



(11) **EP 4 826 164 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
21.10.2026 Patentblatt 2026/43

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
E02D 7/18^(2006.01) B06B 1/16^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **26163670.8**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
E02D 7/18; B06B 1/166

(22) Anmeldetag: **10.03.2026**

(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 ME MK MT NL
NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA
Benannte Validierungsstaaten:
GE KH LA MA MD TN

(72) Erfinder:
• **Grabe, Jürgen**
21079 Hamburg (DE)
• **Cramer, Mechthild**
21079 Hamburg (DE)

(74) Vertreter: **Weidner Stern Jeschke**
Patentanwälte Partnerschaft mbB
Wilhelm-Herbst-Straße 5
28359 Bremen (DE)

(30) Priorität: **16.04.2025 DE 102025115037**

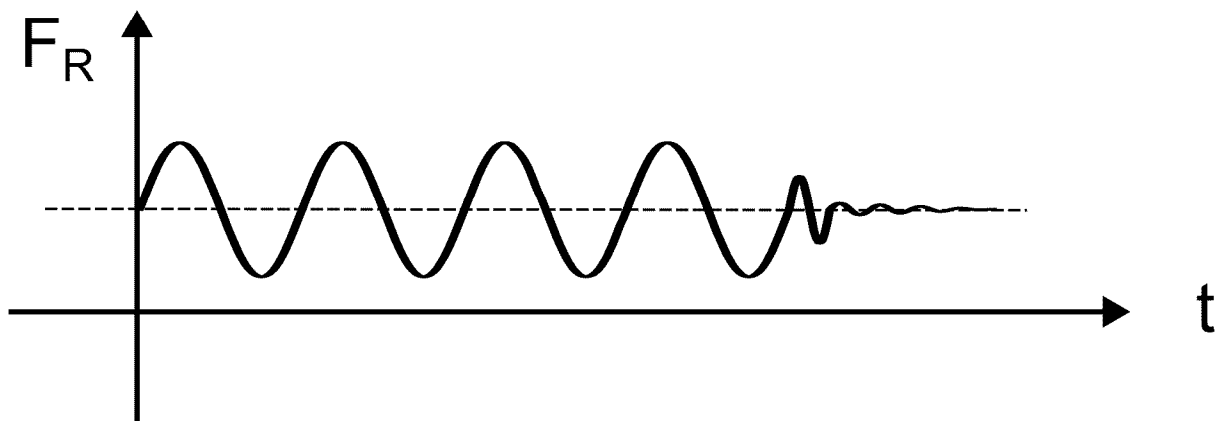
(71) Anmelder: **Technische Universität Hamburg,**
Körperschaft des öffentlichen Rechts
21073 Hamburg (DE)

(54) **VIBRATIONSRRAMMVERFAHREN**

(57) Die Anmeldung betrifft ein Verfahren zum Einbringen eines Profils in den Untergrund bis zu einer vorgegebenen Endteufe mittels eines mit Unwuchten arbeitenden Vibrators, wobei die rotierenden Unwuchten eine im Wesentlichen axial zum Profil gerichtete Vibrationsschwingung ($z_p(t)$) in das Profil einleiten und die Phasenlage der Unwuchten zwischen einer resul-

tierenden maximalen Unwuchtamplitude und einer minimalen Unwuchtamplitude während des Betriebs des Vibrators verstellt werden kann, wobei kurz vor Erreichen der Endteufe über einen abschließenden Einbringvorgang die Phasenlage der arbeitenden Unwuchten von maximaler Unwuchtamplitude bis minimaler Unwuchtamplitude verstellt wird.

Fig. 1



EP 4 826 164 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Einbringen eines Profils in den Untergrund bis zu einer vorgegebenen Endteufe mittels eines mit Unwuchten arbeitenden Vibrators, wobei die rotierenden Unwuchten eine im Wesentlichen axial zum Profil gerichtete Vibrationsschwingung ($z_p(t)$) in das Profil einleiten und die Phasenlage der Unwuchten zwischen einer resultierenden maximalen Unwuchtamplitude und einer minimalen Unwuchtamplitude während des Betriebs des Vibrators verstellt werden kann.

[0002] Entsprechende Vibratoren, die einen vibrationsfreien An- und Auslauf erlauben, sind beispielhaft aus der EP 1 967 291 A1 bekannt. Damit kann beim Hoch- bzw. Herunterfahren des Drehantriebes des Vibrators vermieden werden, dass beim Durchfahren des Eigenfrequenzbereiches von umliegenden Strukturen große Bewegungsamplituden aufgrund von Resonanzeffekten entstehen und umliegende Gebäude etc. gefährden. Die gewünschte Vibrationsfrequenz (häufig 30 Hz bis 40 Hz) liegt nämlich hochfrequenter, nämlich deutlich über der Eigenfrequenz von Gebäudestrukturen. Während des Einbringvorganges wird keine Verstellung vorgenommen. Die EP 1 967 291 A1 lehrt eine Verstellbarkeit durch Mittel zur Arretierung während des Einbringvorganges auszuschließen. Ähnliches zeigt die EP 2 789 403 B1.

[0003] Beim sogenannten Vibrationsrammen wird durch Fliehkräfte von meist paarweise gegenläufig rotierenden Unwuchten (Unwuchtpaaren) eine Kraft erzeugt, die sich in vertikaler Richtung addiert und in horizontaler Richtung aufhebt. Aus dem daraus resultierenden, sinusförmigen Kraftverlauf bestimmen die Frequenz und das statische Moment die Amplitude der Erregerkraft. Entsprechend dieses oszillierenden Kraftverlaufs und dynamischer Prozesse im Boden entsteht jeweils unter dem Profil am Profifuß durch eine geringfügige Aufwärtsbewegung des Profils kurzzeitig ein Hohlraum und somit ein Unterdruck. Dabei versucht im Untergrund vorhandenes Grundwasser diesen Unterdruck auszugleichen. Somit entsteht am Profifuß im Boden ein sogenannter hydraulischer Grundbruch. Der Boden wird also verflüssigt. Diese Dynamik ist offensichtlich maßgeblich für den relativ leichten Einbringvorgang beim Vibrationsrammen.

[0004] Nachteilig beim Vibrationsrammen ist jedoch, dass ein einvibriertes Profil meist deutlich geringere statische Tragfähigkeiten im Vergleich zu einem geramten Profil aufweist. Im Stand der Technik ist es daher bekannt, das schonendere und schnellere Vibrationsrammen zum Einbringen der Profile in den Untergrund zu verwenden, wobei jedoch ein bis zwei Meter oberhalb der Endteufe eine Umrüstung auf das herkömmliche Rammen erfolgt. Somit wird das einzubringende Profil mit herkömmlicher Rammschlagenergie nachgerammt. Nachteilig dabei ist ein erheblicher Umrüstaufwand, eine höhere Lärmbelastung und auch

ein Risiko für die Umgebung, insbesondere für angrenzende Bauwerke aufgrund der durch die Rammschläge verursachten Beeinträchtigungen.

[0005] Aus der EP 3 051 028 A1 ist ein Verfahren zum Vibrationsrammen bekannt, das gegenüber einem kombinierten Vibrations- und Schlagrammverfahren vereinfacht sein soll. Dabei wird die Vibrationsfrequenz des Vibrators während des Vibrationsvorganges innerhalb eines gegebenen Vibrationsfrequenzbandes des Baugrundes variiert. Damit soll insbesondere dem Problem der verringerten seitlichen Tragfähigkeit der Profile beim Vibrationsrammen Rechnung getragen werden.

[0006] Es ist daraus erkennbar, dass ein großes Bedürfnis für einen kontrollierten Einbringvorgang eines Profils in den Untergrund mittels Vibrationsrammen besteht, mit dem die gleiche Tragfähigkeit, also die mechanisch-hydraulischen Bedingungen unterhalb des Profifußes beachtet werden. Entsprechend ist es Aufgabe der Erfindung, die unerwünschte Aufwärtsbewegung des Profils beim abschließenden Einbringvorgang kurz vor Erreichen der Endteufe zu vermeiden. Gelöst wird diese Aufgabe bei einem eingangs dargestellten Verfahren dadurch, dass kurz vor Erreichen der Endteufe über einen abschließenden Einbringvorgang die Phasenlage der arbeitenden Unwuchten von maximaler Unwuchtamplitude bis minimaler Unwuchtamplitude verstellt wird..

[0007] Damit wird die resultierende Fliehkraft kurz vor Erreichen der Endteufe erfindungsgemäß gegen null gesteuert, um die dynamische Aufwärtsbewegung des vom Vibrationsrammen beaufschlagten Profils zu verringern beziehungsweise ganz zu verhindern. Bei minimaler Unwuchtamplitude, insbesondere bei einer resultierenden Fliehkraft gleich 0 wirkt somit lediglich die über die Vibrationsrammvorrichtung aufgebrachte Auflast, sodass das einzubringende Profil am Ende des abschließenden Einbringvorgangs lediglich durch die vorhandene Auflast in den Untergrund gedrückt wird. Dies können je nach Untergrund und Abstimmung des abschließenden Einbringvorgangs bei der Verstellung der Unwuchten auch nur wenige letzte Millimeter des Einbringvorganges sein.

[0008] Dadurch, dass die Phasenverstellung über den abschließenden Einbringvorgang während der letzten 200 Perioden, bevorzugt 20 Perioden, besonders bevorzugt der letzten halben Periode der Vibrationsschwingung ($z_p(t)$) erfolgt, wird sichergestellt, dass ein ausreichender Zeitraum im Rahmen von wenigen Perioden der Vibrationsschwingung der Übergang vom normalen Vibrationsrammen zum abschließenden lediglich Eindringen des Profils in den Untergrund vorgesehen ist, wobei mit jeder weiteren Periode ab Beginn des abschließenden Einbringvorgangs durch die inkrementale Verstellung der Phase und dabei leichten Verringerung der resultierenden Fliehkraft die Aufwärtsbewegung mit jeder weiteren Periode der Vibrationsschwingung verringert wird, womit ab einer bestimmten

verringerten resultierenden Fliehkraft kein hydraulischer Grundbruch neu ausgelöst wird. Dabei wird bis zu diesem nicht genau bekannten Zeitpunkt ein fast normaler Vortrieb des Profils in den Untergrund erzielt. Nach Erreichen dieses Zeitpunkts, also dem nicht mehr Auftreten des hydraulischen Grundbruchs dürfte dann ein deutlich geringerer Vortrieb des Profils bis zum Erreichen der Endteufe erfolgen. Dabei wäre eine Verstellung binnen der letzten halben Periode aufgrund der Bodendynamik die optimale Lösung, die jedoch von der mechanisch möglichen Verstellgeschwindigkeit der Phasenlage der Unwuchten am konkreten Vibrator abhängig ist.

[0009] Wenn auf das einzubringende Profil eine Auflast aufgelastet wird, die von einer minimalen Auflast bis zu einer maximalen Auflast verstellt werden kann, wobei während des abschließenden Einbringvorgangs die momentane Auflast bis zum Erreichen der Endteufe auf die maximale Auflast erhöht wird, kann während dieses letzten Abschnitts im abschließenden Einbringvorgang, bei dem aufgrund der deutlich verringerten resultierenden Fliehkraft nur noch geringe Unwuchtamplituden auf das Profil einwirken, eine hohe Tragfähigkeit des Profils vergleichbar mit dem Rammen mit diesem quasi Eindrückvorgang erreicht werden.

[0010] Um die Verstellung der Phase der Unwuchten beim Einbringvorgang steuerungstechnisch einfach zu verwirklichen, erfolgt die Phasenverstellung der rotierenden Unwuchten durch Ansteuerung separater Drehantriebe.

[0011] Nachfolgend wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand der beiliegenden Zeichnungen detailliert beschrieben.

[0012] Darin zeigt:

Fig. 1 in einem Graphen eine durch die rotierenden Unwuchten resultierende Kraft F_R in Abhängigkeit von der Zeit t und

Fig. 2 in einem weiteren Graphen die mit dem Profil erreichte Eindringtiefe z in Abhängigkeit von der Zeit t .

[0013] Fig. 1 zeigt in einem Graphen eine durch die rotierenden Unwuchten resultierende Kraft F_R in Abhängigkeit von der Zeit t . Darin ist erkennbar, dass zum Einbringen des Profils in den Untergrund zunächst eine möglichst maximale Unwuchtamplitude als aus der Unwucht resultierende Vertikalkraft F_R periodisch auf dem Profilkopf auflastet. In Fig. 1 ist die statische Auflast durch die gestrichelte Linie definiert. Häufig sind derartige Vibratoren mit paarweise gegenläufig rotierenden Unwuchten (Unwuchtpaaren) ausgestattet, die beim Vibrationsrammen Fliehkräfte erzeugen, die sich in vertikaler Richtung addieren und in horizontaler Richtung aufheben. Aus dem daraus resultierenden, sinusförmigen Kraftverlauf bestimmen die Frequenz und das statische Moment die Amplitude der Erregerkraft. Typische Vibrationsfrequenzen liegen bei 10 Hz

bis 100 Hz, besonders bevorzugt bei 30 Hz bis 40 Hz.

[0014] In Fig. 2 ist die beim Vibrationsrammen am Profifuß erreichte Tiefe z nach unten in Abhängigkeit von der Zeit t aufgeführt ($z_P(t)$). Bei Erreichen einer vorbestimmten Endteufe, hier mittels gestrichelter Linie dargestellt, wird über einen abschließenden Einbringvorgang die Phasenlage der arbeitenden Unwuchten von maximaler Unwuchtamplitude bis minimaler Unwuchtamplitude verstellt, womit die deutliche Unwuchtamplitudenreduzierung um die weiter bestehende Auflast (gestrichelte Linie in Fig. 1) resultiert und sich gleichzeitig eine auf die Endteufe ausschwingende, abschließende leichte Abwärtsbewegung des Profifußes gemäß rechtem Ende des Graphen in Fig. 2 ergibt.

[0015] Vorteilhaft wird mit jeder weiteren Periode ab Beginn des abschließenden Einbringvorgangs durch die weitere Verstellung der Phase zwischen den Unwuchtpaaren und dabei Verringerung der resultierenden Fliehkraft die Aufwärtsbewegung mit jeder weiteren Periode der Vibrationsschwingung deutlich verringert, womit ab einer bestimmten verringerten resultierenden Fliehkraft kein hydraulischer Grundbruch unter dem Profifuß mehr ausgelöst wird. Dabei wird bis zu diesem nicht genau bekannten Zeitpunkt ein für das Vibrationsrammen üblicher Vortrieb des Profils in den Untergrund erzielt. Nach Erreichen dieses Zeitpunkts, bei dem der hydraulische Grundbruch nicht mehr auftritt, erfolgt ein deutlich geringerer Vortrieb des Profils bis zum Erreichen der Endteufe (langsame leicht schwingende Annäherung an die gestrichelte Linie in Fig. 2).

[0016] Entsprechend wird die letzte Annäherung des Profifußes zur gewünschten Endteufe (gestrichelte Linie Fig. 2) im Wesentlichen durch die statische Auflast mit nur minimal durch die auslaufende dynamische "Restunwucht" (minimale Schwingungen um die gestrichelte Linie in Fig. 1 am rechten Ende des Graphen) unterstützter Dynamik, jedoch ohne die letztendlich geforderte statische Tragfähigkeit zu schwächen, erreicht. Mit diesem Einbringverfahren ist ein Nachrammen somit nicht mehr erforderlich. Damit wird der Spitzenwiderstand am erfindungsgemäß einvibrierten Profifuß deutlich höher sein als bei herkömmlich einvibrierten Profilen, da eine Verflüssigung des Bodens infolge der nun vermiedenen Aufwärtsbewegung unterhalb des Profifußes nicht mehr auftritt.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Einbringen eines Profils in den Untergrund bis zu einer vorgegebenen Endteufe mittels eines mit Unwuchten arbeitenden Vibrators, wobei die rotierenden Unwuchten eine im Wesentlichen axial zum Profil gerichtete Vibrationsschwingung ($z_P(t)$) in das Profil einleiten und die Phasenlage der Unwuchten zwischen einer resultierenden maximalen Unwuchtamplitude und einer minimalen

Unwuchtamplitude während des Betriebs des Vibrators verstellt werden kann, **dadurch gekennzeichnet, dass** kurz vor Erreichen der Endteufe über einen abschließenden Einbringvorgang die Phasenlage der arbeitenden Unwuchten von maximaler Unwuchtamplitude bis minimaler Unwuchtamplitude verstellt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Phasenverstellung über den abschließenden Einbringvorgang während der letzten 200 Perioden, bevorzugt 20 Perioden, besonders bevorzugt der letzten halben Periode der Vibrationsschwingung ($z_p(t)$) erfolgt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** auf das einzubringende Profil eine Auflast aufgelastet wird, die von einer minimalen Auflast bis zu einer maximalen Auflast verstellt werden kann, wobei während des abschließenden Einbringvorgangs die momentane Auflast bis zum Erreichen der Endteufe auf die maximale Auflast erhöht wird.
4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Phasenlage und damit die resultierende Unwuchtamplitude der rotierenden Unwuchten durch Ansteuerung von separaten Drehantrieben erfolgt.

Fig. 1

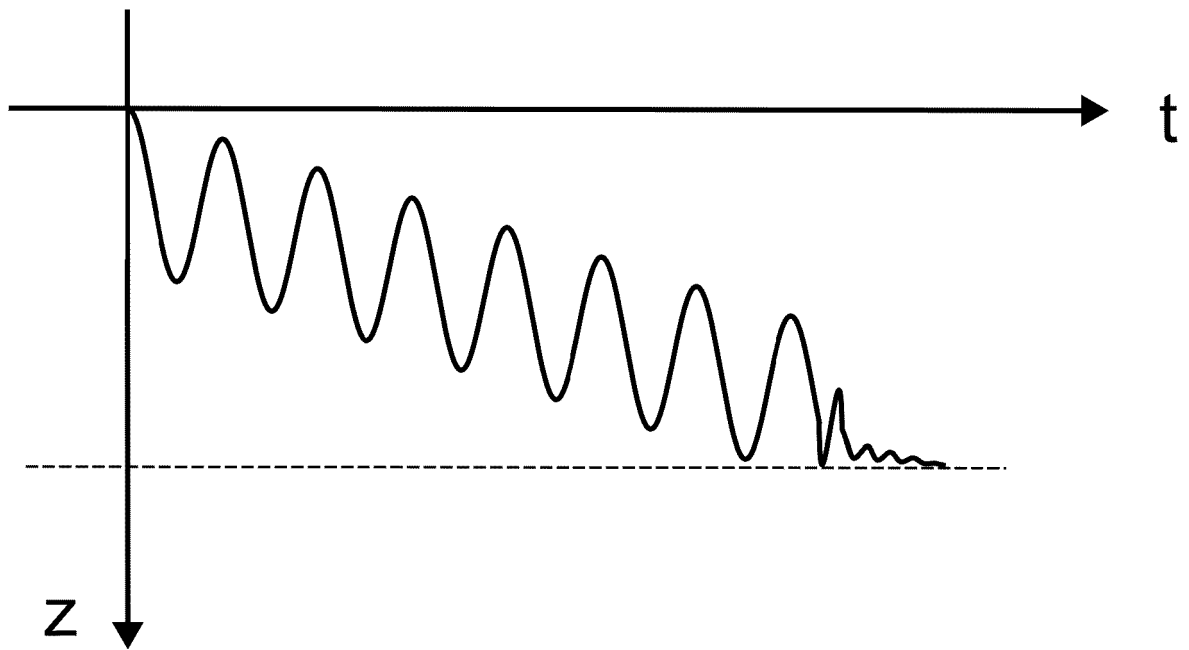
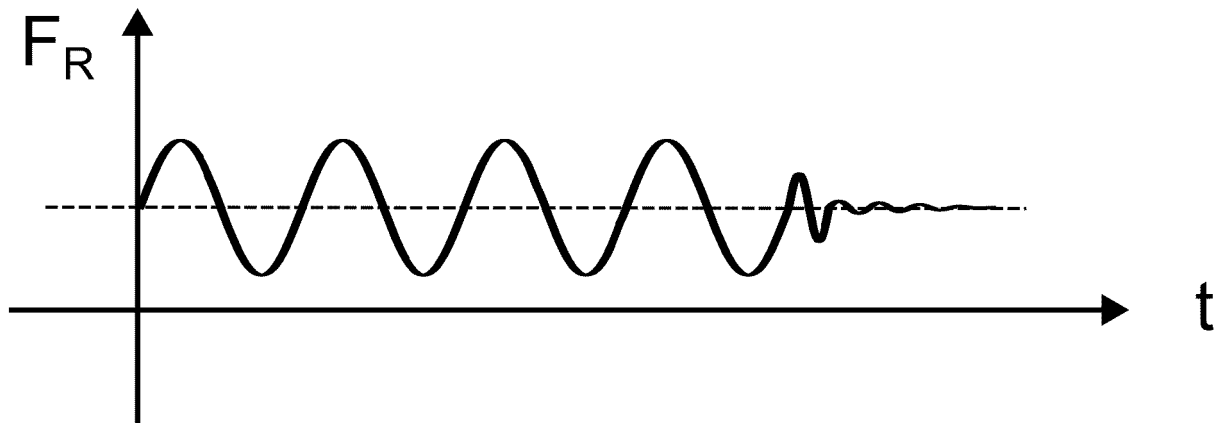


Fig. 2



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 26 16 3670

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	EP 0 577 444 A1 (PROCEDES TECH CONST [FR]) 5. Januar 1994 (1994-01-05)	1,2,4	INV. E02D7/18 B06B1/16
Y	* Zusammenfassung * * Spalte 1, Zeile 13 - Spalte 2, Zeile 34 * * Spalte 4, Zeile 35 - Spalte 15, Zeile 13; Abbildungen 1-6 *	3	
Y	DE 100 29 984 A1 (GEHBAUER FRITZ [DE]; REUSCH DIRK [DE]) 21. Februar 2002 (2002-02-21) * Ansprüche 1,3,5-7,9,10; Abbildung 1 *	3	
Y	EP 3 051 027 A1 (RWE INNOGY GMBH [DE]; INNOGY SE [DE]) 3. August 2016 (2016-08-03) * Ansprüche 1,2,7,8; Abbildung 1 *	3	
Y	WO 2024/110201 A1 (PLASSER & THEURER EXPORT VON BAHNBAUMASCHINEN GMBH [AT]) 30. Mai 2024 (2024-05-30) * Absätze [0025], [0026]; Abbildung 2 *	3	
A	WO 2017/076525 A1 (BAUER MASCHINEN GMBH [DE]) 11. Mai 2017 (2017-05-11) * das ganze Dokument *	1	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) E02D B06B
A	WO 99/58258 A1 (GEDIB INGBUERO INNOVATION [DE]; BALD HUBERT [DE]; LUDWIG BRIGITTE [DE]) 18. November 1999 (1999-11-18) * Anspruch 5; Abbildungen 1-4 *	1	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
München		26. August 2026	Koulo, Anicet
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			

1
EPO FORM 1503 03.82 (P24C03)

ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.

EP 26 16 3670

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

26-08-2026

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0577444 A1	05-01-1994	CA 2097450 A1	20-12-1993
		EP 0577444 A1	05-01-1994
		FR 2692523 A1	24-12-1993
		US 5410879 A	02-05-1995

DE 10029984 A1	21-02-2002	KEINE	

EP 3051027 A1	03-08-2016	DE 102015201502 A1	04-08-2016
		DK 3051027 T3	05-03-2018
		EP 3051027 A1	03-08-2016
		NO 2737270 T3	01-09-2018
		PL 3051027 T3	30-05-2018

WO 2024110201 A1	30-05-2024	AT 18204 U1	15-05-2024
		AU 2023384717 A1	08-05-2025
		CN 120225756 A	27-06-2025
		EP 4623155 A1	01-10-2025
		JP 2025538303 A	27-11-2025
		US 20260201654 A1	16-07-2026
		WO 2024110201 A1	30-05-2024

WO 2017076525 A1	11-05-2017	CN 108348960 A	31-07-2018
		EP 3165290 A1	10-05-2017
		WO 2017076525 A1	11-05-2017

WO 9958258 A1	18-11-1999	DE 19920348 A1	13-01-2000
		EP 1076602 A1	21-02-2001
		JP 2002514502 A	21-05-2002
		US 6504278 B1	07-01-2003
		WO 9958258 A1	18-11-1999

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

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

- EP 1967291 A1 [0002]
- EP 2789403 B1 [0002]
- EP 3051028 A1 [0005]