausgebildete Beschichtung, auf dessen/deren Oberfläche die elektromagnetische Strahlung gerichtet ist, ist aus einem Werkstoff gebildet, der die jeweilige elektromagnetische Strahlung nicht 100 %-ig absorbiert und so eine mindestens 2%-ige Transmission und/oder Reflexion der elektromagnetischen Strahlung möglich ist/sind.

Die elektronische Auswerteeinheit ist so ausgebildet, dass die durch die Detektoren orts- und wellenlängenaufgelöst erfassten Messsignale innerhalb eines Wellenlängenintervalls einem bestimmten Wellenlängenbereich sowie innerhalb eines vorgebbaren Teilbereiches der bestrahlten Oberfläche einem einzelnen Ortspunkt jeweils zuordenbar sind.

Die Erfassung und Auswertung kann dabei auf der gesamten Oberfläche der zum stoffschlüssigen Fügen genutzten Oberfläche des Fügepartners oder aller Fügepartner erfolgen. Es besteht aber auch die Möglichkeit eine Bestimmung an einer oder mehreren Teilflächen durchzuführen.

Die Gesamtheit der an allen Ortspunkten der jeweiligen bestrahlten Fläche wellenlängenaufgelöst erfassten Intensitäten bildet eine dreidimensionale

Datenstruktur, bestehend aus einer wellenlängenaufgelösten und zwei orts- aufgelösten Dimensionen, ab (Hypercube).

Danach soll für alle wellenlängenaufgelöst erfassten Messsignale des Teilbereiches eine Datenreduzierung durchführbar sein, bei der aussagekräftige

5 Merkmale selektiert werden und der daraus resultierende Merkmalssatz unter Verwendung eines in einem elektronischen Speicher abgelegten Regressionsmodells, das anhand von Merkmalssätzen ermittelt wurde, die vorher an Proben ermittelt worden sind, deren Haftfestigkeiten mit einem anderen

10 Messverfahren, das bevorzugt eine höhere Messgenauigkeit aufweist, ermittelt wurden, einem Regressionsverfahren unterzogen wird, wodurch eine Aussage über die Haftfestigkeit des betreffenden Teilbereiches der Fügeverbindung ableitbar ist, wobei mindestens ein Teilbereich zur Bewertung der Haftfestigkeit herangezogen wird.

15 Eine mit der Erfindung untersuchte stoffschlüssige Verbindung von Fügepartnern sollte zur gleichen Klasse, die einen vergleichbaren Aufbau oder Zusammensetzung aufweisen sollte, wie die vorab mit einem anderen Messverfahren untersucht worden sind, gehören.

20 Der funktionale Zusammenhang zwischen adäquat selektierten Merkmalssätzen von stoffschlüssig miteinander verbundenen Fügepartnern und deren Haftfestigkeiten, die mit einem anderen Messverfahren ermittelt wurden, kann beispielsweise mittels linearer oder nicht-linearer Regression, einem 25 Partial-Least-Square-Algorithmus (PLS), einem neuronalen Netzwerk, einer Kombination von mindestens zwei dieser Verfahren oder anderen Regressionsverfahren (Regressionsmodell) bestimmt werden können.

30 In dem elektronischen Speicher sollte also das Regressionsmodell, das anhand der mit der erfindungsgemäßen Anordnung erfassten Datensätze von Proben, die der Datenreduktion und Merkmalsextraktion unterzogen wurden und deren - mit einem anderen Messverfahren ermittelten – Haftfestigkeiten, erstellt wurde, enthalten sein. Anhand eines im elektronischen Speicher gespeicherten Regressionsmodells, kann aus den mit der erfindungsgemäßen Anordnung ermittelten Datensätzen die Haftfestigkeit einer vergleichbar

untersuchten Probe der gleichen Probenklasse mit vergleichbarem Aufbau bestimmt werden.

Die elektronische Auswerteeinheit nimmt die Datenreduzierung und Merkmalsextraktion der mit der erfindungsgemäßen Anordnung ermittelten Datensätze vor. Dabei kann zunächst eine Auswertung der spektralen Informationen und anschließend der Ortsinformationen erfolgen. Möglich ist auch eine dazu umgekehrte Reihenfolge oder eine beliebige Kombination von mehr als zwei einzelnen Schritten zur Datenreduzierung und Merkmalsextraktion.

10

Die Datenreduzierung und Merkmalsextraktion kann mittels Hauptkomponentenanalyse (PCA), Parametrisierung von Texturinformationen, Mittelwertbildung und/oder Bestimmung der Standardabweichung und Kombinationen davon erfolgen.

15

Im Falle der Verwendung der Hauptkomponentenanalyse werden die  $n$  Intensitäten der Wellenlängen (Spektren) aller Ortspunkte durch eine Koordinatentransformation in ein neues orthogonales Koordinatensystem – dem Hauptkomponentenraum – überführt, in dem die ursprünglichen Daten maximale Varianz besitzen, und wobei  $n$  die Anzahl der gemessenen Wellenlängen repräsentiert.

20

Die Koordinatentransformation errechnet sich durch die Bestimmung der  $n$  Eigenvektoren (Hauptkomponenten) und der dazugehörigen  $n$  Eigenwerte der Covarianzmatrix des Datensatzes der gemessenen Teilfläche. Je größer der  $n$ -te Eigenwert ist, umso mehr beschreibt die entsprechende  $n$ -te Hauptkomponente die ursprünglich Varianz, d.h. der Eigenvektor mit dem größten Eigenwert ist die 1. Hauptkomponente des Datensatzes und beschreibt den Großteil der ursprünglichen Varianz des Datensatzes. Der Eigenvektor mit dem niedrigsten Eigenwert ist die  $n$ -te Hauptkomponente des Datensatzes und beschreibt keine relevanten Eigenschaften des Datensatzes. Es wird nur eine bestimmte Anzahl Hauptkomponenten berücksichtigt - oft die ersten drei bis sechs, die bereits eine hinreichende Beschreibung - beispielsweise > 95 % - der ursprünglichen Varianz des Datensatzes gewährleisten. Die Anzahl der zu berücksichtigenden Hauptkomponenten –

25

30

35

und somit die Dimensionalität des Hauptkomponentenraumes – kann Kriterien-gestützt beispielsweise anhand des Anteils an der Gesamtvarianz oder eines Scree-Tests gewählt werden.

5 Die Koordinaten der Spektren im neu aufgespannten Hauptkomponentenraum sind die sogenannten Score-Werte (Punktzahl), welche hinreichend den entsprechenden Ortspunkt charakterisieren.

10 Mit der elektronischen Auswerteeinheit kann vorteilhaft die Datenreduktion und Merkmalsextraktion so erfolgen, dass die erfindungsgemäß erfassten Daten auf gleichem Wege wie die Daten der Proben, anhand derer bekannten Haftfestigkeiten das Regressionsmodell erstellt wurde, ausgewertet werden. Anhand des erfindungsgemäß erfassten Datensatzes, der orts- und wellenlängenaufgelöst erfassten Intensitäten der elektromagnetischen Strahlung, wird 15 anschließend unter Verwendung des Regressionsmodells die Haftfestigkeit der Probe bestimmt.

Bei der Auswertung der erfindungsgemäß erfassten Daten kann bevorzugt wie folgt vorgegangen werden:

20 Variante a) Mit einer Hauptkomponentenanalyse der spektralen Informationen aller Ortspunkte der Teilfläche werden bevorzugt die ersten sechs Hauptkomponenten einschließlich der Score-Werte ermittelt. Da die erfindungsgemäß erfassten Daten alle Ortspunkte einer untersuchten Fläche repräsentieren, kann die flächige Verteilung der Scorewerte pro Hauptkomponente angegeben werden. Die Quantifizierung der unterschiedlichen flächigen Verteilung der Scorewerte erfolgt dabei durch verschiedene statistische Parameter, die 25 anhand aller Scorewerte einer Hauptkomponente der jeweiligen Teilfläche bestimmt werden. Insbesondere sind dies die Varianz, der Interquantilabstand oder die mittlere absolute Abweichung. Dieses Vorgehen kann für alle Hauptkomponenten angewendet werden. Die Bestimmung der Haftfestigkeit erfolgt durch die elektronische Auswerteeinheit auf Grundlage eines Regressionsmodells, wie z.B. ein Partial-Least-Square Regressionsmodell (PLS), wobei die Parameter ggf. einer weiteren vorherigen Merkmalsextraktion, bevorzugt über 30 eine weitere Hauptkomponentenanalyse (PCA)- unterworfen wurden.

Das dabei verwendete Regressionsmodell (hier PLS) wurde vorher anhand von Proben der gleichen Probenklasse mit vergleichbarem Aufbau, deren Haftfestigkeiten mit einem anderen Messverfahren bestimmt wurden, ermittelt, wobei alle Schritte der Merkmalsextraktion analog dem oben beschriebenen Verfahren durchgeführt wurden.

5 Variante b) Über eine Hauptkomponentenanalyse der spektralen Information aller erfassten Ortspunkte der jeweiligen untersuchten Teilfläche wird eine oder mehrere Hauptkomponente(n), insbesondere die Score-Werte der Orts-  
10 punkte pro Hauptkomponente berechnet, die über die Probe flächig verteilt angegeben werden können. Die Ortspunkte können dabei durch verschiedene Parameter der Scorewerte beschrieben werden und als bildhafte Darstellung wiedergegeben werden. Neben dem eigentlichen Score-Wert kann dies auch insbesondere durch die Parameter, die sich aus einer Texturanalyse der orts-  
15 aufgelösten Verteilung der Score-Werte ergeben, erreicht werden. Dafür wird bevorzugt eine diskrete Wavelet-Transformation (DWT) eingesetzt, wobei beispielsweise das „Sym2“-Wavelet zur Durchführung der Berechnungen eingesetzt wird, und eine anschließende Berechnung weiterer Parameter, z.B. der Energie-Signatur (Quadratsumme) der Wavelet-Parameter, durchgeführt  
20 wird. Für die weitere Merkmalsextraktion und somit zur Bestimmung des Merkmals „Haftfestigkeit“ der Teilfläche können die berechneten Parameter, die an der untersuchten Oberfläche des Fügepartners ermittelt werden, an-  
hand eines Regressionsmodells, insbesondere eines linearen Regressionsmo-  
dells, ermittelt werden. Das dabei verwendete Regressionsmodell wurde vor-  
25 her anhand von Proben der gleichen Probenklasse mit vergleichbarem Aufbau und Eigenschaften, deren Haftfestigkeiten mit einem anderen Messverfahren bestimmt wurden, ermittelt, wobei alle Schritte der Merkmalsextraktion ana-  
log dem oben beschriebenen Verfahren durchgeführt wurden.

30 Im Fall der Verwendung der diskreten Wavelet-Transformation kann die Tex-  
tur mindestens eines mit den Detektoren erfassten Bildes, insbesondere wie-  
derkehrende Strukturen (Frequenzen), beschrieben werden. Die Wavelet-  
Transformation (WT) entspricht einer digitalen Filterung nach Hochpass- und  
Tiefpass-Frequenzen, wobei die Filterfunktion (Wavelet) variabel gewählt  
35

- werden kann und der Frequenzgang richtungsabhängig ist. Somit ergibt die Durchführung der WT an Bildern oder bildhaften Darstellungen in vertikaler, horizontaler und diagonaler Richtung unterschiedliche Ergebnisse. Es kann eine Berechnung aller drei Richtungen separat erfolgen. Das Ergebnis wird 5 durch die Tiefpass-Information (Wavelet-Koeffizienten) bestimmt und die restliche Information verworfen, jeder Bildpunkt repräsentiert dabei einen Wavelet-Koeffizienten, und alle Bildpunkte gemeinsam die Wavelet-Matrix. Zusätzlich wird bei Durchführung der WT die Ortsauflösung reduziert und Informationen abgetrennt. Das Abtrennen der Information bedeutet, dass für 10 eine Anzahl von ursprünglich  $m$  Bildpunkten nach der WT noch  $m*0,5$  Bildpunkte erhalten werden. Die WT kann mehrfach rekursiv durchgeführt werden. Dies kann in drei Stufen erfolgen, um Informationen zur Fein-, Mittelfein- und Grobstruktur der Bilder zu erhalten. Es sind aber auch mehr als oder weniger als drei Stufen möglich. Aus den Wavelet-Koeffizienten jeder WT können 15 zur Beschreibung von Strukturen der Wavelet-Matrix bzw. deren bildhafter Abbildung weitere Parameter bestimmt werden, oft werden dabei die Wurzel der Quadratsumme der Koeffizienten der Wavelet-Matrix (Energie), die Entropie und die Grauwertmatrix und davon abgeleitete Parameter genutzt.
- 20 Ein untersuchter Teilbereich sollte eine Größe im Bereich 500 µm x 500 µm bis 1500 µm x 1500 µm aufweisen. Es sollte eine Detektion mit einer Ortsauflösung im Bereich 0,5 µm bis 1,5 µm, bevorzugt bei 1 µm durchführbar sein.
- 25 In einer Reihe sollten dabei mindestens 30, bevorzugt mindestens 100 Detektoren angeordnet sein (Hyperspektral-Kamera).
- In einer Spalte sollten mindestens eine, bevorzugt mindestens 50 Detektoren angeordnet sein.
- 30 Für eine erfindungsgemäße Anordnung kann eine Hyperspektral-Kamera mit geeigneten strahlungsformenden optischen Elementen und einer elektronischen Auswertelektronik eingesetzt werden.
- 35 Die Bestrahlung der Fläche sollte mit mindestens einem Winkel im Bereich 0°

bis < 90° in Bezug zur Normalen der Oberfläche auf die die elektromagnetische Strahlung auftrifft erfolgen. Bei einer Durchstrahlung mindestens eines für die elektromagnetische Strahlung transparenten Fügepartners sollte vorteilhaft der Winkel von zumindest nahezu 0° zur Probennormalen eingehalten sein, also die Strahlung möglichst senkrecht auf diese Oberfläche gerichtet werden, um den reflektierten Anteil so klein als möglich zu halten. Die Be- strahlung und Detektion kann auch bei veränderlichem Einfallswinkel der elektromagnetischen Strahlung durchgeführt werden. Wie bereits zum Aus- druck gebracht, können dabei Einfallswinkel im Bereich 0° bis maximal 89° gewählt werden.

Die Detektion kann sich auch auf linear polarisierte elektromagnetische Strah- lung beschränken. In diesem Fall kann eine vorteilhafte Ausrichtung einer oder mehrerer Polarisationsebene(n) vor oder/und nach der bestrahlten Oberfläche gewählt werden.

Insbesondere bei Verwendung von Detektoren, die lediglich eine Linie simultan spektral und ortsaufgelöst messen können, können die Detektoren und die jeweiligen noch nicht stoffschlüssig miteinander verbundenen Fügepart- ner entlang mindestens einer Achse relativ und dabei bevorzugt in einem vor- teilhaften Abstand zueinander bewegt werden. So kann bei statisch fixierten Detektoren und Strahlungsquelle eine, mit einem noch nicht stoffschlüssig verbundenen Fügepartner gebildete, Probe entlang einer Achse bewegt wer- den. Dies kann mit einem entsprechend beweglichen Tisch, auf dem eine sol- che Probe angeordnet ist, die in eine x- und ggf. auch in eine y-Richtung be- bewgt werden kann, erreicht werden. Es ist aber auch die Abwicklung von Rolle zu Rolle möglich, wenn die jeweilige Probe mit einem oder mehreren flexibel verformbaren Werkstoff(en) gebildet ist, und dabei beispielsweise in Form einer Folie vorliegt.

An der Strahlungsquelle können die elektromagnetische Strahlung formende Elemente vorhanden sein. In einer einfachen Ausführung kann die Strahlungs- quelle mit einem Mikroskop kombiniert sein. Es kann aber auch eine Strah- lungsquelle in einem Hohlkörper angeordnet sein, aus dem die elektromagne- tische Strahlung diffus austritt und auf die zu bestrahlende Fläche gerichtet werden kann. Der Hohlkörper kann eine Kugel oder Zylinder sein. Es sollte eine gleichzeitig zu detektierende Fläche homogen bestrahlt

werden können. Bei einer Strahlungsquelle mit strahlformenden optischen Elementen sollten bei der Auswahl der jeweils eingesetzten optischen Elemente, die zur Strahlformung dienen, der genutzte Wellenlängenbereich berücksichtigt werden.

5 Die Größe der zu untersuchenden Teilfläche und die notwendige Ortsauflösung kann durch den Einsatz von den Detektoren vorgelagert angeordneten, die elektromagnetische Strahlung formenden Elementen, beeinflusst werden. In einer einfachen Ausführung kann die Kamera oder Detektoranordnung mit einem Mikroskop oder einem telezentrischen Objektiv kombiniert eingesetzt 10 werden.

Bevorzugt kann im Strahlengang der elektromagnetischen Strahlung eine den Einfall von gestreuter elektromagnetischer Strahlung vermeidende Blende vor den Detektoren angeordnet sein.

15 Von der Strahlungsquelle kann elektromagnetische Strahlung emittiert werden, deren Wellenlängenbereich im UV-Bereich beginnt und im IR-Bereich endet. Besonders bevorzugt ist Strahlung aus dem Wellenlängenbereich des sichtbaren Lichts bis in den NIR-Bereich also von 250 nm bis 1000 nm. Es sollten 20 in einem genutzten Wellenlängenbereich für die Bestrahlung möglichst alle Wellenlängen innerhalb des jeweiligen Intervalls genutzt werden können. Die Grenzen sollten allein durch den Empfindlichkeitsbereich der eingesetzten 25 Detektoren bezüglich ihrer Empfindlichkeit/Messgenauigkeit der mit Ihnen erfassbaren Intensitäten für die jeweiligen Wellenlängen und den optischen Eigenschaften der Strahlführungskomponenten vorgegeben sein. Bevorzugt sollten die Spektralbereiche verwendet werden, die die größte Varianz zwischen den Spektren der Proben zur Ermittlung der Haftfestigkeit aufweisen und einen möglichst kleinen Bestimmungsfehler aufweisen.

30 Es kann im Strahlengang auch mindestens ein Element, mit dem eine gezielte Wahl der Polarisation der elektromagnetischen Strahlung erreichbar ist, vorhanden oder darin integriert sein.

35 Eine Probe von stoffschlüssig miteinander verbundener Fügepartner kann auch ein Mehrschichtaufbau, mehrerer bevorzugt aus unterschiedlichen Materialien oder Werkstoffen gebildeten Schichten, sein. Das Grundmaterial

der Probe kann eine Polymerfolie oder eine dünne Metall- oder Glasfolie auf die weitere dünne Polymer-, Keramik- oder Metallschichten in verschiedener Kombination aufgebracht sein können, sein. Eine Bestimmung der erreichbaren Haftfestigkeit kann auch für mehr als zwei stoffschlüssig zu verbindende Fügepartner erfolgen. Diese können dabei übereinander, beispielsweise in Form eines Stapels angeordnet sein. Wie bereits angesprochen, können Fügepartner durch Kleben stoffschlüssig verbunden sein. Dabei ist ein geeigneter Haftvermittler zwischen den stoffschlüssig verbundenen Oberflächen der Fügepartner vorhanden. Die stoffschlüssige Verbindung kann auch durch Schweißen, mit und ohne Zusatzwerkstoff ausgebildet worden sein. Es kann die erreichbare Haftfestigkeit auch für eine Lötverbindung bestimmt werden. Es kann aber auch eine Bestimmung der zu erwartenden Haftfestigkeit von Beschichtungen, wie z.B. Farbschichten, Kunststoffschichten auf Metall- oder Keramikoberflächen, Beschichtungen die mittels CVD- oder PVD-Verfahren ausgebildet werden, erfolgen.

Die eingesetzten Detektoren und die elektronische Auswerteeinheit sowie ggf. auch die Strahlungsquelle können ein so genanntes bildgebendes Hyperspektral-System darstellen, das bei der erfindungsgemäßen Anordnung genutzt werden kann. Dadurch können neben den spektralen auch Texturinformationen für den jeweils detektierten Teilbereich der Probe erhalten werden.

Vorteilhaft kann eine Reduzierung der Daten, die bei der Detektion an den einzelnen Ortspunkten ermittelten Intensitäten für die einzelnen Wellenlängen eines erfassten Wellenlängenbereichs (Spektrum) ermittelt wurden, bei der eigentlichen Auswertung sein. Dadurch kann eine für die Bestimmung der Haftfestigkeit relevante Information von der nicht relevanten abgetrennt werden, wodurch sich auch der elektronische Rechenaufwand erheblich reduziert und dadurch die erforderliche Zeit ebenfalls reduziert werden. Der Einsatz hochkomplexer, kostenintensiver elektronischer Rechentechnik ist nicht erforderlich.

Bei der Erfindung kann ein statistisches Modell erstellt werden, auf dessen Grundlage die erreichbare Haftfestigkeit der untersuchten Oberflächen eines

und/oder beider Fügepartner im entsprechend zugrundeliegenden Teilbereich vorhergesagt werden kann. Dazu kann der Datensatz, der mit einem aus mehreren bevorzugt in Reihe angeordneten optischen Detektoren, mit denen eine wellenlängen- und ortsaufgelöste Erfassung von Intensitäten möglich ist, erfasst werden.

Die erreichbare Haftfestigkeit wird durch die Eigenschaften der untersuchten Oberflächen der Probe beeinflusst. Diese Eigenschaften können Partikel, Adsorbate, Schichtdicken, Materialien, Oberflächenrauheit, -topologie etc. sowie deren Verteilung über die jeweilige untersuchte Teilfläche sein. Ebenso bewirken diese probenspezifischen Eigenschaften, dass elektromagnetische Strahlung, die mit der Probe wechselwirkt, unterschiedlich (spektral, Intensität) reflektiert, gestreut bzw. transmittiert wird. Die Gesamtheit einer hinreichenden Anzahl einzelner wellenlängenaufgelöst erfassten Intensitäten (Spektren) von unterschiedlichen Ortspunkten einer detektierten Teilfläche einer Probe kann somit die Information über die zu erwartende Haftfestigkeit eines Fügepartners im betrachteten Probenbereich repräsentieren.

Für die Bestimmung der Haftfestigkeiten kann anhand eines gemessenen Merkmalssatzes unter Verwendung eines vorher mit an Proben der gleichen Probenklasse mit vergleichbarem Aufbau gemessenen Merkmalssätzen mit bekannten Haftfestigkeiten aufgestellten Regressionsmodells die Haftfestigkeit bestimmt werden.

Die gemessenen Merkmalssätze sind dazu einer Datenreduktion und somit einer Merkmalsextraktion zu unterziehen. So können die an den einzelnen Ortspunkten der jeweiligen Teilfläche detektierten Wellenlängenspektren einer spektralen Merkmalsextraktion, beispielsweise einer Clusteranalyse oder Hauptkomponentenanalyse unterzogen werden. Die im Regressionsmodell verwendeten Parameter können demzufolge die Anzahl und Verteilung der Cluster, die Scorewerte der Hauptkomponenten oder deren Verteilung sein.

Weiterhin können zur Merkmalsextraktion Methoden der Bildkompression für eine Texturbewertung herangezogen werden, bei der die an allen Ortspunkten der jeweiligen Teilfläche detektierten Intensitäten einzelner

- Wellenlängen oder die der Summe bzw. der gemittelten Summe der Intensitäten mehrerer Wellenlängen oder die durch eine spektrale Merkmalsreduktion bestimmten Parameter und/oder deren Kombinationen einer Bildkompression unterzogen werden. Zur Beschreibung der Texturinformation des Datensatzes sollte dabei mindestens ein Parameter über eine Wavelet-  
5 Transformation oder eine anderweitige Bildkompressionsmethode, wie beispielsweise Taylor Polynome, Fourier- und Kosinus-Transformationen, diskrete Kosinus-Transformation oder Grauwert-Matrix-Methode ermittelt werden.
- 10 Auf Grundlage eines Kalibriermodells (Regressionsmodell), das anhand gemessener Datensätze von Proben der gleichen Probenklasse mit vergleichbarem Aufbau und bekannter Haftfestigkeit erstellt wurde, kann die Haftfestigkeit von Teilflächen vorhergesagt werden, wobei die jeweils gemessenen Datensätze zur Kalibrierung und zur Vorhersage unter Verwendung identischer Schritte der Merkmalsreduktion behandelt werden. Beispielhaft kann dabei 15 als Regressionsmodell eine „Multiple Lineare Regressionsanalyse“ (MLRA), eine „Hauptkomponenten-Regression“ (PCR), eine „Partielle kleinste Quadrat Regression“ (PLS) oder ein „Neuronales Netz“ eingesetzt werden.
- 20 Voraussetzungen für eine ausreichende Bestimmungsgenauigkeit sind eine homogene Beleuchtung der zur Detektion genutzten Fläche, so dass eine Überlagerung der durch die Probe bedingten Intensitätsschwankungen mit lateralen Schwankungen der Beleuchtungsintensität durch Realisierungen eines lateral homogenen Lichtfelds vermieden werden kann. Für kleine Probenbereiche kann vorteilhaft eine Mikroskop-Optik eingesetzt werden. Die 25 erfindungsgemäße Anordnung kann durch Einsatz unterschiedlicher Optiken, Arbeitsabstände und Vergrößerungen an die jeweilige zu detektierende Fläche der Probe angepasst werden.
- 30 Mit der Erfindung kann eine Bestimmung von erreichbaren Haftfestigkeiten von Proben innerhalb weniger Millisekunden bis Minuten statt Tagen durchgeführt werden. Es ist eine berührungslose, zerstörungsfreie Messung möglich. Die Proben müssen nicht zusätzlich behandelt oder anderweitig vorbereitet werden. Bevorzugt ist ein Einsatz in der Qualitätskontrolle und bei  
35

inline-Überwachungen der Produktion, so dass in diesen Fällen keine Probenentnahme und gesonderte Bestimmung erforderlich sind.

Nachfolgend soll die Erfindung beispielhaft näher erläutert werden.

5

Dabei zeigt:

Figur 1 eine Wavelet-Transformation unter Verwendung des „Sym2“-Wavelets und

10

Figur 2 ein erstelltes Regressionsmodell zur Vorhersage der Risslänge im Keiltest nach DIN 65448; mit dem aus der Risslänge die erreichbare Haftfestigkeit berechnet werden kann.

15

Beispiel 1

20

Probenbleche aus einer Titan-Legierung, die durch einen Plasmaprozess mit rund 100 nm Siliziumdioxid beschichtet wurden, werden auf einer ausgewählten Fläche von 2 mm \* 10 mm in fünf Teilflächen eingeteilt und mit einer Halogenlampe als Lichtquelle, homogen bestrahlt. Oberhalb der Probe waren insgesamt 1000 x 150 optische Detektoren in einer Reihen-Spaltenanordnung angeordnet und mit einer Optik (hier ein Mikroskop) kombiniert, so dass mit einer Breite von 2 mm die gesamte Probenfläche wellenlängen- und ortsaufgelöst erfasst werden konnte. Mit den optischen Detektoren wurde für einzelne Ortspunkte eine wellenlängenaufgelöste Erfassung der Intensitäten des von der Probe reflektierten Lichtes realisiert. Es wurden insgesamt 150 Wellenlängen im Bereich 400 nm bis 1000 nm berücksichtigt. Die Probe wurde dabei senkrecht zur Reihenanordnung der Detektoren bewegt, um die gesamte Probenfläche zu erfassen.

25

30

Die für die einzelnen Ortspunkte mit den Detektoren wellenlängenaufgelöst erfassten Intensitäten wurden zu Teilbereichen der Probe mit jeweils einer Größe von 2 mm \* 2 mm entsprechend zugeordnet und bilden einen Hypercube.

35

Anschließend erfolgte für den jeweiligen Teilbereich eine Datenreduzierung,

bei der wie folgt beschrieben, schrittweise vorgegangen worden ist:

1. Mittelwert-Glättung (gleitender Durchschnitt) der Spektren

5 2. Hauptkomponentenanalyse des Hypercubes des Teilbereichs.

Dadurch wird eine Verringerung der Dimensionalität des gemessenen Datensatzes erreicht ohne, dass wichtige Informationen verloren gehen. Dazu wurden 2 Hauptkomponenten ausgewählt, so dass 2 Score-Bilder erhalten werden.

10

Anschließend erfolgte für den jeweiligen Teilbereich eine diskrete Wavelet-Transformation, bei der in Schritten, wie folgt beschrieben, vorgegangen worden ist:

15

3. Pro Score-Bild erfolgte die Durchführung der Wavelet-Transformation in drei Richtungen (horizontal, vertikal, diagonal) und in je drei Stufen (Fein-, Mittel-, Grobstruktur) unter Verwendung des „Sym2“-Wavelets für alle Transformationen  
= 9 Transformationen pro Score-Bild.

20

4. Berechnung von Parametern der Wavelet-Transformationen

a. Energie (Quadratsumme der Koeffizienten der Wavelet-Matrix)

$$\text{Energie} = \sqrt{\sum_{i,j} p(i,j)^2}$$

25

mit  $p(i,j)$ , Koeffizient der Wavelet-Matrix an der Position  $(i,j)$ .

b. (Shannon)Entropie

$$\text{Entropy} = - \sum h * \log_2(h)$$

mit  $h$ , Werte der Histogramm-Klassen

30

c. Grauwertematrix

i. Energie (Maß für die Gleichförmigkeit)

$$\sum_{i,j} p(i,j)^2$$

ii. Kontrast (Maß für die Varianz)

$$\sum_{i,j} |i - j|^2 p(i,j)$$

iii. Korrelation (Abhängigkeit der Bildpunkte)

$$\sum_{i,j} \frac{(i - \mu_i)(j - \mu_j)p(i,j)}{\sigma_i \sigma_j}$$

iv. Homogenität (Maß für Monotonie)

$$\sum_{i,j} \frac{p(i,j)}{1 + |i - j|}$$

mit  $p(i,j)$ , Koeffizient der Wavelet-Matrix an der Position  $(i,j)$ ;  $\mu$

5 Erwartungswert; und  $\sigma$  Standardabweichung.

Anschließend erfolgte anhand des vorab, unter Verwendung von Datensätzen von Teilflächen mit bekannter Haftfestigkeit und einer Datenbehandlung analog der in den Schritten 1-4 beschriebenen Form, erstellten und im 10 elektronischen Speicher der elektronischen Auswerteeinheit hinterlegten Regressionsmodells eine Bestimmung der erreichbaren Haftfestigkeit der untersuchten Probe.

FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT...e.V.  
168PCT 2380

Patentansprüche

5

1. Anordnung zur Bestimmung der erreichbaren Haftfestigkeit vor Ausbildung einer stoffschlüssigen Verbindung an einer Oberfläche eines Fügepartners, bei der mehrere Detektoren, die zur ortsaufgelösten spektralen Analyse elektromagnetischer Strahlung innerhalb eines Wellenlängenintervalls ausgebildet sind, in einer Reihen oder einer Reihen- und Spaltenanordnung angeordnet und die Detektoren mit einer elektronischen Auswerteeinheit verbunden und so angeordnet sind, dass von einer breitbandigen Strahlungsquelle emittierte elektromagnetische Strahlung entweder nach einer Reflexion an der Oberfläche eines der Fügepartner, einer auf der Oberfläche eines Fügepartners ausgebildeten Schicht, mit der die stoffschlüssige Verbindung ausgebildet wird, und/oder nach dem Durchstrahlen der für die elektromagnetische Strahlung transparenten Fügepartner auf 10 die Detektoren auftrifft, wobei die Bestrahlung so erfolgt, dass auf einer Fläche, von der die elektromagnetische Strahlung reflektiert oder durch die Fläche transmittiert wird, eine lateral und zeitlich homogene Intensität der elektromagnetischen Strahlung eingehalten ist, dabei 15 zumindest der Fügepartner oder eine auf der Oberfläche ausgebildete Beschichtung, auf dessen/deren Oberfläche die elektromagnetische Strahlung gerichtet ist, aus einem Werkstoff gebildet ist, der die jeweilige elektromagnetische Strahlung nicht 100 %-ig absorbiert und so eine mindestens 2%-ige Transmission und/oder Reflexion der elektromagnetischen Strahlung möglich ist/sind und 20 die elektronische Auswerteeinheit so ausgebildet ist, dass die orts- und wellenlängenaufgelöst erfassten Messsignale der Detektoren innerhalb 25 30 35

eines Wellenlängenintervalls für einzelne Ortspunkte, die auf einer vorgebbaren Fläche der Fügepartner angeordnet sind, erfassbar sind und dabei an mehreren Positionen erfasste Messsignale jeweils einem Teilbereich der detektierten Fläche (Hypercube) zuordenbar sind und

5

für alle wellenlängenaufgelöst erfassten Messsignale der Teilbereiche der detektierten Fläche eine Datenreduzierung durchführbar ist, bei der aussagekräftige Merkmale selektiert werden und

10

anhand dieser selektierten Merkmale mit in einem elektronischen Speicher abgelegten vorab ermittelten Regressionsmodells, das anhand der in analoger Weise erhaltenen Merkmalssätze von miteinander stoffschlüssig verbundenen Fügepartnern, deren Haftfestigkeiten ermittelt worden sind, eine Aussage über eine dementsprechende Haftfestigkeit erreichbar ist.

15

2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die elektronische Auswerteeinheit so ausgebildet ist, dass eine Datenreduzierung durch Merkmalsextraktion mittels Hauptkomponentenanalyse, Extraktion von Texturinformationen, Mittelwertbildung, Bestimmung der Standardabweichung und/oder Kombinationen davon erreichbar ist.
3. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der jeweilige Teilbereich eine Größe im Bereich 500  $\mu\text{m}$  \* 500  $\mu\text{m}$  bis 1500  $\mu\text{m}$  \* 1500  $\mu\text{m}$  oder 2 mm \* 2 mm aufweist.
4. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Bestrahlung der Fläche mit mindestens einem Winkel im Bereich 0 ° bis < 90° in Bezug zur Normalen der Oberfläche des bestrahlten Fügepartners erfolgt.
5. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Detektion und Auswertung unter Verwendung mindestens eines Polarisators mit mindestens einer definierten be-

20

30

kannten Polarisationsebene in Bezug zur Einfallsebene durchführbar ist.

6. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Detektoren und die stoffschlüssig verbundenen Fügepartner entlang mindestens einer Achse relativ und dabei bevorzugt in einem konstanten Abstand zueinander bewegbar sind.
7. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlungsquelle die elektromagnetische Strahlung formende optische Elemente aufweist oder eine elektromagnetische Strahlung diffus auf die Fläche emittierende Strahlungsquelle, die insbesondere innerhalb eines Hohlkörpers angeordnet ist und besonders bevorzugt im Strahlengang der elektromagnetischen Strahlung eine, den Einfall von gestreuter elektromagnetischer Strahlung vermeidende Blende vor den Detektoren angeordnet ist.
8. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die stoffschlüssig zu verbindenden Fügepartner einen Mehrschichtaufbau bilden, der bevorzugt mit mehreren aus unterschiedlichen Materialien oder Werkstoffen gebildeten Schichten gebildet ist.
9. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Reihen- und Spaltenanordnung von Detektoren mit optischen Elementen und Auswerteelektronik mit einer HSI-Kamera gebildet ist.

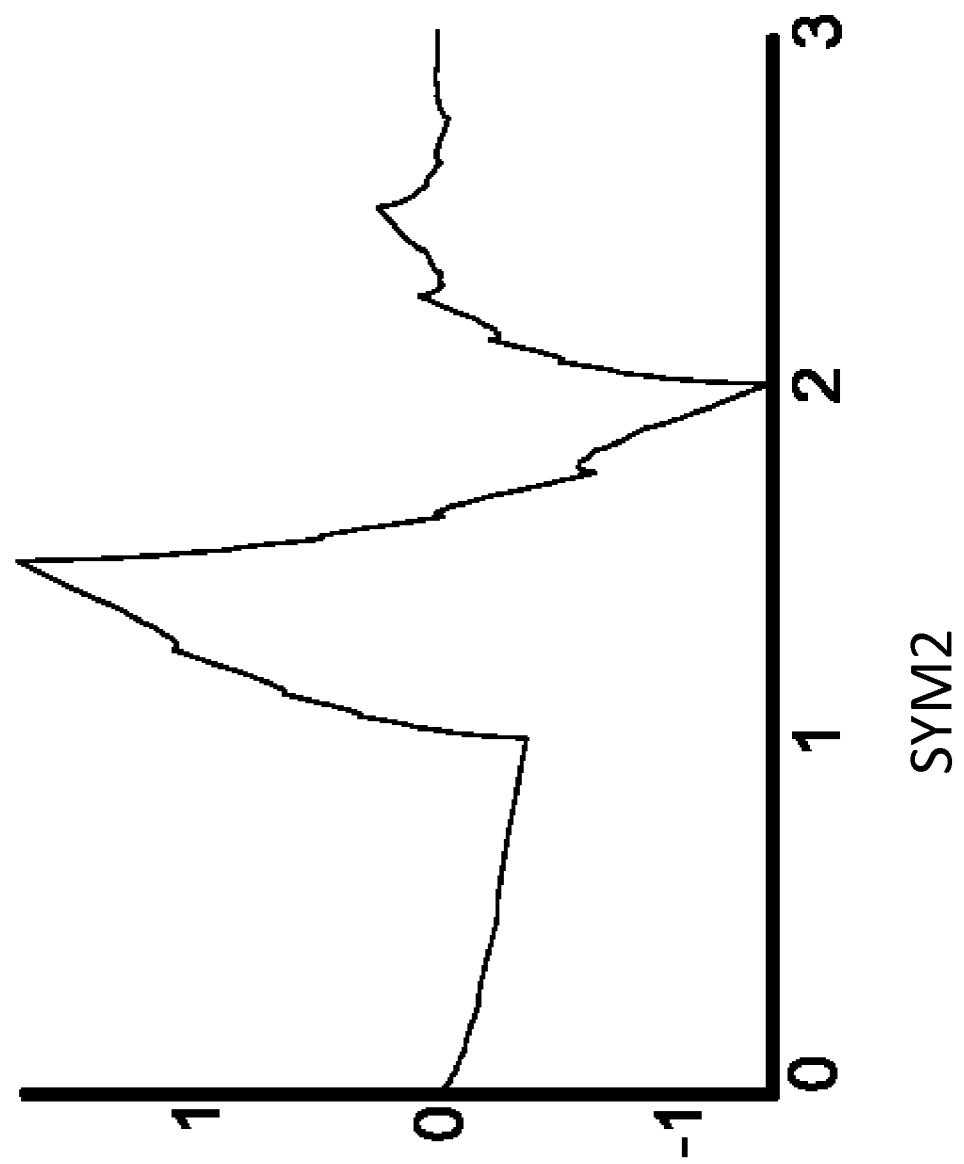
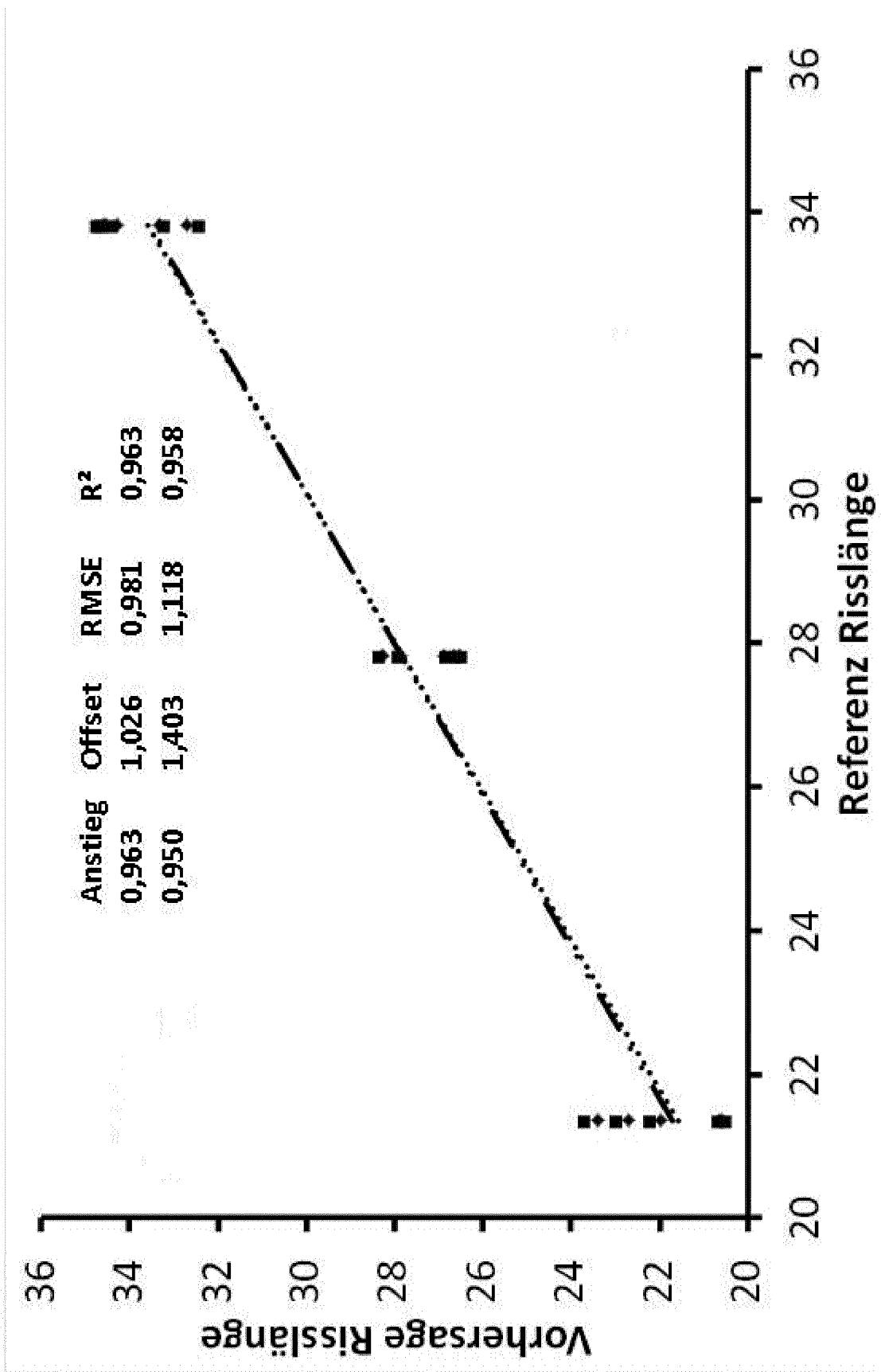


Fig. 1

Fig. 2



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2016/070469

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
INV. G01N21/55 G01N21/59  
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
G01N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, INSPEC

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages   | Relevant to claim No. |
|-----------|--|-----------------------|
| Y         | US 2004/073398 A1 (NIKOONAHAD MEHRDAD [US]<br>ET AL) 15 April 2004 (2004-04-15)<br>abstract<br>paragraphs [0005], [0011] - [0014],<br>[0054], [0075] - [0076], [0080], [0206]<br>- [0209]<br>----- | 1-9                   |
| Y         | EP 2 138 830 A2 (BOEING CO [US])<br>30 December 2009 (2009-12-30)<br>abstract<br>paragraphs [0022] - [0028]<br>-----   | 1-9                   |
| A         | JP 2009 244003 A (TOPPAN FORMS CO LTD)<br>22 October 2009 (2009-10-22)<br>abstract<br>-----<br>-/-   | 1-9                   |

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

\* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance  
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date  
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)  
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means  
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

|  |  |
|--|--|
| Date of the actual completion of the international search  | Date of mailing of the international search report |
| 17 November 2016   | 08/12/2016   |
| Name and mailing address of the ISA/<br>European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2<br>NL - 2280 HV Rijswijk<br>Tel. (+31-70) 340-2040,<br>Fax: (+31-70) 340-3016 | Authorized officer<br><br>Meacher, David           |

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

|                              |
|------------------------------|
| International application No |
| PCT/EP2016/070469            |

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages   | Relevant to claim No. |
|-----------|--|-----------------------|
| A         | "MEASUREMENT OF ADHESION IN EXTRUSION COATINGS USING ON-LINE TECHNIQUES", RESEARCH DISCLOSURE, MASON PUBLICATIONS, HAMPSHIRE, GB, no. 301, 1 May 1989 (1989-05-01), page 372, XP000052554, ISSN: 0374-4353 the whole document<br>----- | 1-9                   |
| A         | WO 2011/047016 A1 (PICOMETRIX LLC [US]; WHITE JEFFREY S [US]; FICHTER GREGORY D [US]; DUL) 21 April 2011 (2011-04-21) abstract<br>paragraphs [0001] - [0007]<br>-----  | 1-9                   |
| A         | US 2004/149026 A1 (POTYRAILO RADISLAV [US] ET AL) 5 August 2004 (2004-08-05) abstract<br>-----   | 1-9                   |
| A         | WO 2004/042373 A1 (KONINKL PHILIPS ELECTRONICS NV [NL]; JACQUEMIN JEAN-PHILIPPE [FR]) 21 May 2004 (2004-05-21) abstract<br>-----   | 1-9                   |

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

|   |
|---|
| International application No<br>PCT/EP2016/070469 |
|---|

| Patent document cited in search report | Publication date | Patent family member(s) |  | Publication date |
|--|------------------|-------------------------|--|------------------|
| US 2004073398                          | A1 15-04-2004    | AU 9506001 A            |  | 02-04-2002       |
|  |                  | EP 1319244 A1           |  | 18-06-2003       |
|  |                  | JP 5789353 B2           |  | 07-10-2015       |
|  |                  | JP 5980828 B2           |  | 31-08-2016       |
|  |                  | JP 2004513509 A         |  | 30-04-2004       |
|  |                  | JP 2014146817 A         |  | 14-08-2014       |
|  |                  | JP 2016122860 A         |  | 07-07-2016       |
|  |                  | US 2002093648 A1        |  | 18-07-2002       |
|  |                  | US 2002097406 A1        |  | 25-07-2002       |
|  |                  | US 2002102749 A1        |  | 01-08-2002       |
|  |                  | US 2002103564 A1        |  | 01-08-2002       |
|  |                  | US 2002107660 A1        |  | 08-08-2002       |
|  |                  | US 2002179864 A1        |  | 05-12-2002       |
|  |                  | US 2002179867 A1        |  | 05-12-2002       |
|  |                  | US 2002180985 A1        |  | 05-12-2002       |
|  |                  | US 2002188417 A1        |  | 12-12-2002       |
|  |                  | US 2002190207 A1        |  | 19-12-2002       |
|  |                  | US 2003011786 A1        |  | 16-01-2003       |
|  |                  | US 2004073398 A1        |  | 15-04-2004       |
|  |                  | US 2004092045 A1        |  | 13-05-2004       |
|  |                  | US 2006072807 A1        |  | 06-04-2006       |
|  |                  | WO 0225708 A2           |  | 28-03-2002       |
| <hr/>                                  |                  |                         |  |                  |
| EP 2138830                             | A2 30-12-2009    | EP 2138830 A2           |  | 30-12-2009       |
|  |                  | US 2009321647 A1        |  | 31-12-2009       |
| <hr/>                                  |                  |                         |  |                  |
| JP 2009244003                          | A 22-10-2009     | NONE                    |  |                  |
| <hr/>                                  |                  |                         |  |                  |
| WO 2011047016                          | A1 21-04-2011    | CA 2777381 A1           |  | 21-04-2011       |
|  |                  | CN 102667442 A          |  | 12-09-2012       |
|  |                  | EP 2488849 A1           |  | 22-08-2012       |
|  |                  | JP 5684819 B2           |  | 18-03-2015       |
|  |                  | JP 2013507640 A         |  | 04-03-2013       |
|  |                  | KR 20120088742 A        |  | 08-08-2012       |
|  |                  | US 2012304756 A1        |  | 06-12-2012       |
|  |                  | WO 2011047016 A1        |  | 21-04-2011       |
| <hr/>                                  |                  |                         |  |                  |
| US 2004149026                          | A1 05-08-2004    | NONE                    |  |                  |
| <hr/>                                  |                  |                         |  |                  |
| WO 2004042373                          | A1 21-05-2004    | AU 2003274536 A1        |  | 07-06-2004       |
|  |                  | CN 1711467 A            |  | 21-12-2005       |
|  |                  | EP 1563277 A1           |  | 17-08-2005       |
|  |                  | JP 2006505773 A         |  | 16-02-2006       |
|  |                  | US 2009241656 A1        |  | 01-10-2009       |
|  |                  | WO 2004042373 A1        |  | 21-05-2004       |
| <hr/>                                  |                  |                         |  |                  |

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2016/070469

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
INV. G01N21/55 G01N21/59  
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
G01N

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, INSPEC

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile   | Betr. Anspruch Nr. |
|------------|--|--------------------|
| Y          | US 2004/073398 A1 (NIKOONAHAD MEHRDAD [US]<br>ET AL) 15. April 2004 (2004-04-15)<br>Zusammenfassung<br>Absätze [0005], [0011] - [0014], [0054],<br>[0075] - [0076], [0080], [0206] - [0209]<br>----- | 1-9                |
| Y          | EP 2 138 830 A2 (BOEING CO [US])<br>30. Dezember 2009 (2009-12-30)<br>Zusammenfassung<br>Absätze [0022] - [0028]<br>-----  | 1-9                |
| A          | JP 2009 244003 A (TOPPAN FORMS CO LTD)<br>22. Oktober 2009 (2009-10-22)<br>Zusammenfassung<br>-----<br>-/-   | 1-9                |

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen  Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

17. November 2016

08/12/2016

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Meacher, David

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2016/070469

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile  | Betr. Anspruch Nr. |
|------------|---|--------------------|
| A          | "MEASUREMENT OF ADHESION IN EXTRUSION COATINGS USING ON-LINE TECHNIQUES", RESEARCH DISCLOSURE, MASON PUBLICATIONS, HAMPSHIRE, GB, Nr. 301, 1. Mai 1989 (1989-05-01), Seite 372, XP000052554, ISSN: 0374-4353 das ganze Dokument | 1-9                |
| A          | -----<br>WO 2011/047016 A1 (PICOMETRIX LLC [US]; WHITE JEFFREY S [US]; FICHTER GREGORY D [US]; DUL) 21. April 2011 (2011-04-21)<br>Zusammenfassung<br>Absätze [0001] - [0007]   | 1-9                |
| A          | -----<br>US 2004/149026 A1 (POTYRAILO RADISLAV [US] ET AL) 5. August 2004 (2004-08-05)<br>Zusammenfassung   | 1-9                |
| A          | -----<br>WO 2004/042373 A1 (KONINKL PHILIPS ELECTRONICS NV [NL]; JACQUEMIN JEAN-PHILIPPE [FR]) 21. Mai 2004 (2004-05-21)<br>Zusammenfassung   | 1-9                |
| 1          |   |                    |

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2016/070469

| Im Recherchenbericht<br>angeführtes Patentdokument |    | Datum der<br>Veröffentlichung |    | Mitglied(er) der<br>Patentfamilie |  | Datum der<br>Veröffentlichung |
|--|----|-------------------------------|----|-----------------------------------|--|-------------------------------|
| US 2004073398                                      | A1 | 15-04-2004                    | AU | 9506001 A                         |  | 02-04-2002                    |
|  |    |                               | EP | 1319244 A1                        |  | 18-06-2003                    |
|  |    |                               | JP | 5789353 B2                        |  | 07-10-2015                    |
|  |    |                               | JP | 5980828 B2                        |  | 31-08-2016                    |
|  |    |                               | JP | 2004513509 A                      |  | 30-04-2004                    |
|  |    |                               | JP | 2014146817 A                      |  | 14-08-2014                    |
|  |    |                               | JP | 2016122860 A                      |  | 07-07-2016                    |
|  |    |                               | US | 2002093648 A1                     |  | 18-07-2002                    |
|  |    |                               | US | 2002097406 A1                     |  | 25-07-2002                    |
|  |    |                               | US | 2002102749 A1                     |  | 01-08-2002                    |
|  |    |                               | US | 2002103564 A1                     |  | 01-08-2002                    |
|  |    |                               | US | 2002107660 A1                     |  | 08-08-2002                    |
|  |    |                               | US | 2002179864 A1                     |  | 05-12-2002                    |
|  |    |                               | US | 2002179867 A1                     |  | 05-12-2002                    |
|  |    |                               | US | 2002180985 A1                     |  | 05-12-2002                    |
|  |    |                               | US | 2002188417 A1                     |  | 12-12-2002                    |
|  |    |                               | US | 2002190207 A1                     |  | 19-12-2002                    |
|  |    |                               | US | 2003011786 A1                     |  | 16-01-2003                    |
|  |    |                               | US | 2004073398 A1                     |  | 15-04-2004                    |
|  |    |                               | US | 2004092045 A1                     |  | 13-05-2004                    |
|  |    |                               | US | 2006072807 A1                     |  | 06-04-2006                    |
|  |    |                               | WO | 0225708 A2                        |  | 28-03-2002                    |
| <hr/>  |    |                               |    |                                   |  |                               |
| EP 2138830   | A2 | 30-12-2009                    | EP | 2138830 A2                        |  | 30-12-2009                    |
|  |    |                               | US | 2009321647 A1                     |  | 31-12-2009                    |
| <hr/>  |    |                               |    |                                   |  |                               |
| JP 2009244003                                      | A  | 22-10-2009                    |    | KEINE                             |  |                               |
| <hr/>  |    |                               |    |                                   |  |                               |
| WO 2011047016                                      | A1 | 21-04-2011                    | CA | 2777381 A1                        |  | 21-04-2011                    |
|  |    |                               | CN | 102667442 A                       |  | 12-09-2012                    |
|  |    |                               | EP | 2488849 A1                        |  | 22-08-2012                    |
|  |    |                               | JP | 5684819 B2                        |  | 18-03-2015                    |
|  |    |                               | JP | 2013507640 A                      |  | 04-03-2013                    |
|  |    |                               | KR | 20120088742 A                     |  | 08-08-2012                    |
|  |    |                               | US | 2012304756 A1                     |  | 06-12-2012                    |
|  |    |                               | WO | 2011047016 A1                     |  | 21-04-2011                    |
| <hr/>  |    |                               |    |                                   |  |                               |
| US 2004149026                                      | A1 | 05-08-2004                    |    | KEINE                             |  |                               |
| <hr/>  |    |                               |    |                                   |  |                               |
| WO 2004042373                                      | A1 | 21-05-2004                    | AU | 2003274536 A1                     |  | 07-06-2004                    |
|  |    |                               | CN | 1711467 A                         |  | 21-12-2005                    |
|  |    |                               | EP | 1563277 A1                        |  | 17-08-2005                    |
|  |    |                               | JP | 2006505773 A                      |  | 16-02-2006                    |
|  |    |                               | US | 2009241656 A1                     |  | 01-10-2009                    |
|  |    |                               | WO | 2004042373 A1                     |  | 21-05-2004                    |
| <hr/>  |    |                               |    |                                   |  |                               |