



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
12.09.2012 Patentblatt 2012/37

(51) Int Cl.:
E02D 3/12 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **12157710.0**

(22) Anmeldetag: **01.03.2012**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME

• **TuTech Innovation GmbH**
21079 Hamburg (DE)

(72) Erfinder:
• **Prof. Dr.-Ing. Grabe, Jürgen**
21075 Hamburg (DE)
• **Dipl.-Ing. Pucker, Tim**
20359 Hamburg (DE)

(30) Priorität: **08.03.2011 DE 102011001142**

(71) Anmelder:
• **Technische Universität Hamburg-Harburg**
21073 Hamburg (DE)

(74) Vertreter: **Hansen, Jochen**
Patentanwaltskanzlei Hansen
Eisenbahnstrasse 5
21680 Stade (DE)

(54) **Bodenertüchtigungsverfahren sowie Anordnung dafür**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ertüchtigung von Böden (1) an geotechnischen Strukturen (2), wobei im Boden (1) bei vergrößertem Lasteintrag (F) Scherfugen (11) in vorbestimmbarer Orientierung entstehen würden und vor vergrößertem Lasteintrag (F) die Scherfugen (11) verfestigt werden.

Ferner betrifft die Erfindung eine Anordnung zur Ertüchtigung von Böden (1) an geotechnischen Strukturen (2), wobei im Boden (1) bei vergrößertem Lasteintrag (F) Scherfugen (11) in vorbestimmbarer Orientierung entstehen würden und nur im Bereich der Scherfugen (11), zumindest am Beginn der Scherfuge (11) eine Verfestigung (12) des Bodens vorgesehen ist..

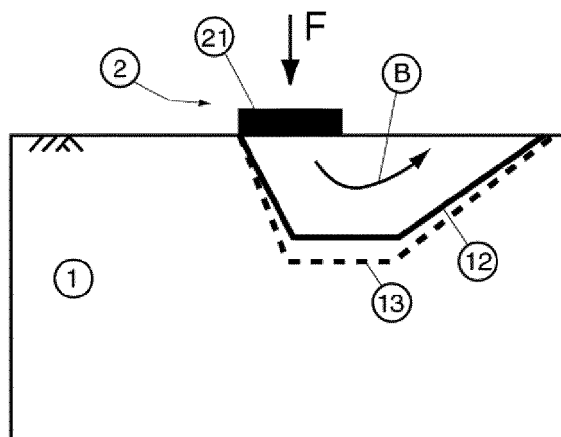


Fig. 1b

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ertüchtigung von Böden an geotechnischen Strukturen, wobei im Boden bei vergrößertem Lasteintrag Scherfugen in vorbestimmbare Orientierung entstehen würden. Ferner betrifft die Erfindung eine Anordnung dafür.

[0002] Mit dem Begriff "geotechnische Strukturen" sind Fundamente, Wände, Stützmauern, Böschungen, Anker, Pfähle, Dämme und Deiche sowie Hafenstrukturen (Kaimauern) und dergleichen gemeint.

[0003] Böden, die von geotechnischen Strukturen belastet sind, versagen entlang von Scherfugen in vorbestimmbare Orientierung. Auf dieser Grundvorstellung basieren viele bodenmechanische Nachweise und Ansätze, wie z. B. Grundbruch, Geländebruch, Böschungsbruch und Erddruck. Die Methoden der Mehrkörperbruchmechanismen und der Geländebruchmechanismen basieren auf dem vorgenannten Prinzip der Lokalisierung von Scherfugen. Die Theorie geht zurück auf Charles Augustin de Coulomb, veröffentlicht 1776.

[0004] Um Böden für geotechnische Strukturen zu ertüchtigen, sind verschiedene Verfahren bekannt. Beispielsweise ist es bekannt, eine großräumige Bodenverbesserung durch Austausch oder Vermischung des vorhandenen Bodens mit geeigneten Bodenverbesserungsmitteln zu erreichen. Ferner ist es bekannt, bei nicht ausreichend belastbaren Böden die geotechnische Struktur, beispielsweise das Fundament zu vergrößern, also die Flächenbelastung zu verringern oder durch Vertiefung von Wänden Lasten tiefer in den Untergrund einzuleiten. An Böschungen und Stützwänden ist es bekannt, durch eine Verdübelung der Scherfugen, beispielsweise mittels Anker, Pfählen oder Geotextilien einen Bodenbruch durch die Scherfuge überbrückende Strukturen zu vermeiden. Derartige Konstruktionen sind immer quer zur Scherfuge im Boden positioniert. Auch ist es bei Böschungen bekannt, diese abzuflachen, um eine Bodenüberlastung zu vermeiden.

[0005] Ferner ist aus der DE 43 29 208 A1 ein Verfahren und Vorrichtung zum Boden-Verstärken und -Verdichten bekannt, mit dem von einer horizontalen Bohrung ein Verfestigungsmittel fächerartig in den Boden eingebracht wird, um so ein im Wesentlichen quaderförmiges Verfestigungselement im zu ertüchtigenden Boden zu erzeugen. Bei diesem Verfahren wird also ebenfalls ein erhebliches Bodenvolumen mit den dafür erforderlichen Verfestigungsmitteln verfestigt.

[0006] Nachteilig ist, dass die bisher bekannten Verfahren einen erheblichen Material-und/oder Geräteeinsatz für eine wirksame Standsicherheitsverbesserung bedingen. Bei einer großräumigen Bodenverbesserung durch Austausch bzw. Vermischung werden erhebliche Massen bewegt. Zudem eignet sich dieses Verfahren nicht für eine nachträgliche Bodenertüchtigung bei bereits bestehenden geotechnischen Strukturen. Bei der Verdübelung werden nur eine Vielzahl von quer zur Scherfuge ausgerichtete Anker bzw. Pfähle gesetzt, so

dass eine Vielzahl von Bohrungen mit aufwendigem Arbeitsgerät und Setzen einer entsprechenden Vielzahl von Ankern/Pfählen ebenfalls eine erhebliche Kostenlast bedeutet. Eine Vergrößerung der geotechnischen Struktur, also beispielsweise Verbreiterung der Fundamentfläche bedarf wiederum erheblicher Aufwendungen, insbesondere bei einer nachträglichen Ertüchtigung eines Fundamentes.

[0007] Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Verfahren sowie eine Anordnung zur Ertüchtigung von Böden an geotechnischen Strukturen anzugeben, mit dem bzw. mit der eine gezielte Bodenverbesserung mit minimalem Material- und Geräteeinsatz ermöglicht wird.

[0008] Gelöst wird diese Aufgabe mit einem Verfahren gemäß Anspruch 1 und/oder mit einer Anordnung gemäß Anspruch 7.

[0009] Dadurch, dass vor vergrößertem Lasteintrag der Beginn der Scherfugen verfestigt wird, wird die Standsicherheit der geotechnischen Struktur erhöht, da sich die maßgebende Scherfuge nicht einstellen kann. Die Standsicherheit erhöht sich entsprechend der veränderten, längeren maßgebenden Scherfuge gegenüber der vorher gegebenen Standsicherheit. Entsprechendes ergibt sich aus der gegenständlichen Anordnung. Mit dieser Ertüchtigungsmethode und -anordnung wird bereits mit einer sehr kleinräumigen Verfestigung des Bodens am Bereich der Entstehung von potentiellen Scherfugen eine deutliche Bodenertüchtigung erzielt. Der Begriff "Beginn der Scherfuge" bezieht sich dabei auf den Ansatzpunkt oder besser Ansatzlinie der Lasteinleitung, beispielsweise an einer Fundamentkante, von der sich die Scherfuge im Boden ausbildet.

[0010] Bevorzugt werden die Scherfugen im Wesentlichen vollständig verfestigt. Damit werden die Scherfugen im Boden tiefgreifend gesichert, um einen Grundbruch etc. großräumig zu vermeiden.

[0011] Wenn die Verfestigung entlang der Scherfugen im Boden in einer Dicke von $D = 100 \cdot d_{50}$ erfolgt, wobei d_{50} der Korndurchmesser bei einem Siebdurchgang von 50 % Massenanteil ist, wird eine mögliche Ungenauigkeit in der berechneten Orientierung der Scherfuge bzw. eine Variation der tatsächlichen Scherfugenlage aufgrund von Bodenanisotropien durch ein ausreichendes Toleranzmaß der Verfestigung umfasst. Um jedoch den Arbeits- und Materialaufwand gering zu halten, wird bevorzugt die Dicke des flächigen Elements der Verfestigung auf den fünfzigfachen Korndurchmesser der 50 % Siebkurve oder gar auf den zwanzigfachen Korndurchmesser der 50 % Siebkurve begrenzt.

[0012] Dadurch, dass bei einer auf den Beginn der Scherfuge beschränkten Verfestigung eine minimale Länge (L) mit $L \geq 4 \cdot D$ verfestigt wird, wird mit einem minimalen Einsatz von Verfestigungsmitteln im Boden bereits eine höhere Belastbarkeit des Bodens erreicht, da sich die sonst einstellende Scherfuge ohne Verfestigung nicht bilden kann und somit erst bei höherem Lasteintrag eine entsprechend anders gelagerte Scherfuge entstehen kann, folglich eine Bodenertüchtigung erzielt

wurde. Dabei hat sich herausgestellt, dass aufgrund der Korndurchmesser des Bodens und der gesamten Bodenstruktur eine messbare Bodenertüchtigung erst mit einer minimalen Länge am Beginn der Scherfuge von mindestens $L = 4 \cdot D$, also gemäß vorangehender Definition mit $L = \text{mindestens } 80 \cdot d_{50}$, wobei d_{50} der Korndurchmesser bei einem Siebdurchgang von 50% der Massenanteile ist.

[0013] Dadurch, dass die Verfestigung der im Winkel ϑ orientierten Scherfuge in einem Winkelbereich ϑ_w von $\vartheta - 5^\circ \leq \vartheta_w \leq \vartheta + 5^\circ$, bevorzugt $\vartheta - 3^\circ \leq \vartheta_w \leq \vartheta + 3^\circ$, besonders bevorzugt $\vartheta + 1^\circ \leq \vartheta_w \leq \vartheta - 1^\circ$ ist, wird ein Berechnungsfehler bzw. Orientierungsabweichungen der sich tatsächlich einstellenden Scherfuge von der berechneten Scherfuge im Rahmen eines Toleranzwinkels erfasst. Dabei wird ein keilförmiges Element in einem Winkelerorientierungsbereich von $+5^\circ$ bis -5° um die berechnete Scherfugenorientierung ϑ angegeben. Zur Vermeidung von übermäßigem Materialeinsatz wird der Winkelbereich bevorzugt auf $\pm 3^\circ$ oder gar auf $\pm 1^\circ$ beschränkt.

[0014] Bevorzugt erfolgt die Verfestigung des Bodens im Bereich der Scherfugen im Düsenstrahlverfahren, Bodenvermörtelungsverfahren, Injektionsverfahren oder temporär im Vereisungsverfahren. Bei diesem Verfahren wird mit einem relativ überschaubaren gerätetechnischen Aufwand eine relativ geringe Masse im Boden bewegt und damit eine Aufarbeitung des Bodens gewährleistet. Die Verfestigungsverfahren sind grundsätzlich in der Geotechnik bekannt und bewährt, so dass sowohl die dafür erforderlichen Maschinen, wie auch das Durchführungs-Know-How zur Verfügung steht.

[0015] Als zuzuführendes Verfestigungsmaterial eignen sich Kunststoff basierende Bindemittel und/oder hydraulisch abbindende Werkstoffe, wie beispielsweise Zement. Dabei werden Zementemulsionen bei der Durchführung der Verfestigungsverfahren dem Boden zugeführt. Für den Sonderfall einer temporären Verfestigung, beispielsweise für eine vorübergehende Standfestigkeitsertüchtigung, kann auch alternativ ein Vereisungsverfahren angewendet werden, bei dem die im Boden vorhandene Feuchtigkeit über ein zirkulierendes Kühlmittel verfestigt werden. Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der beiliegenden Figuren detailliert beschrieben.

[0016] Darin zeigt:

Fig. 1 a ein Fundament auf einem Boden mit zu lokalisierender Scherfuge,

Fig. 1 b die Situation von Fig. 1 a mit verfestigter Scherfuge,

Fig. 2 a eine Situation an einer Stützwand,

Fig. 2 b einen Graph zur in Fig. 2 a dargestellten Situation, der den Erddruck in Abhängigkeit des Winkels ϑ darstellt.

[0017] In Fig. 1 a ist ein Boden 1 mit einer darauf aufliegenden geotechnischen Struktur 2, die in diesem Ausführungsbeispiel ein Streifenfundament 21 ist. Der Pfeil F stellt den Lasteintrag dar. Bei zunehmenden Lasteintrag F bildet sich bei Überschreiten der Scherfestigkeit des Bodens die in Fig. 1 a dargestellte Scherfuge 11 aus und es erfolgt gemäß Pfeil B eine erhebliche Bodenbewegung. In Fig. 1 b ist am Ort der für die Standfestigkeit maßgebenden Scherfuge, die nach allgemeinen Gesetzen der Bodenmechanik vorbestimmbar ist, eine örtlich begrenzte Verfestigung des Bodens ausgebildet, die als verfestigte Scherfuge 12 bezeichnet ist und genau am Ort der in Fig. 1 a als unverfestigte Scherfuge 11 bezeichneten angeordnet ist.

[0018] Da die Lage der maßgebenden Scherfuge die maximale Standsicherheit der Gründung, hier ein Streifenfundament 21, oder eines Erdbauwerks bestimmt, wird die Standsicherheit des Streifenfundaments 21 erhöht, da sich die dargestellte ursprüngliche maßgebende Scherfuge 11 aufgrund der Verfestigung 12 nicht einstellen kann. Die Standsicherheit des Streifenfundaments 21 richtet sich nun nach der veränderten, längeren maßgebenden neuen Scherfuge 13. Die Verfestigung am Ort der maßgebenden Scherfuge 11 erfolgt bevorzugt durch eine Vermörtelung, beispielsweise mit einer Zementemulsion, zu einer verfestigten Scherfuge 12.

[0019] In dem zweiten, in Fig. 2 a und 2 b dargestellten Ausführungsbeispiel handelt es sich um eine Boden 1 belastete Stützwand 22. In Fig. 2 a ist die vorbestimmbare Scherfuge bereits mit Verfestigung 12 ausgebildet. Die entsprechend zu betrachtende neue Scherfuge 13 widerspiegelt einen um ΔE_a geringeren aktiven Erddruck und somit eine geringere Belastung für die Stützwand 22. Dieses Phänomen geht gemäß Fig. 2 b einher mit einem um ΔE_p höheren passiven Erdwiderstand, insgesamt also eine Ertüchtigung der geotechnischen Struktur.

[0020] Die Verfestigung der jeweils maßgebenden Scherfuge wird mit geringem Material- und Geräteeinsatz, beispielsweise im Düsenstrahlverfahren, Bodenvermörtelungsverfahren, Injektionsverfahren oder für temporäre Verfestigungen mittels Vereisungsverfahren durchgeführt. Nachfolgend wird eine Herstellung einer Verfestigung 12 mittels Düsenstrahlverfahren näher erläutert.

[0021] Zunächst wird eine Bohrung oder bei langgestreckten geotechnischen Strukturen mehrere Bohrungen genau in der Scherfugenfläche, also im berechneten Winkel in den Boden eingebracht. Anschließend wird der Boden durch einen Hochdruckstrahl von beispielsweise 500 bar erodiert. Dabei wird das Düsenstrahlgestänge mit seiner Hochdruckdüse so ausgerichtet, dass die Erosion genau in Richtung der Scherfuge erfolgt. Beim Düsenstrahlverfahren werden Wasser, Zement und bedarfsweise Luft verwendet. Es wird somit im Boden 1 in vorbestimmbarer Orientierung der Scherfuge 11 ein hydraulisch abhärtendes, verfestigtes, flächiges Element 12 erzeugt. Die Wandstärke oder Dicke des flächigen

Elements 12 sollte dabei eine Stärke von $D = 20 \cdot d_{50}$ bis $D = 100 \cdot d_{50}$ betragen. d_{50} gibt die maximale Korngröße bei 50 % Massendurchgang bei einer Siebkurvenanalyse des Bodens an. Das bedeutet, dass 50 % der Masse des Bodens eine kleinere Korngröße haben und durch ein Sieb mit der Maschenweite d_{50} hindurchgehen würden.

[0022] Alternativ zur hier beschriebenen hydraulisch erodierten Flächenerstellung kann selbstverständlich auch ein rein mechanisches Bodenvermörtelungsverfahren, bei dem der Boden mit Zement und gegebenenfalls Wasser vermischt wird, oder ein Einspritzen einer Zementemulsion im Injektionsverfahren angewendet werden. Eine Sonderstellung nimmt das Vereisungsverfahren ein, da hiermit für eine temporäre Ertüchtigung einer geotechnischen Struktur eine zeitlich beschränkt erstellte Verfestigung durch Vereisung möglich wird.

Bezugszeichenliste

[0023]

1	Boden
11	Scherfuge unverfestigt
12	verfestigte Scherfuge, Verfestigung, flächiges und/oder keilförmiges Element
13	neue Scherfuge
2	geotechnische Struktur
21	Streifenfundament
22	Stützwand
B	Bodenbewegung
F	Lasteintrag

Patentansprüche

- Verfahren zur Ertüchtigung von Böden (1) an geotechnischen Strukturen (2), wobei im Boden (1) bei vergrößertem Lasteintrag (F) Scherfugen (11) in vorbestimmbare Orientierung entstehen würden, **dadurch gekennzeichnet, dass** vor vergrößertem Lasteintrag (F) die Scherfuge (11) oder zumindest der Beginn der Scherfuge (11) verfestigt wird.
- Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Scherfugen (11) im Wesentlichen vollständig verfestigt werden.
- Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Verfestigung (12) am Beginn der Scherfuge (11) oder entlang der Scherfugen (11) im Boden (1) in einer Dicke (D) von $D = 100 \cdot d_{50}$, bevorzugt $D = 50 \cdot d_{50}$, besonders bevorzugt $D = 20 \cdot d_{50}$ erfolgt, wobei d_{50} der Korndurchmesser bei einem Siebdurchgang von 50 % der Massenanteile ist.

4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei einer auf den Beginn der Scherfuge (11) beschränkten Verfestigung eine minimale Länge (L) mit $L \geq 4 \cdot D$ verfestigt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 2, 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Verfestigung (12) der im Winkel ϑ orientierten Scherfuge (11) in einem Winkelbereich ϑ_w von $\vartheta - 5^\circ \leq \vartheta_w \leq \vartheta + 5^\circ$, bevorzugt $\vartheta - 3^\circ \leq \vartheta_w \leq \vartheta + 3^\circ$, besonders bevorzugt $\vartheta - 1^\circ \leq \vartheta_w \leq \vartheta + 1^\circ$ erfolgt.

6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Verfestigung (12) des Bodens (1) im Bereich des Beginns der Scherfuge (11) oder entlang der Scherfugen (11) im Düsenstrahlverfahren, Bodenvermörtelungsverfahren, Injektionsverfahren oder temporär im Vereisungsverfahren erfolgt.

7. Anordnung zur Ertüchtigung von Böden (1) an geotechnischen Strukturen (2), wobei im Boden (1) bei vergrößertem Lasteintrag (F) Scherfugen (11) in vorbestimmbare Orientierung entstehen würden, **dadurch gekennzeichnet, dass** nur im Bereich der Scherfugen (11), zumindest am Beginn der Scherfuge (11) eine Verfestigung (12) des Bodens vorgesehen ist.

8. Anordnung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Verfestigung (12) im Boden (1) ein flächiges Element mit einer Dicke D ist, wobei

$$D = 100 \cdot d_{50},$$

bevorzugt

$$D = 50 \cdot d_{50},$$

besonders bevorzugt

$$D = 20 \cdot d_{50},$$

mit d_{50} = Korndurchmesser bei einem Siebdurchgang von 50 % Massenanteile beträgt und das flächige Element die Scherfuge (11) einschließt.

9. Anordnung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei einer Verfestigung (12) des Beginns der Scherfuge (11) diese eine minimale Länge (L) aufweist mit $L \geq 4 \cdot D$.

10. Anordnung nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch ge-**

kennzeichnet, dass die Verfestigung (12) im Boden ein keilförmiges Element mit zwei flächigen Außenseiten ist, das die in einem Winkel ϑ orientierte Scherfuge (11) einschließt, wobei die eine flächige Außenseite mit einem Winkel

5

$\vartheta + 5^\circ$, bevorzugt $\vartheta + 3^\circ$, besonders bevorzugt $\vartheta + 1^\circ$ und die andere flächige Außenseite mit einem Winkel $\vartheta - 5^\circ$, bevorzugt $\vartheta - 3^\circ$, besonders bevorzugt $\vartheta - 1^\circ$ orientiert sind.

10

11. Anordnung nach Anspruch 7, 8, 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Verfestigung (12) Kunststoff basierende Bindemittel und/oder einen hydraulisch abgebundenen Werkstoff, insbesondere Zement enthält.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

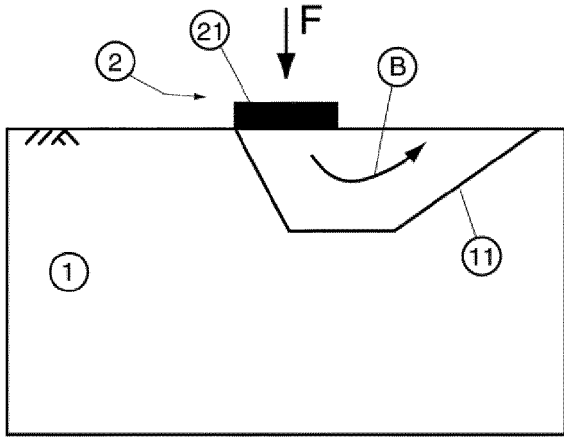


Fig. 1a

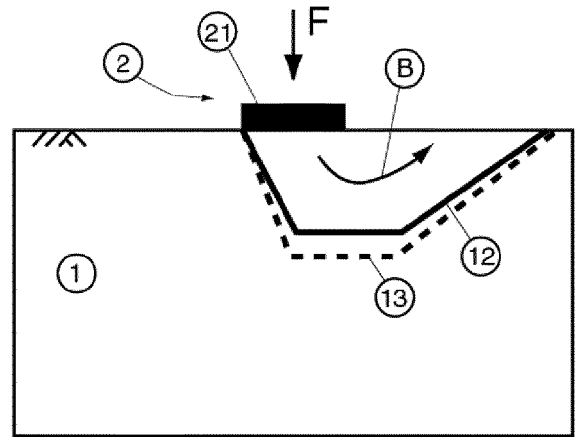


Fig. 1b

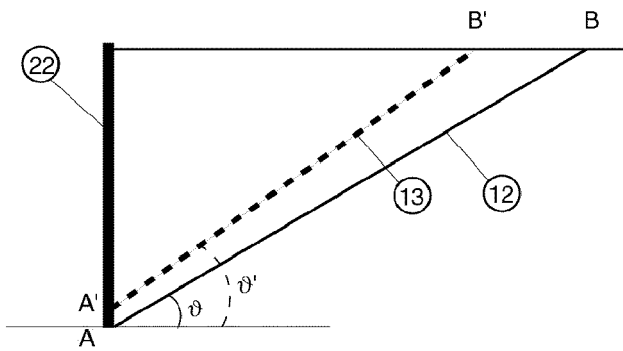


Fig. 2a

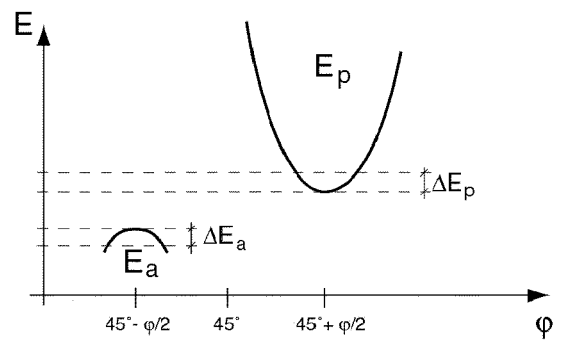


Fig. 2b

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 4329208 A1 [0005]