

(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
02. Januar 2020 (02.01.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/002324 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:		02. Mai 2019 (02.05.2019)	DE
C22C 21/08 (2006.01)	H01B 1/02 (2006.01)	10 2019 112 740.8	
C22F 1/05 (2006.01)		15. Mai 2019 (15.05.2019)	DE
(21) Internationales Aktenzeichen:	PCT/EP2019/066817	(71) Anmelder: HYDRO ALUMINIUM ROLLED PRODUCTS GMBH [DE/DE]; Aluminiumstraße 1, 41515 Grevenbroich (DE).	
(22) Internationales Anmeldedatum:	25. Juni 2019 (25.06.2019)	(72) Erfinder: ENGLER, Olaf; Krummfuhr 13, 53229 Bonn (DE). LENTZ, Martin Christoph; Karl-Barth-Str. 16, 53129 Bonn (DE). RENGEL, Mael; Speyerer Str. 36, 50736 Köln (DE). SANDSLETT, Marton; Tjordal 28, 5570 Aksdal (NO).	
(25) Einreichungssprache:	Deutsch	(74) Anwalt: COHAUSZ & FLORACK PATENT- UND RECHTSANWÄLTE PARTNERSCHAFTSGESELLSCHAFT MBB; Bleichstraße 14, 40211 Düsseldorf (DE).	
(26) Veröffentlichungssprache:	Deutsch		
(30) Angaben zur Priorität:			
10 2018 115 850.5	29. Juni 2018 (29.06.2018)	DE	
10 2019 105 598.9	06. März 2019 (06.03.2019)	DE	
10 2019 111 338.5			

(54) Title: METHOD FOR PRODUCING AN ALUMINIUM STRIP HAVING GREATER STRENGTH AND GREATER ELECTRICAL CONDUCTIVITY

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINES ALUMINIUMBANDS MIT HOHER FESTIGKEIT UND HOHER ELEKTRISCHER LEITFÄHIGKEIT

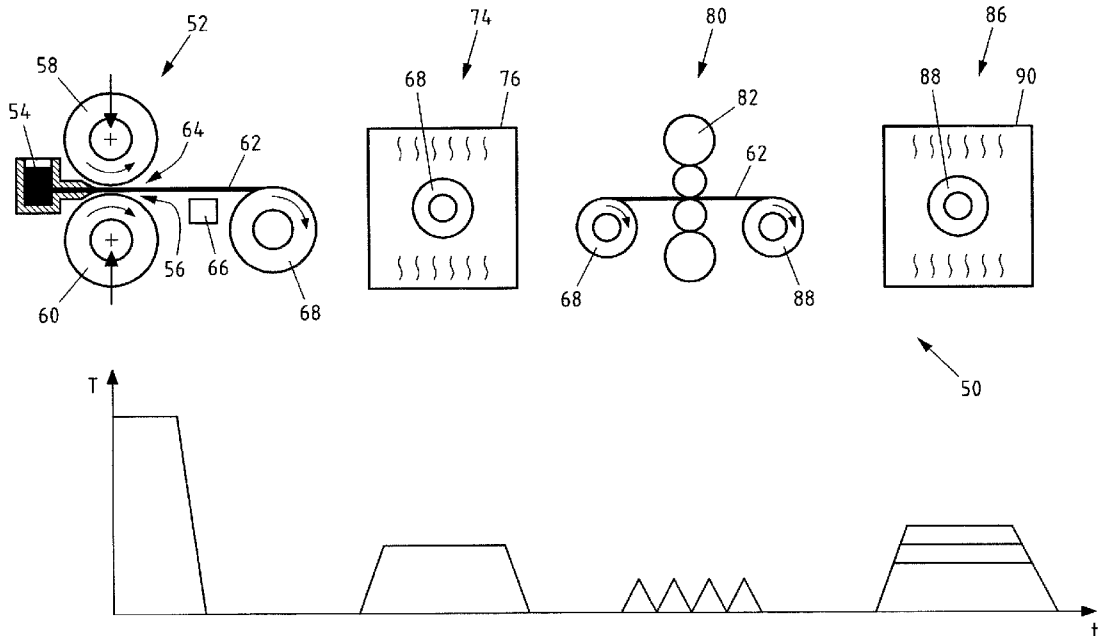


Fig.3

(57) Abstract: The invention relates to a method for producing an aluminium strip (62) having greater strength and greater electrical conductivity, in which a melt (54) of a curable aluminium alloy is cast by a continuous casting process, in particular by double-roller casting, to form an aluminium strip (62), in which the aluminium strip (62) is rolled by cold rolling to a final thickness and in which the aluminium strip (62) is artificially aged between the continuous casting process and the cold rolling. The invention also relates to a further method for producing an aluminium strip (112) having greater strength and greater electrical conductivity. The invention relates further to an aluminium strip (62) that can be produced by this method or to an aluminium product produced from said strip and to the use of the aluminium strip (62) or aluminium product for an electrical conductor, in particular for an aluminium cable.

WO 2020/002324 A1

(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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, 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)

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Aluminiumbands (62) mit hoher Festigkeit und hoher elektrischer Leitfähigkeit, bei dem eine Schmelze (54) aus einer aushärtbaren Aluminiumlegierung durch einen kontinuierlichen Gießprozess, insbesondere durch Doppelwalzengießen, zu einem Aluminiumband (62) urgeformt wird, bei dem das Aluminiumband (62) durch Kaltwalzen auf Enddicke gewalzt wird und bei dem das Aluminiumband (62) zwischen dem kontinuierlichen Gießprozess und dem Kaltwalzen warmausgelagert wird. Die Erfindung betrifft zudem ein weiteres Verfahren zur Herstellung eines Aluminiumbands (112) mit hoher Festigkeit und hoher elektrischer Leitfähigkeit. Die Erfindung betrifft weiterhin ein mit diesen Verfahren herstellbares Aluminiumband (62) bzw. ein daraus hergestelltes Aluminiumprodukt sowie die Verwendung des Aluminiumband (62) oder Aluminiumprodukts für einen elektrischen Leiter, insbesondere für ein Aluminiumkabel.

Verfahren zur Herstellung eines Aluminiumbands mit hoher Festigkeit und hoher elektrischer Leitfähigkeit

Die Erfindung betrifft Verfahren zur Herstellung eines Aluminiumbands mit hoher Festigkeit und hoher elektrischer Leitfähigkeit sowie weiter ein mit diesen Verfahren
5 herstellbares Aluminiumband oder ein aus einem solchen Aluminiumband hergestelltes Aluminiumprodukt.

Im Bereich der Aluminiumleiterwerkstoffe ist die Legierung EN AW-6101B Standard für Anwendungen, die hohe elektrische Leitfähigkeiten und Festigkeiten erfordern.
10 Diese Leiterwerkstoffe werden üblicherweise über ein Strangpressen inklusive Abschreckung und Auslagern oder über Walzprozesse, die eine separate Lösungsglühung erfordern, hergestellt.

Figur 1 zeigt ein solches Verfahren aus dem Stand der Technik zur Herstellung eines
15 Aluminiumbands für elektrische Aluminiumleiteranwendungen. Dabei sind in Figur 1 von links nach rechts die einzelnen Verfahrensschritte und in dem darunter angeordneten Temperatur-Zeit-Diagramm qualitativ und schematisch die Materialtemperatur während der Herstellung dargestellt.

Bei dem in Figur 1 gezeigten Verfahrensablauf 2 wird in einem ersten Schritt 4 im DC-Barrenguss zunächst ein Barren 6 gegossen, zum Beispiel aus der Legierung EN AW-6101B. Nach einem Homogenisierungsschritt 8 in einem Homogenisierungssofen 10 erfolgt anschließend das Warmwalzen 12 auf einem Warmwalzgerüst 14 und ein anschließendes Kaltwalzen 16 auf einem Kaltwalzgerüst 18 auf die gewünschte
25 Enddicke. Alternativ kann die Homogenisierung in das Vorwärmen auf Warmwalztemperatur integriert werden.

Um die gewünschten Materialeigenschaften hinsichtlich elektrischer Leitfähigkeit und Festigkeit zu erreichen, ist bei dieser Herstellungsweise nach dem Kaltwalzen ein Lösungsglühen 20 in einem Durchlaufofen 22 erforderlich, bevor das Material abschließend einer Warmauslagerungsglühlung 24 in einem

5 Warmauslagerungsglühofen 26 unterzogen wird, um die Festigkeit und die elektrische Leitfähigkeit des Materials wieder zu erhöhen.

Neben dem in Figur 1 dargestellten Verfahren ist aus dem Stand der Technik noch ein weiteres Verfahren zur Herstellung von Aluminiumbändern für Elektroleiter-

10 Anwendungen bekannt, und zwar aus dem Artikel „Enhancing electrical conductivity and strength in Al alloys by modification of conventional thermal-mechanical process“ von C.H. Liu et al., veröffentlicht in Materials and Design 87 (2015) 1 – 5. Gemäß diesem Artikel wurde festgestellt, dass bei dem in Figur 1 dargestellten Verfahren eine verbesserte elektrische Leitfähigkeit und Festigkeit erreicht werden kann, indem das

15 Band vor dem Kaltwalzen lösungsgeglüht und warmausgelagert wird.

Figur 2 zeigt einen entsprechenden Verfahrensablauf 30, wobei die einzelnen Verfahrensschritte wiederum von links nach rechts dargestellt sind und das darunter angeordnete Temperatur-Zeit-Diagramm qualitativ und schematisch die

20 Materialtemperatur während der Herstellung illustriert.

Bei dem Verfahren 30 erfolgt – wie beim Verfahren 2 – wiederum zunächst der DC-Barrenguss 4 und ein Homogenisieren bzw. Vorwärmen 8 mit anschließendem Warmwalzschrift zur Herstellung eines Warmbands. Anstelle des Kaltwalzens folgt

25 bei dem Verfahren 30 nun zunächst das Lösungsglühen 20 und anschließend eine Warmauslagerung 32 in einem Warmauslagerungsofen 34, bevor das Band dann schließlich auf dem Kaltwalzgerüst 18 kaltgewalzt wird. Nach dem Kaltwalzen erfolgt wiederum das Rückglühen 24 im Rückglühofen 26.

30 Mit dem in Figur 2 beschriebenen Verfahren können zwar Aluminiumleiterwerkstoffe mit guter elektrischer Leitfähigkeit, Festigkeit und Duktilität hergestellt werden. Der

Verfahrensablauf ist jedoch sehr lang und aufwändig mit vielen verschiedenen Verfahrensschritten.

5 Vor diesem Hintergrund liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein schnelleres und effizienteres Verfahren zur Verfügung zu stellen, mit denen gleichwohl gute Eigenschaften hinsichtlich elektrischer Leitfähigkeit und Festigkeit erreicht werden können.

10 Diese Aufgabe wird gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Offenbarung erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren zur Herstellung eines Aluminiumbands, bei dem eine Schmelze aus einer aushärtbaren Aluminiumlegierung durch einen kontinuierlichen Gießprozess, insbesondere Doppelwalzengießen, zu einem Aluminiumband urgeformt wird, bei dem das Aluminiumband durch Kaltwalzen auf eine Dicke gewalzt wird und bei dem das Aluminiumband zwischen dem
15 kontinuierlichen Gießprozess und dem Kaltwalzen warmausgelagert wird. Es wurde festgestellt, dass sich mit diesem Verfahren ein Aluminiumband mit einer Kombination aus guter Festigkeit und hoher elektrischer Leitfähigkeit herstellen lässt, die mit den Festigkeiten und elektrischen Leitfähigkeiten eines gemäß dem Verfahren aus Figur 1 hergestellten Aluminiumbands vergleichbar sind, jedoch bei einem
20 wesentlich verkürzten, schnelleren und wirtschaftlicheren Verfahrensablauf. Der Verfahrensablauf ist insbesondere auch kürzer, schneller und wirtschaftlicher als der Verfahrensablauf nach Figur 2.

25 Durch die Anwendung eines kontinuierlichen Gießprozesses, insbesondere des Doppelwalzgießverfahrens (englisch: twin-roll casting), werden nicht nur die bei den Verfahren gemäß Figur 1 und 2 vorgesehenen mehreren Verfahrensschritte des Barrengusses, der Homogenisierung und des Warmwalzens durch einen einzelnen kontinuierlichen Gießprozess ersetzt. Es wurde zudem festgestellt, dass das bei den Verfahrensabläufen gemäß Figur 1 und 2 erforderliche energieintensive
30 Lösungsglühen entbehrlich ist, wenn das Band durch einen kontinuierlichen Gießprozess zur Verfügung gestellt wird. Dadurch ist auch die Bereitstellung eines für

die Lösungsglühung erforderlichen Durchlaufofens entbehrlich, so dass Investitionskosten reduziert werden.

5 Entsprechend erfolgt das Kaltwalzen nach dem kontinuierlichen Gießprozess bei dem Verfahren daher vorzugsweise ohne zwischenzeitliches Lösungsglügen. Hierdurch kann eine signifikante Kosteneinsparung und Verkürzung der Prozesskette erreicht werden.

10 Bei dem Verfahren wird eine Schmelze aus einer aushärtbaren Aluminiumlegierung durch einen kontinuierlichen Gießprozess, insbesondere Doppelwalzengießen, zu einem Aluminiumband urgeformt. Bei dem kontinuierlichen Gießprozess wird die Schmelze kontinuierlich zu einem Band geformt. So wird die Schmelze zum Beispiel beim Doppelwalzengießen in den Walzenspalt zweier gekühlter Gießwalzen gegeben, so dass auf der anderen Seite der Gießwalzen ein kontinuierliches Aluminiumband
15 aus dem Walzenspalt austritt. Die Dicke des Aluminiumbands wird durch die Dicke des Walzenspalts vorgegeben.

Bei dem Verfahren wird das Aluminiumband durch Kaltwalzen auf Enddicke gewalzt. Das Kaltwalzen erfolgt insbesondere in mehreren Stichen auf einem Kaltwalzgerüst.
20

Weiterhin wird das Aluminiumband zwischen dem kontinuierlichen Gießprozess und dem Kaltwalzen warmausgelagert. Zu diesem Zweck wird das Aluminiumband vorzugsweise nach dem kontinuierlichen Gießprozess auf ein Coil aufgewickelt und dann in Coilform in einen Warmauslagerungssofen gegeben, in dem es bei einer
25 vorgegebenen Warmauslagerungstemperatur über eine vorgegebene Warmauslagerungsdauer warmausgelagert wird. Die Warmauslagerung ist vorzugsweise die einzige Wärmebehandlung des Aluminiumbands zwischen dem kontinuierlichen Gießprozess und dem Kaltwalzen.

30 Die oben genannte Aufgabe wird gemäß einem zweiten Aspekt der vorliegenden Offenbarung weiterhin erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren zur Herstellung

eines Aluminiumbands, bei dem eine Schmelze aus einer aushärtbaren Aluminiumlegierung durch einen kontinuierlichen Gießprozess, insbesondere durch Doppelwalzengießen, zu einem Aluminiumband urgeformt wird, bei dem das Aluminiumband in einem primären Kaltwalzen auf eine Zwischendicke gewalzt wird, bei dem das Aluminiumband in einem sekundären Kaltwalzen auf Enddicke gewalzt wird und bei dem das Aluminiumband zwischen dem primären Kaltwalzen und dem sekundären Kaltwalzen warmausgelagert wird.

Es wurde festgestellt, dass sich die zuvor für das Verfahren gemäß dem ersten Aspekt der vorliegenden Offenbarung beschriebenen Vorteile auch dann erreichen lassen, wenn das Aluminiumband zwischen dem kontinuierlichen Gießprozess und dem Warmauslagern zunächst einem primären Kaltwalzen unterzogen wird. Insbesondere haben Versuche ergeben, dass durch diese Verfahrensreihenfolge Festigkeiten bzw. Härten sowie elektrische Leitfähigkeiten erzielt werden konnten, die noch über den mit dem Verfahren gemäß dem ersten Aspekt erzielten Festigkeiten/Härten bzw. elektrischen Leitfähigkeiten lagen. Weiterhin erlaubt dieses Verfahren eine höhere Flexibilität beim Prozessablauf und kann logistische Vorteile bringen.

Das primäre und sekundäre Kaltwalzen erfolgen nach dem kontinuierlichen Gießprozess vorzugsweise ohne zwischenzeitliches Lösungsglügen. Hierdurch kann eine signifikante Kosteneinsparung und Verkürzung der Prozesskette erreicht werden.

Beim primären Kaltwalzen liegt der Gesamtabwalzgrad vorzugsweise bei weniger als 30%, vorzugsweise bei weniger als 20%. Auf diese Weise kann beim sekundären Kaltwalzen nach dem Warmauslagern ein ausreichend hoher Abwalzgrad für die zu erzielende Verfestigung erreicht werden. Das primäre Kaltwalzen wird vorzugsweise in nur einem Kaltwalzstich durchgeführt. Auf diese Weise wird der Verfahrensablauf vereinfacht.

Die oben genannte Aufgabe wird weiterhin erfindungsgemäß gelöst durch ein mit dem zuvor beschriebenen Verfahren gemäß dem ersten Aspekt der vorliegenden Offenbarung oder mit dem zuvor beschriebenen Verfahren gemäß dem zweiten Aspekt der vorliegenden Offenbarung herstellbares Aluminiumband bzw. durch ein
5 aus einem solchen Aluminiumband hergestellten Aluminiumlegierungsprodukt, beispielsweise einem Aluminiumblech oder einem Aluminiumkabel. Bei dem Aluminiumband bzw. Aluminiumlegierungsprodukt handelt es sich entsprechend um ein in einem kontinuierlichen Gießprozess, insbesondere im Doppelwalzenguss, hergestelltes Produkt mit einer Kombination aus guter Festigkeit und hoher
10 elektrischer Leitfähigkeit.

Es wurde festgestellt, dass mit dem zuvor beschriebenen Verfahren gemäß dem ersten Aspekt der vorliegenden Offenbarung bzw. mit dem zuvor beschriebenen Verfahren gemäß dem zweiten Aspekt der vorliegenden Offenbarung insbesondere
15 Aluminiumlegierungsbänder bzw. Produkte hergestellt werden können, die eine Festigkeit im Bereich $R_{p0,2} > 170$ MPa, insbesondere > 180 MPa, und eine elektrische Leitfähigkeit im Bereich $> 30,5$ MS/m aufweisen. Damit liegen diese Produkte deutlich oberhalb der Anforderungen gemäß DIN40501-2 für Legierungen vom Typ 6101B.

20 Es wurde zudem festgestellt, dass mit dem zuvor beschriebenen Verfahren gemäß dem ersten Aspekt der vorliegenden Offenbarung bzw. mit dem zuvor beschriebenen Verfahren gemäß dem zweiten Aspekt der vorliegenden Offenbarung insbesondere Aluminiumlegierungsbänder bzw. Produkte hergestellt werden können, deren Produkt aus $R_{p0,2}$ und elektrischer Leitfähigkeit > 6000 MPa MS/m liegt.

25 Darüber hinaus wurde festgestellt, dass mit dem zuvor beschriebenen Verfahren gemäß dem ersten Aspekt der vorliegenden Offenbarung bzw. mit dem zuvor beschriebenen Verfahren gemäß dem zweiten Aspekt der vorliegenden Offenbarung insbesondere Aluminiumlegierungsbänder bzw. Produkte hergestellt werden können,
30 die im Warmzugversuch, d.h. bei Durchführung eines Zugversuchs nach DIN EN ISO 6892-1:2017-02, jedoch bei einer erhöhten Temperatur der Zugproben, eine

Dehngrenze $R_{p0,2}$ von mindestens 160 MPa bei einer Zugproben-Temperatur von 80 °C und von mindestens 140 MPa bei einer Zugproben-Temperatur von 115 °C aufweisen.

- 5 Weiterhin wurde überraschenderweise festgestellt, dass mit dem zuvor beschriebenen Verfahren gemäß dem ersten Aspekt der vorliegenden Offenbarung bzw. mit dem zuvor beschriebenen Verfahren gemäß dem zweiten Aspekt der vorliegenden Offenbarung trotz der starken Verfestigung gute Tiefziehbarkeiten erreicht werden können. Insbesondere können mit den Verfahren
- 10 Aluminiumlegierungsbänder bzw. Produkte hergestellt werden, mit denen bzw. bei denen ein Grenzziehverhältnis von mindestens 1,9, bestimmt im Näpfchenziehversuch nach DIN EN 1669 unter schrittweiser Erhöhung des Rondendurchmesser bis zum Versagen im Ziehversuch, erreicht werden kann. Damit ist ein derartiges Aluminiumlegierungsband insbesondere zur Herstellung von Produkten durch
- 15 Kaltverformung, insbesondere Tiefziehen, geeignet.

- Ein durch einen kontinuierlichen Gießprozess und Kaltwalzen hergestelltes Produkt kann in der Praxis von einem durch Barrenguss, Warmwalzen und Kaltwalzen hergestellten Produkt durch die nur bei einem kontinuierlichen Gießprozess
- 20 auftretenden Mittenseigerungen unterschieden werden, die sich auch im fertigen Produkt nach dem Kaltwalzen wiederfinden. Dies gilt sowohl für die mit dem Verfahren gemäß dem ersten Aspekt der vorliegenden Offenbarung hergestellten Aluminiumbänder als auch durch die mit dem Verfahren gemäß dem zweiten Aspekt der vorliegenden Offenbarung hergestellten Aluminiumbänder sowie die jeweils
- 25 daraus hergestellten Produkte.

- Aufgrund der Kombination aus hoher elektrischer Leitfähigkeit und hoher Festigkeit eignet sich das Aluminiumband bzw. ein daraus hergestelltes Produkt insbesondere für Elektroanwendungen. Entsprechend wird die zuvor genannte Aufgabe
- 30 erfindungsgemäß weiterhin gelöst durch die Verwendung des zuvor beschriebenen

Aluminiumbands oder Aluminiumprodukts für einen elektrischen Leiter,
insbesondere für ein Aluminiumkabel.

Im Folgenden werden verschiedene Ausführungsformen des zuvor beschriebenen
5 Verfahrens gemäß dem ersten Aspekt der vorliegenden Offenbarung und des zuvor
beschriebenen Verfahrens gemäß dem zweiten Aspekt der vorliegenden Offenbarung
beschrieben, die jeweils unabhängig voneinander sowohl für das Verfahren gemäß
dem ersten Aspekt der vorliegenden Offenbarung als auch für das Verfahren gemäß
dem zweiten Aspekt der vorliegenden Offenbarung gelten. Weiterhin können die
10 Ausführungsformen auch untereinander kombiniert werden.

Bei einer ersten Ausführungsform wird als Aluminiumlegierung eine
Aluminiumlegierung vom Typ 6xxx verwendet. Derartige Legierungen haben sich als
besonders geeignet erwiesen für die gewünschte Kombination an
15 Materialeigenschaften aus hoher elektrischer Leitfähigkeit bei guter Festigkeit.

Bei einer weiteren Ausführungsform weist die Aluminiumlegierung folgende
Zusammensetzungen in Gew.-% auf:

20 0,2 Gew.-% ≤ Si ≤ 1,0 Gew.-%,
0,2 Gew.-% ≤ Mg ≤ 1,0 Gew.-%,
Fe ≤ 0,5 Gew.-%,
Mn ≤ 0,4 Gew.-%,
Zn ≤ 0,1 Gew.-%,
Cu ≤ 0,5 Gew.-%,
25 Zr ≤ 0,2 Gew.-%,

Verunreinigungen jeweils bis maximal 0,05 Gew.-%, insgesamt bis maximal
0,15 Gew.-%,
Rest Aluminium.

Mit dieser Legierungszusammensetzung wurden in Versuchen die gewünschten Kombinationen aus hoher elektrischer Leitfähigkeit bei guter Festigkeit erreicht. Die Bedeutung der einzelnen Legierungskomponenten wird im Folgenden erläutert:

- 5 Silizium und Magnesium bewirken die Ausscheidungshärtung des Aluminiumbands und erhöhen dadurch dessen Festigkeit. Daher ist bei der Legierung ein Mindestgehalt an Si und Mg von jeweils 0,2 Gew.-% vorgesehen. Zu große Gehalte von Si und Mg führen jedoch zu einer Verschlechterung der Leitfähigkeit. Daher sind die Gehalte von Si und Mg jeweils auf 1,0 Gew.-% begrenzt. Um für Elektroanwendungen geeignete
- 10 Festigkeiten zu erzielen, liegt der Si-Gehalt vorzugsweise im Bereich von 0,3 – 0,6 Gew.-% und/oder der Mg-Gehalt vorzugsweise im Bereich 0,35 – 0,6 Gew.-%. Für eine optimale Ausscheidungshärtung liegt das Verhältnis des Si-Gehalts zum Mg-Gehalt vorzugsweise im Bereich zwischen 1,3 und 1,5.
- 15 Eisen reduziert die elektrische Leitfähigkeit und soll daher einen Gehalt von 0,5 Gew.-%, vorzugsweise von 0,3 Gew.-% nicht überschreiten. In kleinen Mengen kann Fe jedoch enthalten sein, da ansonsten die Anforderungen an die Ausgangsmaterialien für die Schmelze zu hoch werden, wodurch sich die Herstellungskosten erhöhen. Daher liegt der Fe-Gehalt bevorzugt im Bereich 0,1 – 0,3 Gew.-%.
- 20 Mangan verschlechtert die elektrische Leitfähigkeit deutlich und ist daher auf max. 0,4 Gew.-%, bevorzugt auf max. 0,1 Gew.-% beschränkt. Andererseits führen jedoch bereits recht geringe Gehalte von Mn zu einer guten Korngrößenstabilisierung, so dass höhere Festigkeiten erreicht werden können. Daher kann es vorteilhaft sein, wenn die
- 25 Legierung in diesem Bereich auch ein Mn-Gehalt von mindestens 0,001 Gew.-% aufweist.
- Kupfer verschlechtert die elektrische Leitfähigkeit und vergrößert das Schmelzintervall, was sich negativ auf die Gießbarkeit beim Doppelwalzengießen
- 30 auswirkt, und ist daher auf max. 0,5 Gew.-%, vorzugsweise max. 0,4 Gew.-%, weiter bevorzugt max. 0,3 Gew.-%, beschränkt. Geringe Mengen an Kupfer erhöhen die

Festigkeit, die Warmfestigkeit und die Kriechbeständigkeit, so dass eine gezielte Zugabe von Cu in diesem Bereich sinnvoll sein kann.

5 Zirkonium ist schlecht für die Leitfähigkeit und erhöht die Liquidustemperatur sowie das Schmelzintervall der Legierung und ist daher auf 0,2 Gew.-% beschränkt. Vorzugsweise ist der Zr-Gehalt sogar auf 0,03 Gew.-% beschränkt, um bessere Leitfähigkeiten zu erreichen.

10 Die Verunreinigungen verschlechtern die Leitfähigkeit ebenfalls und sind daher auf 0,05 Gew.-% einzeln und 0,15 Gew.-% in Summe beschränkt, vorzugsweise sogar auf 0,03 Gew.-% einzeln und 0,10 Gew.-% in Summe, um bessere Leitfähigkeiten zu erreichen.

15 Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform weist die Aluminiumlegierung entsprechend folgende Zusammensetzung in Gew.-% auf:

0,3 Gew.-%	≤	Si	≤	0,6 Gew.-%,
0,35 Gew.-%	≤	Mg	≤	0,6 Gew.-%,
0,1 Gew.-%	≤	Fe	≤	0,3 Gew.-%,
		Mn	≤	0,1 Gew.-%,
20		Zn	≤	0,1 Gew.-%,
		Cu	≤	0,5 Gew.-%,
		Zr	≤	0,03 Gew.-%,

Verunreinigungen jeweils bis maximal 0,03 Gew.-%, insgesamt bis maximal 0,10 Gew.-%,
25 Rest Aluminium.

Die Aluminiumschmelze, die typischerweise eine Temperatur von über 670 °C aufweist, wird bei einem kontinuierlichen Gießprozess, insbesondere Doppelwalzengießen, bereits sehr schnell abgekühlt, so dass die Bandtemperatur, gemessen an der Bandoberfläche, beim Austritt aus dem Gießspalt, insbesondere aus dem Walzenspalt der zum Doppelwalzengießen verwendeten Gießwalzen, bereits

30

sehr stark abgekühlt ist. Vorzugsweise liegt die Aluminiumband-Temperatur, gemessen an der Bandoberfläche, bei Austritt aus dem Gießspalt bzw. Walzenspalt im Bereich von 300 bis 450 °C; dieser Temperaturbereich kann beispielsweise durch eine gezielte Kühlung bzw. Dimensionierung der Gießanlage für den kontinuierlichen

5 Gießprozess, insbesondere der Gießwalzen der Doppelwalzengießanlage, sowie die Gießbanddicke und die Gießgeschwindigkeit eingestellt werden. Das schnelle Abkühlen der Schmelze beim Doppelwalzenguss ergibt im Aluminiumband ein vorteilhaftes Gefüge, um die gewünschten mechanischen Eigenschaften des herzustellenden Aluminiumbands erreichen zu können.

10

Bei einer weiteren Ausführungsform wird das Aluminiumband unmittelbar nach dem kontinuierlichen Gießprozess auf eine Temperatur, gemessen an der Bandoberfläche, von unter 200 °C abgekühlt. Das Abkühlen kann beispielsweise durch aktives Kühlen erfolgen, zum Beispiel durch Vorsehen geeigneter Kühlelemente oder durch

15 Beaufschlagen des Aluminiumbands mit Luft, ggf. gekühlter Luft. Indem eine zusätzliche aktive Kühlung vorgesehen wird, die das Aluminiumband unmittelbar nach dem kontinuierlichen Gießprozess auf eine Temperatur von unter 200 °C abkühlt, können grobe Gefügebrauchungen verhindert werden, so dass sich insgesamt ein homogenerer übersättigter Mischkristall bildet, der sich positiv auf die

20 Aushärtbarkeit beim nachfolgenden Warmauslagern auswirkt.

Bei einer weiteren Ausführungsform des Verfahrens gemäß dem ersten Aspekt der vorliegenden Offenbarung wird das Aluminiumband zwischen dem kontinuierlichen Gießprozess und dem Kaltwalzen bei einer Auslagerungstemperatur im Bereich von

25 100 °C bis 210 °C, vorzugsweise 170 °C bis 190 °C, und einer Auslagerungsdauer bei der Auslagerungstemperatur im Bereich von 30 Minuten bis 10 Stunden warmausgelagert. Bei einer entsprechenden Ausführungsform des Verfahrens gemäß dem zweiten Aspekt der vorliegenden Offenbarung wird das Aluminiumband zwischen dem primären und dem sekundären Kaltwalzen bei einer

30 Auslagerungstemperatur im Bereich von 100 °C bis 210 °C, vorzugsweise 170 °C bis 190 °C, und einer Auslagerungsdauer bei der Auslagerungstemperatur im Bereich von

30 Minuten bis 10 Stunden warmausgelagert. In Versuchen hat sich dieser Parameterbereich für die Warmauslagerung zwischen dem kontinuierlichen Gießprozess und dem Kaltwalzen als vorteilhaft herausgestellt, um die gewünschte Kombination aus guter elektrischer Leitfähigkeit und hoher Festigkeit zu erreichen.

5

Durch eine kurze Ausscheidungsdauer bei relativ geringer Ausscheidungstemperatur, zum Beispiel 45 Minuten bei 185 °C, wird ein unteraltes Aluminiumband erreicht.

Die maximale Festigkeit (Zustand T6) kann durch eine Verlängerung der Auslagerungszeit auf mindestens 2 Stunden oder eine Erhöhung der Temperatur (z.B.

10 30 – 60 min bei 205°C) erreicht werden. So wurde beispielsweise in Versuchen nach einer Warmauslagerung bei 185 °C über 8 Stunden eine hohe Festigkeit erreicht.

Durch eine hohe Temperatur oberhalb von 200 °C und eine lange Auslagerungszeit von mindestens zwei Stunden entstehen grobe Ausscheidungen im Aluminiumband, so dass das Aluminiumband in den überalterten Bereich (Zustand T7) gelangt. In

15 Versuchen wurde dieser Zustand beispielsweise bei einer Auslagerungstemperatur von 205 °C über 8 Stunden erzielt. Der überalterte Zustand kann auch durch Glühungen bei höheren Temperaturen bis 300°C erzeugt werden.

Die Zustände T6, T7 etc. beziehen sich jeweils auf die Definition in Norm EN 515:1993.

20

Bei einer weiteren Ausführungsform wird das Aluminiumband nach dem Kaltwalzen rückgeglüht. Das Rückglühen führt zu einer Absenkung der Festigkeit bei gleichzeitiger Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit und der Duktilität. Dabei steigt die elektrische Leitfähigkeit und sinkt die Festigkeit umso mehr, je höher die

25 Rückglühtemperatur ist und je länger die Rückglühdauer ist. Durch die Rückglühung kann damit das gewünschte Verhältnis von elektrischer Leitfähigkeit und Festigkeit des Aluminiumbands eingestellt werden. Im Falle des Verfahrens gemäß dem zweiten Aspekt der vorliegenden Offenbarung erfolgt das Rückglühen bei einer entsprechenden Ausführungsform nach dem sekundären Kaltwalzen.

30

Ein besonders guter Kompromiss zwischen elektrischer Leitfähigkeit und Festigkeit kann erreicht werden bei einer Rückglühtemperatur im Bereich von 160 °C bis 210 °C, vorzugsweise 180 °C bis 190 °C und einer Rückglühdauer bei Rückglühtemperatur von mindestens 2 Stunden, vorzugsweise im Bereich von 2 bis 5 Stunden.

- 5 Insbesondere wurde festgestellt, dass die größten Änderungen von elektrischer Leitfähigkeit und Festigkeit innerhalb der ersten zwei Stunden der Rückglühung erfolgen, während sich diese Eigenschaften in der nachfolgenden Glühzeit deutlich weniger ändern. Durch die Beschränkung der Rückglühzeit auf einen Zeitraum von 2 bis 5 Stunden kann daher der Rückglüheffekt im Wesentlichen erreicht werden, ohne
10 dass unnötig Energie und Zeit durch eine überlange Rückglühbehandlung vergeudet wird.

- Bei einer weiteren Ausführungsform wird das Aluminiumband beim Kaltwalzen auf eine Enddicke im Bereich von 0,2 bis 3 mm gewalzt. Für Anwendungen in der
15 elektrischen Leitertechnik haben sich diese Enddicken als geeignet herausgestellt.

- Bei einer weiteren Ausführungsform beträgt der Gesamtumformgrad beim Kaltwalzen (Gesamtabwalzgrad beim Kaltwalzen) über 50%. Das Material wird demnach beim Kaltwalzen vorzugsweise um mehr als die Hälfte in der Dicke reduziert. Durch diesen
20 hohen Umformgrad kann eine höhere Festigkeit des herzustellenden Aluminiumbands erreicht werden. Bei einer entsprechenden Ausführungsform des Verfahrens gemäß dem zweiten Aspekt der vorliegenden Offenbarung beträgt der Gesamtumformgrad beim primären und sekundären Kaltwalzen zusammen, d.h. der Gesamtumformgrad vom ersten Stich des primären Kaltwalzens bis zum letzten Stich des sekundären
25 Kaltwalzens, über 50%. Vorzugsweise beträgt der Gesamtumformgrad beim sekundären Kaltwalzen allein über 50%.

- Gleichzeitig wurde festgestellt, dass der Abwalzgrad beim Kaltwalzen bei den hier beschriebenen Verfahren nur geringen Einfluss auf die Leitfähigkeit hat, so dass mit
30 einem Abwalzgrad beim Kaltwalzen von über 50% gleichzeitig eine hohe Festigkeit mit guter Leitfähigkeit erreicht werden kann.

Das Kaltwalzen erfolgt vorzugsweise ohne Zwischenglühen. Dies erleichtert das Erreichen des Gesamtabwalzgrades beim Kaltwalzen nach dem letzten Glühen, so dass höhere Festigkeiten erreicht werden können. Darüber hinaus führt eine

- 5 Zwischenglühung zur Vergrößerung der härtenden Ausscheidungen, was zu einem ungewollten Festigkeitsverlust führen kann.

Bei einer entsprechenden Ausführungsform des Verfahrens gemäß dem zweiten Aspekt der vorliegenden Offenbarung erfolgen das primäre und das sekundäre

- 10 Kaltwalzen vorzugsweise ohne Zwischenglühen. Demnach findet zwischen den einzelnen Stichen des primären und des sekundären Kaltwalzens kein Zwischenglühen statt, wobei das primäre Kaltwalzen vorzugsweise ohnehin nur einen Stich umfasst.

- 15 Das zwischen dem primären und sekundären Kaltwalzen vorgesehene Warmauslagern ist grundsätzlich von einem Zwischenglühen zu unterscheiden. Während das Zwischenglühen zum Weichglühen des Aluminiumbands dient und daher hohe Temperaturen, insbesondere von mehr als 300 °C erfordert, erfolgt das Warmauslagern bei geringeren Temperaturen von höchstens 300 °C, vorzugsweise
- 20 höchstens 250 °C.

Wenn jedoch eine Zwischenglühung durchgeführt wird, beträgt der Abwalzgrad nach dem Zwischenglühen vorzugsweise über 50%, um eine gute Festigkeit zu erreichen.

- 25 Bei einer weiteren Ausführungsform wird das Aluminiumband mit einer Banddicke im Bereich von 3 bis 12 mm urgeformt. Diese Banddicken haben sich als geeignet herausgestellt, um einerseits eine rasche Abkühlung des Aluminiumbands beim kontinuierlichen Gießprozess und ggf. unmittelbar anschließendem aktiven Kühlen zu erreichen, sowie um beim Kaltwalzen die gewünschten Abwalzgrade mit den
- 30 gewünschten Enddicken erreichen zu können.

Für die Bestimmung der mechanischen Eigenschaften $R_{p0,2}$, R_m und A_{50mm} wird auf den Zugversuch gemäß DIN EN ISO 6892-1:2017-02 verwiesen. Für die Bestimmung der Vickershärte wird auf DIN EN ISO 6507-1:2006-03 und für die Bestimmung der Brinellhärte HBW 2.5/31.25 auf die EN ISO 6506-1 2015-2 verwiesen. Für die

5 Bestimmung der Leitfähigkeit wird auf das Wirbelstromverfahren nach DIN EN 2004-1 1993-09 verwiesen.

Weitere Merkmale und Vorteile der Verfahren und der damit herstellbaren Aluminiumbänder bzw. Produkte ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung

10 von Ausführungsbeispielen und Versuchen, wobei auf die beigegefügte Zeichnung Bezug genommen wird.

In der Zeichnung zeigen

- 15 Fig. 1 ein erstes Verfahren zur Herstellung eines Aluminiumbands aus dem Stand der Technik,
- Fig. 2 ein zweites Verfahren zur Herstellung eines Aluminiumbands aus dem Stand der Technik,
- 20 Fig. 3 ein Ausführungsbeispiel des vorliegend beschriebenen Verfahrens zur Herstellung eines Aluminiumbands gemäß dem ersten Aspekt der vorliegenden Offenbarung,
- 25 Fig. 4 & 5 Messergebnisse zur elektrischen Leitfähigkeit und Härte einer ersten und einer zweiten Versuchsreihe,
- Fig. 6 & 7 Messergebnisse zur elektrischen Leitfähigkeit und zu Festigkeitsparametern der Versuchsreihen,
- 30 Fig. 8 ein Schlibbild eines Aluminiumprodukts mit Mittenseigerungen,

- Fig. 9 Messergebnisse zur elektrischen Leitfähigkeit und zur Brinellhärte weiterer Versuchsreihen (ohne Rückglühung),
- 5 Fig. 10 Messergebnisse zur elektrischen Leitfähigkeit und zur Brinellhärte weiterer Versuchsreihen (nach Rückglühung),
- Fig. 11 Messergebnisse zu mechanischen Eigenschaften abhängig von der Dicke und der Rückglühung,
- 10 Fig. 12 Messergebnisse zu mechanischen Eigenschaften abhängig von der Dicke,
- Fig. 13 Messergebnisse zu mechanischen Eigenschaften aus
- 15 Warmzugversuchen,
- Fig. 14 Messergebnisse zur elektrischen Leitfähigkeit und zu mechanischen Eigenschaften vor und nach der Warmauslagerung,
- 20 Fig. 15 ein Ausführungsbeispiel des vorliegend beschriebenen Verfahrens zur Herstellung eines Aluminiumbands gemäß dem zweiten Aspekt der vorliegenden Offenbarung und
- Fig. 16 Messergebnisse zur elektrischen Leitfähigkeit und zur Brinellhärte von
- 25 weiterer Versuchsreihen.

Die Figuren 1 und 2 zeigen die bereits zuvor beschriebenen Verfahren aus dem Stand der Technik.

- 30 Figur 3 zeigt nun ein Ausführungsbeispiel des vorliegend beschriebenen Verfahrens zur Herstellung eines Aluminiumbands mit hoher Festigkeit und hoher elektrischer

Leitfähigkeit gemäß dem ersten Aspekt der vorliegenden Offenbarung. In Figur 3 sind die einzelnen Verfahrensschritte schematisch von links nach rechts dargestellt. Das darunter abgebildete Temperatur-Zeit-Diagramm illustriert qualitativ und schematisch die jeweilige Materialtemperaturen bei den einzelnen

5 Verfahrensschritten.

Bei dem Verfahren 50 erfolgt im ersten Verfahrensschritt 52 ein kontinuierlicher Gießprozess, vorzugsweise ein Doppelwalzengießen 52. Bei dem Doppelwalzengießen wird eine Schmelze 54 aus einer Aluminiumlegierung in den Walzenspalt 56 zweier rotierender Gießwalzen 58, 60 gegeben, so dass die Aluminiumschmelze 54 erstarrt und ein kontinuierliches Aluminiumband 62 bildet. Der Walzenspalt 56 ist vorzugsweise so eingestellt, dass die Dicke des Aluminiumbands 62 im Bereich 3 bis 12 mm liegt.

15 Die Schmelze 54 besteht aus einer aushärtbaren Aluminiumlegierung und weist vorzugsweise folgende Zusammensetzungen in Gew.-% auf:

0,3 Gew.-% ≤ Si ≤ 0,6 Gew.-%,

0,35 Gew.-% ≤ Mg ≤ 0,6 Gew.-%,

0,1 Gew.-% ≤ Fe ≤ 0,3 Gew.-%,

20 Mn ≤ 0,1 Gew.-%,

Zn ≤ 0,1 Gew.-%,

Cu ≤ 0,5 Gew.-%,

Zr ≤ 0,03 Gew.-%,

Verunreinigungen jeweils bis maximal 0,03 Gew.-%, insgesamt bis maximal 0,10 Gew.-%,

Rest Aluminium.

Die beiden Gießwalzen 58, 60 werden vorzugsweise so gekühlt, so dass die Temperatur des Aluminiumbands 62, gemessen an der Bandoberfläche, am Ort 64 des Austritts aus dem Walzenspalt 56 eine Temperatur im Bereich von 450 bis 300 °C aufweist. Weiterhin wird das Aluminiumband 62 vorzugsweise unmittelbar nach dem

Austritt aus dem Walzenspalt 56 weiter gekühlt auf eine Temperatur, gemessen an der Bandoberfläche, von unter 200 °C. Zu diesem Zweck kann eine Kühleinrichtung 66 hinter dem Walzenspalt angeordnet sein, durch die das Aluminiumband 62 beispielsweise mit einem kühlenden Luftstrom beaufschlagt werden kann. Durch die
5 hinreichend schnelle Abkühlung des Aluminiumbands 62 wird ein übersättigtes Mischkristallgefüge erreicht. Nach dem Kühlen wird das Aluminiumband 62 zu einem Coil 68 aufgewickelt.

Im nächsten Verfahrensschritt 74 wird das Coils 68 in einem Warmauslagerungssofen
10 76 warmausgelagert, und zwar vorzugsweise bei einer Warmauslagerungstemperatur im Bereich von 100 °C bis 210 °C, vorzugsweise 170 °C bis 190 °C, und für eine Warmauslagerungsdauer (bei der Warmauslagerungstemperatur) im Bereich von 30 Minuten bis 10 Stunden. Das Warmauslagern führt zu einer Ausscheidungsverfestigung des Aluminiumbands 62.

15

Nach dem Warmauslagern wird das Aluminiumband 62 im nächsten Verfahrensschritt 80 auf einem Kaltwalzgerüst 82 auf Enddicke kaltgewalzt. Das Kaltwalzen erfolgt in mehreren Stichen ohne Zwischenglühen und mit einem Gesamtabwalzgrad von mehr als 50%. Die Enddicke des Aluminiumbands 62 liegt
20 vorzugsweise im Bereich von 0,5 bis 3 mm.

Im nachfolgenden (optionalen) Verfahrensschritt 86 wird das wieder zu einem Coil 88 aufgewickelte Aluminiumband in einem Rückglühofen 90 rückgeglüht. Grundsätzlich können für die Auslagerung in Verfahrensschritt 74 und für die Rückglühung in
25 Verfahrensschritt 86 verschiedene Öfen oder auch ein und derselbe Ofen genutzt werden. Die Rückglühung erfolgt vorzugsweise bei einer Rückglühetemperatur im Bereich von 160 °C bis 210 °C, insbesondere 180 °C bis 190 °C, und bei einer Rückglühdauer (bei der Rückglühetemperatur) von mindestens 2 Stunden, vorzugsweise 2 bis 5 Stunden. Durch die Rückglühung wird ein Anstieg der
30 elektrischen Leitfähigkeit und der Duktilität bei gleichzeitiger Reduktion der

Festigkeit bewirkt. Auf diese Weise kann das gewünschte Verhältnis von Festigkeit und elektrischer Leitfähigkeit bedarfsgemäß eingestellt werden.

Insgesamt kann mit dem Verfahren 50 in Figur 3 ein Aluminiumband hergestellt werden, das eine gute Festigkeit mit hoher elektrischer Leitfähigkeit vereint. Gegenüber den Verfahren aus Figur 1 und 2 kommt das Verfahren 50 in Figur 3 nicht nur mit wesentlich weniger Verfahrensschritten aus, sondern insbesondere auch ohne das energieaufwändige und – aufgrund des hierfür notwendigen Durchlaufofens – investitionsaufwändige Lösungsglühen (Verfahrensschritt 20 in Figur 1 bzw. 2), so dass das Verfahren 50 schneller und wirtschaftlicher durchgeführt werden kann.

Im Rahmen der Erfindung wurden Versuche durchgeführt, um die Eigenschaften von mit dem Verfahren aus Figur 3 hergestellten Aluminiumbändern zu untersuchen. Diese werden im Folgenden erläutert.

Aus einer Aluminiumlegierungsschmelze wurde im Doppelwalzenguss ein Aluminiumband mit einer Dicke von 5 mm gegossen und anschließend in mehrere Bandabschnitte aufgeteilt. Die Zusammensetzung der Aluminiumschmelze ist in der nachfolgenden Tabelle 1 angegeben (alle Angaben in Gew.-%):

Si	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	Zr	Ti	Cr	Al
0,49	0,48	0,15	0,0016	0,0018	0,0004	-	0,017	0,0006	Rest

Tabelle 1

Einige der Bandabschnitte des Aluminiumbands wurden dann jeweils einer Warmauslagerung mit verschiedenen Warmauslagerungstemperaturen und –dauern unterzogen. Die genauen Warmauslagerungsparameter sind in der Tabelle 2 unten aufgeführt.

Nach der Warmauslagerung wurden die betreffenden Bandabschnitte in mehreren Stichen ohne Zwischenglühen jeweils auf eine Enddicke von 1 mm kaltgewalzt. Der

Gesamtumformungsgrad beim Kaltwalzen betrug also 80%. Die Dickenabnahme pro Stich betrug jeweils 10%.

Diese kaltgewalzten Bandabschnitte wurden wiederum jeweils in mehrere

- 5 Probenabschnitte aufgeteilt. An einigen dieser Probenabschnitte wurde dann – mit verschiedenen Rückglüh-temperaturen und verschiedenen Rückglüh-dauern – jeweils eine Rückglühung durchgeführt.

Die Verfahrensparameter der durchgeführten Versuchsreihen sind in der folgenden

- 10 Tabelle 2 angegeben:

Versuchs-Reihe	Auslagerungs-temperatur	Auslagerungs-dauer	Rückglüh-temperatur	Rückglüh-dauer
B1	185 °C	45 min.	keine Rückglühung	
B2	185 °C	45 min.	165 °C	verschiedene
B3	185 °C	45 min.	185 °C	verschiedene
B4	185 °C	45 min.	205 °C	verschiedene
C1	185 °C	8 h	keine Rückglühung	
C2	185 °C	8 h	165 °C	verschiedene
C3	185 °C	8 h	185 °C	verschiedene
C4	185 °C	8 h	205 °C	verschiedene
D1	205 °C	8 h	keine Rückglühung	
D2	205 °C	8 h	165 °C	verschiedene
D3	205 °C	8 h	185 °C	verschiedene
D4	205 °C	8 h	205 °C	verschiedene

Tabelle 2

- 15 Mit den jeweiligen Auslagerungsparametern entsprechen die Versuchsreihen B1-4 dem unteralterten Zustand, die Versuchsreihen C1-4 dem Zustand T6 und die Versuchsreihen D1-4 dem Zustand T7 (überaltert), wobei sich diese Bezeichnungen (unteraltert, T6, T7) auf die ausgelagerten Gießbänder beziehen.

Bei den Versuchsreihen B2-4, C2-4 und D2-4 wurden jeweils die Rückglühdauern zwischen 30 Minuten und 16 Stunden variiert.

- 5 Als Vergleichsbeispiele wurden weitere Bandabschnitte des mit der in Tabelle 1 aufgeführten Aluminiumlegierung im Doppelwalzenguss mit einer Dicke von 5 mm gegossenen Aluminiumbands verarbeitet. Anders als bei den zuvor beschriebenen Versuchen wurden diese Vergleichs-Bandabschnitte jedoch nicht warmausgelagert sondern ohne Auslagerung unmittelbar auf die Enddicke von 1 mm kaltgewalzt, und
10 zwar wiederum in mehreren Stichen und ohne Zwischenglühen.

Anschließend wurden diese Vergleichs-Bandabschnitte (analog zum Verfahren aus Fig. 1) bei 530 °C und einer Haltezeit von 15 Minuten in einem Sandbadofen, der einen Durchlaufofen auf Laborebene simuliert, lösungsgeglüht und anschließend mit Wasser
15 abgeschreckt. Die auf diese Weise hergestellten Produkte wurde jeweils in mehrere Vergleichsprobenabschnitte zerteilt, von denen einige anschließend bei 205 °C mit einer Haltezeit von 45 Minuten (Zustand T6) und andere bei 205 °C mit einer Haltezeit von 8 Stunden (Zustand T7) warmausgelagert wurden. Die nachfolgende Tabelle 3 gibt die einzelnen Verfahrensparameter der Vergleichsbeispiele an:

20

Vergleichs- beispiel	Lösungsglühung		Warmauslagerung nach Lösungsglühung	
	Temperatur	Dauer	Temperatur	Dauer
A1	530 °C	15 min.	205 °C	45 min.
A2	530 °C	15 min.	205 °C	8 h

Tabelle 3

An den einzelnen Proben der Versuchsreihen B1-D4 und der Vergleichsbeispiele A1 und A2 wurde jeweils die elektrische Leitfähigkeit mit dem Wirbelstromverfahren
25 nach DIN EN 2004-1 1993-09 gemessen. Zur Beurteilung der mechanischen Eigenschaften wurde zudem die Vickershärte gemäß DIN EN ISO 6507-1:2006-03

bestimmt. Weiterhin wurden an einigen Proben Zugversuche durchgeführt und die Zugfestigkeit R_m , die Dehngrenze $R_{p0,2}$ und die Bruchdehnung A_{50mm} gemäß DIN EN ISO 6892-1:2017-02 bestimmt.

- 5 Die (Vickers)Härte eines Materials ist mit dessen Festigkeit korreliert. Durch die Bestimmung der Vickershärte kann damit auf einfache Weise auch auf die Festigkeit rückgeschlossen werden. Grundsätzlich kann hier davon ausgegangen werden, dass eine höhere Vickershärte auch mit einer höheren Festigkeit (R_m bzw. $R_{p0,2}$) einhergeht und umgekehrt.

10

Figur 4 zeigt die Messergebnisse der elektrischen Leitfähigkeits-Messung sowie der Vickershärte-Messung für die Versuchsreihen C1-4. Figur 5 zeigt die Messergebnisse der elektrischen Leitfähigkeits-Messung sowie der Vickershärte-Messung für die Versuchsreihen D1-4. Auf der horizontalen Abszissenachse sind die jeweiligen

15

Rückglühauern in Stunden, auf der linken Ordinatenachse die elektrische Leitfähigkeit in MS/m (Mega-Siemens pro Meter) und auf der rechten Ordinatenachse die Vickershärte HV (einheitslose Größe) aufgetragen. Die Ergebnisse bei „0 h“ entsprechen den Versuchen C1 bzw. D1, d.h. den Versuchen ohne Rückglühung. Die Ergebnisse der einzelnen Versuchsreihen C2, C3, C4 bzw. D2, D3, D4 sind in den

20

Figuren 4 und 5 durch Kurven miteinander verbunden, die der besseren Zuordenbarkeit dienen. Weiterhin sind in den Figuren 4 und 5 auch die bei den Vergleichsproben A1 und A2 erzielten Werte für die elektrische Leitfähigkeit (Pfeile links) sowie für die Vickershärte (Pfeile rechts) aufgetragen.

25

Figur 6 zeigt die Ergebnisse der Zugversuche, und zwar von links nach rechts zunächst von den Proben der Versuche B1, C1 und D1 (d.h. im Zustand wie gewalzt („as rolled“) ohne Rückglühung) und rechts daneben von den Proben der Vergleichsversuche A1 und A2. Dargestellt sind als Balken jeweils die Zugfestigkeit R_m (jeweils rechter Balken) und die Dehngrenze $R_{p0,2}$ (jeweils linker Balken) mit der zugehörigen Achse auf der linken Seite (in MPa) sowie die Bruchdehnung A_{50mm} als durch Linien verbundene Punkte mit der zugehörigen Achse auf der rechten Seite (in %). Über den

30

Balken sind zudem die zugehörigen Ergebnisse der elektrischen Leitfähigkeits-Messung angegeben.

Figur 7 zeigt ebenfalls Ergebnisse der Zugversuche, und zwar von Proben der
5 Versuchsreihen B3, C3, D3 sowie B4, C4, D4. Das Diagramm zeigt von links nach rechts die Ergebnisse der Proben von B3, C3 und D3 bei einer Rückglühdauer von 5 h bei 185°C, dann die Ergebnisse der Proben von B3, C3 und D3 bei einer Rückglühdauer von 8 h bei 185°C und schließlich die Ergebnisse der Proben von B4, C4 und C4 bei einer Rückglühdauer von 8 h bei 205°C. Die Ergebnisse für R_m , $R_{p0,2}$ und A_{50mm} sind
10 wie bei Figur 6 aufgetragen. Für die Proben von B3, C3 und D3 bei einer Rückglühdauer von 8 h sind zudem die Ergebnisse der elektrischen Leitfähigkeits-Messung angegeben.

Aus den Figuren 4 und 5 ist ersichtlich, dass die Rückglühbehandlung zu einer
15 Reduzierung der Härte (bzw. Festigkeit) bei gleichzeitiger Verbesserung der elektrischen Leitfähigkeit führt. Es ist weiterhin ersichtlich, dass die größte Änderung innerhalb der ersten 2 Stunden eintritt, während sich die elektrische Leitfähigkeit und die Härte danach nur noch in geringem Maße ändern.

20 Durch die geeignete Einstellung der Rückglühtemperatur und der Rückglühdauer können damit die gewünschten Verhältnisse zwischen elektrischer Leitfähigkeit und Härte bzw. Festigkeit eingestellt werden. Die in den Figuren 4 und 5 ebenfalls eingetragenen Ergebnisse der Vergleichsversuche A1 und A2 zeigen, dass durch die Kombination des kontinuierlichen Gießprozesses mit dem Warmauslagern vor dem
25 Kaltwalzen gemäß dem hier beschriebenen Verfahren bessere elektrische Leitfähigkeiten erreicht werden können als mit dem Vergleichsverfahren, bei dem keine Warmauslagerung vor dem Kaltwalzen erfolgt (Vergleichsbeispiele A1, A2).

Wie zudem die Ergebnisse in den Figuren 6 und 7 zeigen, können mit dem hier
30 beschriebenen Verfahren bessere Verhältnisse von elektrischer Leitfähigkeit und Festigkeit erreicht werden als mit den Vergleichsversuchen A1 und A2.

Die DIN 40501-2 definiert für Aluminiumprodukte in Elektroanwendungen der Legierung EN AW-6101B folgende Mindestwerte für die Festigkeit und elektrische Leitfähigkeit:

5

Zustand	Rp0,2 [MPa]	Rm [MPa]	A50mm [%]	elektrische Leitfähigkeit [MS/m]
T6	160	215	6	30,0
T7	120	170	10	32,0

Tabelle 4

Der Vergleich dieser Vorgaben mit den Ergebnissen in Figur 6 zeigt, dass mit dem hier beschriebenen Verfahren in den Versuchsreihen C und D selbst ohne Rückglühung
 10 sogar bereits bessere elektrische Leitfähigkeiten erreicht werden können, als durch die Norm im Zustand T7 gefordert wird, und dies bei erheblich höherer Festigkeit (R_m , $R_{p0,2}$) als durch die Norm gefordert.

Wie aus Figur 7 ersichtlich, lässt sich die Leitfähigkeit durch eine Rückglühung bei
 15 immer noch hoher Festigkeit noch weiter verbessern.

Die Versuche zeigen insbesondere, dass sich mit dem beschriebenen Verfahren Aluminiumlegierungsbänder bzw. daraus hergestellte Produkte herstellen lassen, deren Festigkeit im Bereich $R_{p0,2} > 170$ MPa, insbesondere > 180 MPa, und deren
 20 elektrische Leitfähigkeit im Bereich $> 30,5$ MS/m liegt. Insbesondere das erreichbare Produkt aus $R_{p0,2}$ und elektrischer Leitfähigkeit von über 6000 MPa MS/m liegt deutlich oberhalb der Anforderungen gemäß DIN40501-2 für Legierungen vom Typ 6101B. Exemplarisch sind die genauen Werte einiger Versuche (B1, C1, D1 sowie B3, C3, D3, letztere jeweils mit 8h Rückglühdauer) aus den Figuren 4 – 7 noch einmal in
 25 der nachfolgenden Tabelle 5 aufgeführt und den Werten der DIN40501-2 gegenübergestellt:

Versuch	Leitfähigkeit (MS/m)	Rp02 (MPa)	Rp02 x Leitfähigkeit (MPa x MS/m)
B1	30,9	241	7447
C1	32,2	250	8050
D1	32,7	227	7423
B3 (8h)	33,4	193	6446
C3 (8h)	33,4	192	6413
D3 (8h)	33,5	184	6164
Vorgaben für 6101B entsprechend DIN40501-2:			
T6	>30,0	>160	4800
T7	>32,0	>120	3840

Tabelle 5

Zusammengefasst ermöglicht das hier beschriebene Verfahren damit die Herstellung von Aluminiumbändern bzw. daraus erzeugten Produkten mit hoher elektrischer Leitfähigkeit und hoher Festigkeit. Dies wird zudem bei einem gegenüber den bisherigen Verfahren (vgl. Fig. 1 und 2) deutlich verkürzten Herstellungsprozess erreicht, der insbesondere ohne aufwändige Lösungsglühlung auskommt. Damit lassen sich für Elektroanwendungen geeignete Aluminiumbänder in kürzerer Zeit und wirtschaftlicher herstellen.

Aluminiumprodukte, die aus einem mit kontinuierlichem Gießen hergestellten Aluminiumband produziert wurden, lassen sich durch die bei diesen Aluminiumprodukten vorhandenen Mittenseigerungen von solchen Aluminiumprodukten unterscheiden, die aus einem mit diskontinuierlichem Gießen (insb. Barrenguss) hergestellten Aluminiumband produziert wurden. Die Mittenseigerungen entstehen beim schnellen Abkühlen des im kontinuierlichen Gießverfahren gegossenen Aluminiumbands von außen nach innen und bleiben auch bei der nachfolgenden Prozessierung (Auslagerung, Kaltwalzen etc.) erhalten. Bei diskontinuierlichen Gießverfahren (insb. Barrenguss) treten derartige Mittenseigerungen nicht auf.

- Figur 8 zeigt exemplarisch ein Dicken-Schliffbild eines Probenabschnitts aus der Versuchsreihe B1. Für das Schliffbild wurde aus dem Probenabschnitt ein Blechstück ausgeschnitten und an einer Seitenkante geschliffen. Die geschliffene Seitenkante wurde dann fotografiert; Fig. 8 zeigt einen Ausschnitt dieser Fotografie. Die Position dieses Ausschnitts an der Seitenkante des für das Schliffbild verwendeten Blechstücks ist in Fig. 8 schematisch angedeutet. Wie dargestellt deckt der gezeigte Ausschnitt nicht die gesamte Dicke der Seitenkante ab sondern zeigt einen mittigen Ausschnitt, in dem die Mittenseigerungen auftreten.
- 10 In dem Dicken-Schliffbild ist in der Mitte ein dunkler Streifen zu erkennen. Hierbei handelt es sich um die beim kontinuierlichen Gießverfahren in der Blechmitte (in Bezug auf die Blechdicke) entstandenen Mittenseigerungen. Die Bereiche darüber und darunter (d.h. die näher an der Ober- bzw. Unterseite liegenden Bereiche) erscheinen demgegenüber hell, da in diesen Bereichen die blanke Aluminiumoberfläche ohne bzw. mit nur minimalen Seigerungen sichtbar ist.

Im Rahmen der Erfindung wurden weitere Versuche durchgeführt, um die Eigenschaften von mit dem Verfahren aus Fig. 3 hergestellten Aluminiumbändern zu untersuchen. Diese werden im Folgenden erläutert.

20

Im Doppelwalzenguss wurden drei Aluminiumbänder W1, W2 und W3 mit einer Dicke von je 5.0 mm gegossen. Die Zusammensetzungen der Aluminiumbänder W1, W2 und W3 sind in der nachfolgenden Tabelle 6 angegeben (alle Angaben in Gew.-%):

	Si	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	Zr	Ti	Cr	Al
W1	0,49	0,46	0,15	0,0012	0,0025	0,0003	0,012	0,011	0,0004	Rest
W2	0,50	0,48	0,15	0,0011	0,0025	0,0003	0,012	0,012	0,0004	Rest
W3	0,48	0,47	0,14	0,0011	0,0025	0,0003	0,012	0,011	0,0003	Rest

25

Tabelle 6

Die beiden Aluminiumbänder W1 und W2 wurden dann jeweils einer Warmauslagerung mit 8 h Haltezeit unterzogen, und zwar im Fall von Band W1 bei 185 °C und im Fall von Band W2 bei 205 °C. Nach der Warmauslagerung wurden die beiden Aluminiumbänder über mehrere Stunden auf Raumtemperatur abgekühlt und anschließend einem ersten Kaltwalzen in mehreren Stichen ohne Zwischenglühen auf eine Dicke von 1,0 mm unterzogen. Der Gesamtabwalzgrad beim ersten Kaltwalzen betrug also 80%. Die Dickenabnahme pro Stich betrug jeweils 33%.

Vor dem ersten Kaltwalzen und bei verschiedenen Zwischendicken wurden den Aluminiumbändern W1 und W2 einige Probenabschnitte entnommen. Weitere Probenabschnitte (vom Anfang, aus der Mitte und vom Ende des Bands bezogen auf die Walzrichtung) wurden den Bändern nach Erreichen der Dicke von 1,0 mm entnommen.

Einige dieser Probenabschnitte von 1,0 mm Dicke wurden in einem zweiten Kaltwalzen in mehreren Stichen ohne Zwischenglühen auf eine Enddicke von 0,5 mm bzw. 0,3 mm weiter abgewalzt.

Von den Probenabschnitten in 1 mm, 0,5 mm und 0,3 mm Dicke wurden einige einer Rückglühung mit 5 h Haltezeit bei einer Temperatur von 185°C bzw. 205°C unterzogen. Die Abkühlung nach dem Rückglühen erfolgte mit einer Abkühlrate von 30 °C/h.

Von dem Band W3 wurde ein Bandabschnitt für 8 h bei 185°C warmausgelagert und über mehrere Stunden auf Raumtemperatur abgekühlt. Ein weiterer Bandabschnitt des Bands W3 wurde nicht warmausgelagert. Am den Bandabschnitten des Bands W3 erfolgte weder ein Kaltwalzen noch eine Rückglühung.

Die Herstellungsparameter für die einzelnen Versuchsreihen sind in der folgenden Tabelle 7 angegeben:

Versuchsreihe	Band/ Legierung	Warmauslagerung	Dicke	Rückglühung
W1.1	W1	8h @ 185 °C	5,0 mm	keine Rückglühung
W1.2	W1	8h @ 185 °C	3,3 mm	keine Rückglühung
W1.3	W1	8h @ 185 °C	2,4 mm	keine Rückglühung
W1.4	W1	8h @ 185 °C	1,5 mm	keine Rückglühung
W1.5	W1	8h @ 185 °C	1,0 mm	keine Rückglühung
W1.6	W1	8h @ 185 °C	0,5 mm	keine Rückglühung
W1.7	W1	8h @ 185 °C	0,3 mm	keine Rückglühung
W1.8	W1	8h @ 185 °C	1,0 mm	5h @ 185 °C
W1.9	W1	8h @ 185 °C	0,5 mm	5h @ 185 °C
W1.10	W1	8h @ 185 °C	0,3 mm	5h @ 185 °C
W1.11	W1	8h @ 185 °C	1,0 mm	5h @ 205 °C
W1.12	W1	8h @ 185 °C	0,5 mm	5h @ 205 °C
W1.13	W1	8h @ 185 °C	0,3 mm	5h @ 205 °C
W2.1	W2	8h @ 205 °C	5,0 mm	keine Rückglühung
W2.2	W2	8h @ 205 °C	3,3 mm	keine Rückglühung
W2.3	W2	8h @ 205 °C	2,3 mm	keine Rückglühung
W2.4	W2	8h @ 205 °C	1,5 mm	keine Rückglühung
W2.5	W2	8h @ 205 °C	1,0 mm	keine Rückglühung
W2.6	W2	8h @ 205 °C	0,5 mm	keine Rückglühung
W2.7	W2	8h @ 205 °C	0,3 mm	keine Rückglühung
W2.8	W2	8h @ 205 °C	1,0 mm	5h @ 185 °C
W2.9	W2	8h @ 205 °C	0,5 mm	5h @ 185 °C
W2.10	W2	8h @ 205 °C	0,3 mm	5h @ 185 °C
W2.11	W2	8h @ 205 °C	1,0 mm	5h @ 205 °C
W2.12	W2	8h @ 205 °C	0,5 mm	5h @ 205 °C
W2.13	W2	8h @ 205 °C	0,3 mm	5h @ 205 °C
W3.1	W3	-	5,0 mm	keine Rückglühung
W3.2	W3	8h @ 185 °C	5,0 mm	keine Rückglühung

Tabelle 7

An verschiedenen Probenabschnitten der Versuchsreihen mit 1 mm Enddicke (W1.5, W1.8 und W1.11 sowie W2.5, W2.8 und W2.11) wurden Brinellhärte-Messungen nach EN ISO 6506-1 2015-2 und Leitfähigkeitsmessungen mit dem Wirbelstromverfahren nach DIN EN 2004-1 1993-09 durchgeführt, und zwar für Probenabschnitte vom Bandanfang, der Bandmitte und vom Bandende, bezogen auf die Walzrichtung, sowie jeweils an verschiedenen Positionen über die Bandbreite (d.h. quer zur Walzrichtung).

Figur 9 zeigt die Ergebnisse dieser Messungen für die Versuchsreihe W2.5 (ohne Rückglühung); Figur 10 zeigt die Ergebnisse dieser Messungen für die Versuchsreihe W2.11 (nach Rückglühung bei 205 °C). Die Abszissenachse zeigt die Messposition über die Bandbreite, d.h. die Messposition auf dem Band quer zur Walzrichtung. Die linke Ordinatenachse zeigt die Brinellhärte HBW 2.5/31.25 und die rechte Ordinatenachse die Leitfähigkeit in MS/m. Die jeweiligen Messpunkte für die Brinellhärte sind mit durchgezogenen Linien verbunden; die jeweiligen Messpunkte für die elektrische Leitfähigkeit sind mit gestrichelten Linien verbunden. Die jeweilige Messposition in Walzrichtung (Bandanfang, Bandmitte, Bandende) ist jeweils durch ein entsprechendes Symbol (gefüllter Punkt, gefülltes Dreieck, gefüllte Raute) gekennzeichnet.

20

Die Messungen in Figur 9 zeigen eine sehr gleichmäßige Härte und Leitfähigkeit, sowohl über die Breite (Abszissenachse) als auch über die Länge des Bands (Messungen am Bandanfang, in der Bandmitte und am Bandende). Diese Gleichmäßigkeit sowie die Leitfähigkeit werden durch die Rückglühung noch einmal erhöht, wie die Messungen in Figur 10 zeigen. Die Messergebnisse für die Versuchsreihen an den Probenabschnitten aus dem Band W1 sind vergleichbar.

25

Es wird vermutet, dass die hohe Gleichmäßigkeit der Härte und der Leitfähigkeit durch die gewählte Legierungszusammensetzung zusammen mit der Produktionsweise (Bandguss, Warmauslagerung, Kaltwalzen, Rückglühung) erreicht wird. Die Legierungszusammensetzung führt zu einer geringen

30

Abschreckempfindlichkeit, so dass die Abschreckzeit nach dem Bandgießen weniger genau eingestellt werden muss und das Band auch bei langsamerer Abkühlung die erforderliche Aushärtung erreicht. Dies vereinfacht den Produktionsprozess.

- 5 An verschiedenen Probenabschnitten der einzelnen Versuchsreihen wurden zudem Zugversuche nach DIN EN ISO 6892-1:2017-02 durchgeführt, um die Zugfestigkeit R_m , die Dehngrenze $R_{p0,2}$ und die Bruchdehnung A_{50mm} zu bestimmen. Die Zugrichtung war jeweils parallel zur Walzrichtung. Figur 11 zeigt die Ergebnisse der Messungen für die Versuchsreihen W2.3 und W2.5 – W2.13. Die linke Ordinatenachse gibt die
- 10 Zugfestigkeit R_m und die Dehngrenze $R_{p0,2}$ in MPa und die rechte Ordinatenachse die Bruchdehnung A_{50} in % an.

Die Ergebnisse in Fig. 11 zeigen, dass nach der Rückglühung über einen großen Dickenbereich (0,3 – 2,3 mm) vergleichbare mechanische Eigenschaften erreicht

15 werden. Dies ist vorteilhaft für die weitere Verarbeitung von Aluminiumbändern bzw. –blechen zu Produkten, insbesondere wenn Aluminiumbleche unterschiedlicher Dicke verwendet werden oder dickenändernde Umformschritte durchgeführt werden, insbesondere Kaltumformschritte.

20 Für die Versuchsreihen W1.3 und W1.5 – W1.13 wurden vergleichbare Werte erzielt wie in Figur 11 dargestellt, allerdings mit etwas geringeren Festigkeiten und dafür höherer Bruchdehnung. Dies ist auf die geringere Warmauslagerungstemperatur beim Band W1 zurückzuführen.

25 Weiterhin wurden an den entsprechenden Probenabschnitten (außer an Dicke 0,3 mm) Leitfähigkeitsmessungen mit dem Wirbelstromverfahren nach DIN EN 2004-1 1993-09 durchgeführt, deren Ergebnisse in der folgenden Tabelle 8 angegeben sind:

	W2.3	W2.5	W2.6	W2.8	W2.9	W2.11	W2.12
elektrische Leitfähigkeit [MS/m]	33,5	33,5	32,4	33,6	33,7	34,0	33,9

Tabelle 8

In Figur 12 sind zudem die Ergebnisse der Messungen der Dehngrenze $R_{p0,2}$, der Brinellhärte HBW2.5/31.25, der Bruchdehnung A_{50} und der Leitfähigkeit in MS/m sowie in %IACS für die Versuchsreihen W1.1 – W1.7 (ohne Rückglühung) dargestellt. Auf der Abszissenachse ist die Dicke der jeweiligen Probenabschnitte aufgetragen; auf der linken Ordinatenachse ist die Dehngrenze $R_{p0,2}$ in MPa und auf der rechten Ordinatenachse die Brinellhärte HBW2.5/31.25, die Bruchdehnung A_{50} in % und die Leitfähigkeit in MS/m bzw. %IACS aufgetragen.

10

Es zeigt sich, dass mit dem beschriebenen Verfahren Aluminiumbänder mit annähernd gleicher Leitfähigkeit über einen großen Dickenbereich hergestellt werden können. Dies erlaubt einen hohen Abwalzgrad von mindestens 50 % beim Kaltwalzen, um eine hohe Festigkeit des Aluminiumbands zu erreichen, ohne die Leitfähigkeit zu reduzieren.

15

Weiterhin wurde das Grenzziehverhältnis (= maximal tiefziehbarer Rondendurchmesser geteilt durch Stempeldurchmesser) im Näpfchenziehversuch nach DIN EN 1669 unter schrittweiser Erhöhung des Rondendurchmessers bis zum Versagen im Ziehversuch bestimmt. Hierbei konnte ein Grenzziehverhältnis von 2,1 ohne Rissbildung erreicht werden.

20

Weiterhin wurden an den entsprechenden Probenabschnitten der Versuchsreihen W1.5, W1.8 und W1.11 Warmzugversuche bei 80 °C sowie 115 °C durchgeführt. Zu diesem Zweck wurden in einem Ofen einige Zugproben dieser Probenabschnitte auf 80 °C bzw. 115 °C erwärmt und bei diesen Temperaturen in dem Ofen Zugversuche nach DIN EN ISO 6892-1:2017-02 durchgeführt, wobei die Dehngrenze $R_{p0,2}$, die Zugfestigkeit R_m und die Bruchdehnung A_{50mm} gemessen wurden.

25

- Die Ergebnisse der Warmzugversuche sind in Figur 13 dargestellt, wobei auf der Abszissenachse die zugehörige Versuchsreihe entsprechend Tabelle 7 angegeben ist und auf der linken Ordinatenachse die Dehngrenze $R_{p0,2}$ und die Zugfestigkeit R_m in MPa und auf der rechten Ordinatenachse die Bruchdehnung A_{50} in % aufgetragen sind. Die Warmzugversuche wurden bei den Proben der drei Säulengruppen links bei 80 °C und bei den drei Säulengruppen rechts bei 115 °C durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Proben auch bei den erhöhten Temperaturen noch gute mechanische Eigenschaften zeigen. Insbesondere wurden bei den Warmzugversuchen bei 80 °C Dehngrenzen $R_{p0,2}$ von mehr als 160 MPa und bei den Warmzugversuchen bei 115 °C Dehngrenzen $R_{p0,2}$ von mehr als 140 MPa erreicht. Damit sind die mit den hier beschriebenen Verfahren hergestellten Aluminiumbänder und daraus hergestellte Produkte auch für den Einsatz bei erhöhten Temperaturen geeignet.
- Damit eignen sich die Aluminiumbänder und Produkte insbesondere für Aluminiumleiteranwendungen. Ein stromführender Leiter erwärmt sich im Einsatz insbesondere aufgrund seines spezifischen Widerstands, wobei abhängig vom Leiterquerschnitt und der Stromstärke unter Umständen Temperaturen von mehr als 50 °C oder auch mehr als 80 °C, in bestimmten Fällen sogar mehr als 100 °C erreicht werden können. Die guten mechanischen Eigenschaften des untersuchten Aluminiumbands auch bei hohen Temperaturen bewirken, dass ein aus einem solchen Aluminiumband hergestellter Aluminiumleiter auch noch bei solchen Temperaturen die geforderten mechanischen Eigenschaften erfüllt.
- Es wurden weitere Versuche durchgeführt, um den Einfluss der Warmauslagerung zwischen dem kontinuierlichen Gießen und dem Kaltwalzen zu untersuchen. Zu diesem Zweck wurden an Probenabschnitten des Bands W3 nach dem kontinuierlichen Gießen (W3.1) und nach dem Warmauslagern (W3.2) Zugversuche nach DIN EN ISO 6892-1:2017-02, Brinellhärte-Messungen nach EN ISO 6506-1 2015-2 und Leitfähigkeitsmessungen mit dem Wirbelstromverfahren nach DIN EN 2004-1 1993-09 durchgeführt.

Die Messergebnisse sind in Figur 14 dargestellt, wobei die sechs Säulengruppen von links nach rechts die Dehngrenze $R_{p0,2}$ in MPa, die Zugfestigkeit R_m in MPa, die Bruchdehnung A_{50} in %, die Brinellhärte HBW 2.5/31.25 sowie die Leitfähigkeit in MS/m sowie in %IACS angeben. Die Werte sind in ihren jeweiligen Einheiten auf der linken Ordinatenachse aufgetragen. Die linke Säule jeder Säulengruppe zeigt die Ergebnisse für die Proben W3.1 nach dem kontinuierlichen Gießen (ohne Warmauslagerung) und die rechte Säule jeder Säulengruppe zeigt die Ergebnisse für die Proben W3.2 nach der Warmauslagerung.

5
10

Wie die Messergebnisse in Fig. 14 zeigen, führt die Warmauslagerung zu einem Anstieg der Festigkeit ($R_{p0,2}$ und R_m), zur Reduzierung der Bruchdehnung (A_{50mm}) und einer Erhöhung der Leitfähigkeit. Dies zeigt, dass bei der Warmauslagerung des kontinuierlich gegossenen Aluminiumbands eine Gefügeveränderung erreicht wird, für die bei dem bisher verwendeten Barrenguss bisher eine Lösungsglühung erforderlich war. Damit ist nachgewiesen, dass das gesonderte Schritt des Lösungsglühens durch den Einsatz eines kontinuierlichen Gießverfahrens entbehrlich wird, da eine geeignete warmauslagerungsfähige Gefügestruktur des Aluminiumbands bereits durch das kontinuierliche Gießen erreicht wird. Auf ein aufwändiges und kostenintensives Lösungsglühen vor der Warmauslagerung kann daher verzichtet werden.

15
20

Figur 15 zeigt nun ein Ausführungsbeispiel des vorliegend beschriebenen Verfahrens zur Herstellung eines Aluminiumbands mit hoher Festigkeit und hoher elektrischer Leitfähigkeit gemäß dem zweiten Aspekt der vorliegenden Offenbarung. Analog zu Figur 3 sind die einzelnen Verfahrensschritte schematisch von links nach rechts dargestellt. Das darunter abgebildete Temperatur-Zeit-Diagramm illustriert qualitativ und schematisch die jeweilige Materialtemperaturen bei den einzelnen Verfahrensschritten.

25
30

Bei dem Verfahren 100 erfolgt im ersten Verfahrensschritt 102 ein kontinuierlicher Gießprozess, vorzugsweise ein Doppelwalzengießen 102. Bei dem Doppelwalzengießen wird eine Schmelze 104 aus einer Aluminiumlegierung in den Walzenspalt 106 zweier rotierender Gießwalzen 108, 110 gegeben, so dass die Aluminiumschmelze 104 erstarrt und ein kontinuierliches Aluminiumband 112 bildet. Der Walzenspalt 106 ist vorzugsweise so eingestellt, dass die Dicke des Aluminiumbands 112 im Bereich 3 bis 12 mm liegt.

Die Schmelze 104 besteht aus einer aushärtbaren Aluminiumlegierung und weist vorzugsweise folgende Zusammensetzungen in Gew.-% auf:

0,3 Gew.-% ≤ Si ≤ 0,6 Gew.-%,
0,35 Gew.-% ≤ Mg ≤ 0,6 Gew.-%,
0,1 Gew.-% ≤ Fe ≤ 0,3 Gew.-%,
Mn ≤ 0,1 Gew.-%,
Zn ≤ 0,1 Gew.-%,
Cu ≤ 0,5 Gew.-%,
Zr ≤ 0,03 Gew.-%,

Verunreinigungen jeweils bis maximal 0,03 Gew.-%, insgesamt bis maximal 0,10 Gew.-%,
Rest Aluminium.

Die beiden Gießwalzen 108, 110 werden vorzugsweise so gekühlt, so dass die Temperatur des Aluminiumbands 112, gemessen an der Bandoberfläche, am Ort des Austritts aus dem Walzenspalt 106 eine Temperatur im Bereich von 450 bis 300 °C aufweist. Weiterhin wird das Aluminiumband 112 vorzugsweise unmittelbar nach dem Austritt aus dem Walzenspalt 106 weiter gekühlt auf eine Temperatur, gemessen an der Bandoberfläche, von unter 200 °C. Zu diesem Zweck kann eine Kühleinrichtung hinter dem Walzenspalt angeordnet sein, durch die das Aluminiumband 112 beispielsweise mit einem kühlenden Luftstrom beaufschlagt werden kann. Durch die hinreichend schnelle Abkühlung des Aluminiumbands 112 wird ein übersättigtes

Mischkristallgefüge erreicht. Nach dem Kühlen wird das Aluminiumband 112 zu einem Coil 118 aufgewickelt.

5 Im nächsten Verfahrensschritt 120 wird das Aluminiumband 112 in einem primären Kaltwalzen auf einem Kaltwalzgerüst 122 in einem Kaltwalzstich und mit einem Abwalzgrad von weniger als 20% auf eine Zwischendicke gewalzt und wieder zu einem Coil 124 aufgewickelt.

10 Anschließend wird das Coils 124 im nächsten Verfahrensschritt 126 in einem Warmauslagerungssofen 128 warmausgelagert, und zwar vorzugsweise bei einer Warmauslagerungstemperatur im Bereich von 100 °C bis 210 °C, vorzugsweise 170 °C bis 190 °C, und für eine Warmauslagerungsdauer (bei der Warmauslagerungstemperatur) im Bereich von 30 Minuten bis 10 Stunden. Das Warmauslagern führt zu einer Ausscheidungsverfestigung des Aluminiumbands 112.

15

Nach dem Warmauslagern wird das Aluminiumband 112 im nächsten Verfahrensschritt 130 in einem sekundären Kaltwalzen auf einem Kaltwalzgerüst 132 auf Enddicke kaltgewalzt. Das Kaltwalzen erfolgt in mehreren Stichen ohne Zwischenglühen. Bei dem Kaltwalzgerüst 122 und dem Kaltwalzgerüst 132 kann es
20 sich um dasselbe Kaltwalzgerüst oder um verschiedene Kaltwalzgerüste handeln.

Der Gesamtabwalzgrad beträgt beim primären und sekundären Kaltwalzen zusammen (d.h. von der Dicke des gegossenen Bands bis zur Enddicke) mehr als 50 %. Vorzugsweise beträgt bereits der Abwalzgrad des sekundären Kaltwalzens allein (d.h.
25 von der Zwischendicke zur Enddicke) mehr als 50%.

Die Enddicke des Aluminiumbands 112 liegt vorzugsweise im Bereich von 0,5 bis 3 mm.

30 Im nachfolgenden (optionalen) Verfahrensschritt 136 wird das wieder zu einem Coil 138 aufgewickelte Aluminiumband in einem Rückglühofen 140 rückgeglüht.

Grundsätzlich können für die Auslagerung in Verfahrensschritt 126 und für die Rückglühung in Verfahrensschritt 136 verschiedene Öfen oder auch ein und derselbe Ofen genutzt werden. Die Rückglühung erfolgt vorzugsweise bei einer Rückglüh-
temperatur im Bereich von 160 °C bis 210 °C, insbesondere 180 °C bis 190
5 °C, und bei einer Rückglühdauer (bei der Rückglüh-temperatur) von mindestens 2
Stunden, vorzugsweise 2 bis 5 Stunden. Durch die Rückglühung wird ein Anstieg der
elektrischen Leitfähigkeit und der Duktilität bei gleichzeitiger Reduktion der
Festigkeit bewirkt. Auf diese Weise kann das gewünschte Verhältnis von Festigkeit
und elektrischer Leitfähigkeit bedarfsgemäß eingestellt werden.

10

Insgesamt kann mit dem Verfahren 100 in Figur 15 ein Aluminiumband hergestellt
werden, das eine gute Festigkeit mit hoher elektrischer Leitfähigkeit vereint.
Gegenüber den Verfahren aus Figur 1 und 2 kommt das Verfahren 100 in Figur 15
nicht nur mit wesentlich weniger Verfahrensschritten aus, sondern insbesondere auch
15 ohne das energieaufwändige und – aufgrund des hierfür notwendigen Durchlaufofens
– investitionsaufwändige Lösungsglügen (Verfahrensschritt 20 in Figur 1 bzw. 2), so
dass das Verfahren 100 schneller und wirtschaftlicher durchgeführt werden kann.

Im Rahmen der Erfindung wurden Versuche durchgeführt, um die Eigenschaften von
20 mit dem Verfahren aus Figur 15 hergestellten Aluminiumbändern zu untersuchen.
Diese werden im Folgenden erläutert:

Im Doppelwalzenguss wurde ein Aluminiumband W3a mit einer Dicke von 5.0 mm
gegossen. Die Zusammensetzung des Aluminiumbands W3a ist identisch zur
25 Zusammensetzung der ist in der obigen Tabelle 6 angegeben Zusammensetzung W3
(alle Angaben in Gew.-%).

Das Aluminiumband W3a wurde in verschiedene Abschnitte aufgeteilt, die dann
jeweils auf unterschiedliche Weise weiterverarbeitet wurden.

30

In einer ersten Gruppe von Versuchen (W3a.1-6) wurden Abschnitte des Bands W3a entsprechend dem Verfahren aus Fig. 3 zunächst einer Warmauslagerung mit 8 h Haltezeit unterzogen, und zwar bei Temperaturen von 160 °C, 175 °C bzw. 185 °C. Nach der Warmauslagerung wurden die Abschnitte über mehrere Stunden auf

5 Raumtemperatur abgekühlt und anschließend einem Kaltwalzen in mehreren Stichen ohne Zwischenglühen auf eine Dicke von 2,0 mm bzw. 1,0 mm unterzogen. Der Gesamtabwalzgrad beim Kaltwalzen betrug also 60% bzw. 80%. Eine Rückglühung wurde nicht durchgeführt.

10 In einer zweiten Gruppe von Versuchen (W3a.7-12) wurden weitere Abschnitte des Bands W3a entsprechend dem Verfahren aus Fig. 15 zunächst einem primären Kaltwalzen unterzogen, bei dem die Abschnitte in einem Stich auf eine Dicke von 4,4 mm gewalzt wurden. Der Abwalzgrad bei diesem primären Kaltwalzen betrug demnach 12%. Anschließend wurden die Abschnitte einer Warmauslagerung mit 8 h

15 Haltezeit unterzogen, und zwar bei Temperaturen von 160 °C, 175 °C bzw. 185 °C, und nach der Warmauslagerung über mehrere Stunden auf Raumtemperatur abgekühlt. Anschließend wurden die Abschnitte einem sekundären Kaltwalzen in mehreren Stichen und ohne Zwischenglühen auf eine Dicke von 2,0 mm bzw. 1,0 mm unterzogen. Der Abwalzgrad beim sekundären Kaltwalzen betrug demnach 55% bzw.

20 77%. Der Gesamtabwalzgrad von primärem und sekundärem Kaltwalzen zusammen betrug 60% bzw. 80%. Eine Rückglühung wurde nicht durchgeführt.

In einer dritten Gruppe von Versuchen (W3a.13-16) wurden weitere Abschnitte des Bands W3a entsprechend dem Verfahren aus Fig. 15 zunächst einem primären

25 Kaltwalzen unterzogen, bei dem die Abschnitte in jeweils einem Stich auf verschiedene Dicken (4,75 mm, 4,5 mm, 4,25 mm bzw. 3,5 mm) gewalzt wurden. Die Abwalzgrade betragen bei dem primären Kaltwalzen demnach 5%, 10%, 15% bzw. 30%. Anschließend wurden die Abschnitte einer Warmauslagerung mit 8 h Haltezeit bei 160 °C unterzogen und nach der Warmauslagerung über mehrere Stunden auf

30 Raumtemperatur abgekühlt. Anschließend wurden die Abschnitte einem sekundären Kaltwalzen in mehreren Stichen und ohne Zwischenglühen auf eine Dicke von 1,0 mm

unterzogen. Der Abwalzgrad beim sekundären Kaltwalzen betrug demnach 79%, 78%, 76% bzw. 71%. Der Gesamtabwalzgrad von primärem und sekundärem Kaltwalzen zusammen betrug 80%. Eine Rückglühung wurde nicht durchgeführt.

- 5 Die Herstellungsparameter für die einzelnen Versuchsreihen sind in der folgenden Tabelle 9 angegeben:

Versuchsreihe	primäres Kaltwalzen	Warmauslagerung	(sekundäres) Kaltwalzen	Rückglühung
W3a.1	-/-	8h @ 160 °C	5mm → 2mm	keine Rückglühung
W3a.2	-/-	8h @ 175 °C	5mm → 2mm	keine Rückglühung
W3a.3	-/-	8h @ 185 °C	5mm → 2mm	keine Rückglühung
W3a.4	-/-	8h @ 160 °C	5mm → 1mm	keine Rückglühung
W3a.5	-/-	8h @ 175 °C	5mm → 1mm	keine Rückglühung
W3a.6	-/-	8h @ 185 °C	5mm → 1mm	keine Rückglühung
W3a.7	5mm → 4,4mm	8h @ 160 °C	4,4mm → 2mm	keine Rückglühung
W3a.8	5mm → 4,4mm	8h @ 175 °C	4,4mm → 2mm	keine Rückglühung
W3a.9	5mm → 4,4mm	8h @ 185 °C	4,4mm → 2mm	keine Rückglühung
W3a.10	5mm → 4,4mm	8h @ 160 °C	4,4mm → 1mm	keine Rückglühung
W3a.11	5mm → 4,4mm	8h @ 175 °C	4,4mm → 1mm	keine Rückglühung
W3a.12	5mm → 4,4mm	8h @ 185 °C	4,4mm → 1mm	keine Rückglühung
W3a.13	5mm → 4,75mm	8h @ 160 °C	4,75mm → 1mm	keine Rückglühung
W3a.14	5mm → 4,5mm	8h @ 160 °C	4,5mm → 1mm	keine Rückglühung
W3a.15	5mm → 4,25mm	8h @ 160 °C	4,25mm → 1mm	keine Rückglühung
W3a.16	5mm → 3,5mm	8h @ 160 °C	3,5mm → 1mm	keine Rückglühung

Tabelle 9

- 10 Die Versuchsreihen W3a.1-6 entsprechen dem Verfahren aus Fig. 3; die Versuchsreihen W3a.7-15 entsprechen dem Verfahren aus Fig. 15.

An verschiedenen Probenabschnitten der einzelnen Versuchsreihen wurden Brinellhärte-Messungen nach EN ISO 6506-1 2015-2 und Leitfähigkeitsmessungen mit dem Wirbelstromverfahren nach DIN EN 2004-1 1993-09 durchgeführt.

5 Figur 16 zeigt die Ergebnisse dieser Messungen für die Versuchsreihen W3a.1-12. Auf der Abszissenachse ist die elektrische Leitfähigkeit in MS/m und auf der Ordinatenaachse die Brinellhärte HBW2.5/31.25 aufgetragen. Jeder Datenpunkt zeigt die Messergebnisse, die für einen gemäß einer der Versuchsreihen W3a.1-12
10 verarbeiteten Bandabschnitt gemessen wurden. Zur besseren Übersicht sind die Datenpunkte zu den gemäß Fig. 3 verarbeiteten Bandabschnitten mit einer punktierten Linie (für Enddicke 1mm) bzw. mit einer strichpunktierten Linie (für Enddicke 2mm) und die Datenpunkte zu den gemäß Fig. 15 verarbeiteten Bandabschnitten mit einer durchgezogenen Linie (für Enddicke 1mm) bzw. mit einer gestrichelten Linie (für Enddicke 2mm) verbunden.

15

Wie die Ergebnisse in Fig. 16 zeigen, wurden durchgehend gute Härten bzw. Festigkeiten in Kombination mit guter elektrischer Leitfähigkeit erreicht. In allen Fällen steigt die Leitfähigkeit mit zunehmender Warmauslagerungstemperatur an, typischerweise auf Kosten der Härte/Festigkeit.

20

Weiterhin zeigen die Ergebnisse in Fig. 16, dass mit dem Verfahren gemäß Fig. 15 sogar durchgehend bessere Ergebnisse hinsichtlich Härte/Festigkeit und elektrischer Leitfähigkeit erzielt wurden als mit dem Verfahren gemäß Fig. 3 bei entsprechender Enddicke. Die zum Verfahren gemäß Fig. 15 gehörigen Linien (durchgezogen,
25 gestrichelt) sind gegenüber den zum Verfahren gemäß Fig. 3 gehörigen Linien (punktiert, strichpunktiert) entsprechend nach rechts oben, d.h. zu höheren Brinell-Härten und höheren Leitfähigkeiten verschoben (s. Pfeile in Fig. 16).

30 Damit können die mit dem Verfahren gemäß dem ersten Aspekt der vorliegenden Offenbarung erzielten, bereits guten Ergebnisse durch das Verfahren gemäß dem zweiten Aspekt der vorliegenden Offenbarung noch übertroffen werden.

Für die verschiedenen Proben der Versuchsreihen W3a.13-16, die sich nur durch die jeweiligen Abwalzgrade des primären und sekundären Kaltwalzens unterschieden, ergaben sich im Wesentlichen gleiche Brinellhärte-Werte von ca. 78 HB 2,5/31,25 und
5 im Wesentlichen gleiche, zu geringeren sekundären Abwalzgraden leicht ansteigende Leitfähigkeiten (31,6 MS/m für W3a.13 bis 32,0 MS/m für W3a.16).

Weiterhin wurden an den Proben der Versuchsreihen W3a.13-16 Zugversuche durchgeführt. Diese ergaben im Wesentlichen gleiche Werte für die Bruchdehnung
10 $A_{50\text{mm}}$ von ca. 5,8% sowie im Wesentlichen gleiche, zu geringeren sekundären Abwalzgraden leicht abfallende Werte für die Zugfestigkeit R_m (268 MPa für W3a.13 bis 259 für W3a.16) und die Dehngrenze $R_{p0,2}$ (274 MPa für W3a.13 bis 266 MPa für W3a.16).

15 Damit werden die vorteilhaften Eigenschaften in dem untersuchten Bereich für den primären und sekundären Abwalzgrad durchgehend erreicht, wobei sich das Verhältnis von Leitfähigkeit und Festigkeit durch Wahl eines geeigneten primären bzw. sekundären Abwalzgrads feinjustieren lässt (geringerer sekundärer Abwalzgrad für höhere Leitfähigkeit, höherer sekundärer Abwalzgrad für höhere Festigkeit).

20

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Verfahren zur Herstellung eines Aluminiumbands (62) mit hoher Festigkeit und hoher elektrischer Leitfähigkeit,
 - bei dem eine Schmelze (54) aus einer aushärtbaren Aluminiumlegierung durch
5 einen kontinuierlichen Gießprozess, insbesondere durch Doppelwalzengießen, zu einem Aluminiumband (62) urgeformt wird,
 - bei dem das Aluminiumband (62) durch Kaltwalzen auf Enddicke gewalzt wird und
 - bei dem das Aluminiumband (62) zwischen dem kontinuierlichen Gießprozess
10 und dem Kaltwalzen warmausgelagert wird.

2. Verfahren zur Herstellung eines Aluminiumbands (112) mit hoher Festigkeit und hoher elektrischer Leitfähigkeit,
 - bei dem eine Schmelze (104) aus einer aushärtbaren Aluminiumlegierung durch
15 einen kontinuierlichen Gießprozess, insbesondere durch Doppelwalzengießen, zu einem Aluminiumband (112) urgeformt wird,
 - bei dem das Aluminiumband (112) in einem primären Kaltwalzen (120) auf eine Zwischendicke gewalzt wird,
 - bei dem das Aluminiumband (112) in einem sekundären Kaltwalzen (139) auf
20 Enddicke gewalzt wird und
 - bei dem das Aluminiumband (112) zwischen dem primären Kaltwalzen (120) und dem sekundären Kaltwalzen (130) warmausgelagert wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
25 dadurch gekennzeichnet, dass das Kaltwalzen nach dem kontinuierlichen Gießprozess ohne zwischenzeitliches Lösungsglügen erfolgt.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet, dass als Aluminiumlegierung eine Aluminiumlegierung
vom Typ 6xxx verwendet wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet, dass die Aluminiumlegierung folgende
Zusammensetzung in Gew.-% aufweist:
- 10 0,2 Gew.-% ≤ Si ≤ 1,0 Gew.-%,
 0,2 Gew.-% ≤ Mg ≤ 1,0 Gew.-%,
 Fe ≤ 0,5 Gew.-%,
 Mn ≤ 0,4 Gew.-%,
 Zn ≤ 0,1 Gew.-%,
 Cu ≤ 0,5 Gew.-%,
 Zr ≤ 0,2 Gew.-%,
- 15 Verunreinigungen jeweils bis maximal 0,05 Gew.-%, insgesamt bis maximal
 0,15 Gew.-%,
 Rest Aluminium.
- 20 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet, dass die Aluminiumlegierung folgende
Zusammensetzung in Gew.-% aufweist:
- 25 0,3 Gew.-% ≤ Si ≤ 0,6 Gew.-%,
 0,35 Gew.-% ≤ Mg ≤ 0,6 Gew.-%,
 0,1 Gew.-% ≤ Fe ≤ 0,3 Gew.-%,
 Mn ≤ 0,1 Gew.-%,
 Zn ≤ 0,1 Gew.-%,
 Cu ≤ 0,5 Gew.-%,
 Zr ≤ 0,03 Gew.-%,
- 30 Verunreinigungen jeweils bis maximal 0,03 Gew.-%, insgesamt bis maximal
 0,10 Gew.-%,
 Rest Aluminium.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
dadurch gekennzeichnet, dass das Aluminiumband (62, 112) unmittelbar nach
dem kontinuierlichen Gießprozess auf eine Temperatur, gemessen an der
5 Bandoberfläche, von unter 200 °C abgekühlt wird, insbesondere durch aktives
Kühlen.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
dadurch gekennzeichnet, dass das Aluminiumband (62, 112) zwischen dem
10 kontinuierlichen Gießprozess und dem Kaltwalzen bei einer Temperatur im
Bereich von 100 °C – 210 °C, vorzugsweise 170 °C – 190 °C, und einer Haltezeit
im Bereich von 30 Minuten bis 10 Stunden warmausgelagert wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
15 dadurch gekennzeichnet, dass das Aluminiumband (62, 112) nach dem
Kaltwalzen rückgeglüht wird, insbesondere bei einer Glühtemperatur im Bereich
von 160 °C – 210 °C, vorzugsweise 180 °C – 190 °C, bei einer Haltezeit von
mindestens 2 Stunden, vorzugsweise im Bereich von 2 bis 5 Stunden.
- 20 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9,
dadurch gekennzeichnet, dass das Aluminiumband (62, 112) auf eine Enddicke
im Bereich von 0,2 – 3 mm kaltgewalzt wird.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10,
25 dadurch gekennzeichnet, dass der Gesamtabwalzgrad beim Kaltwalzen über 50%
beträgt.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11,
30 dadurch gekennzeichnet, dass das Aluminiumband (62, 112) ohne
Zwischenglühen kaltgewalzt wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Aluminiumband (62, 112) mit einer Banddicke im Bereich von 3 – 12 mm umgeformt wird.
- 5 14. Aluminiumband (62, 112), herstellbar mit einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, oder aus einem solchen Aluminiumband (62, 112) hergestelltes Aluminiumprodukt.
- 10 15. Aluminiumband oder Aluminiumprodukt nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass das Aluminiumband (62, 112) oder Aluminiumprodukt eine Festigkeit $R_{p0,2} > 170$ MPa, vorzugsweise > 180 MPa, und eine elektrische Leitfähigkeit $> 30,5$ MS/m aufweist.
- 15 16. Aluminiumband oder Aluminiumprodukt nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, dass das Aluminiumband (62, 112) oder Aluminiumprodukt ein Grenzziehverhältnis von mindestens 1,9, bestimmt im Näpfchenziehversuch nach DIN EN 1669 unter schrittweiser Erhöhung des Rondendurchmesser bis zum Versagen im Ziehversuch, erreicht.
- 20 17. Verwendung des Aluminiumband (62, 112) oder Aluminiumprodukts nach einem der Ansprüche 14 bis 16 für einen elektrischen Leiter, insbesondere für ein Aluminiumkabel.

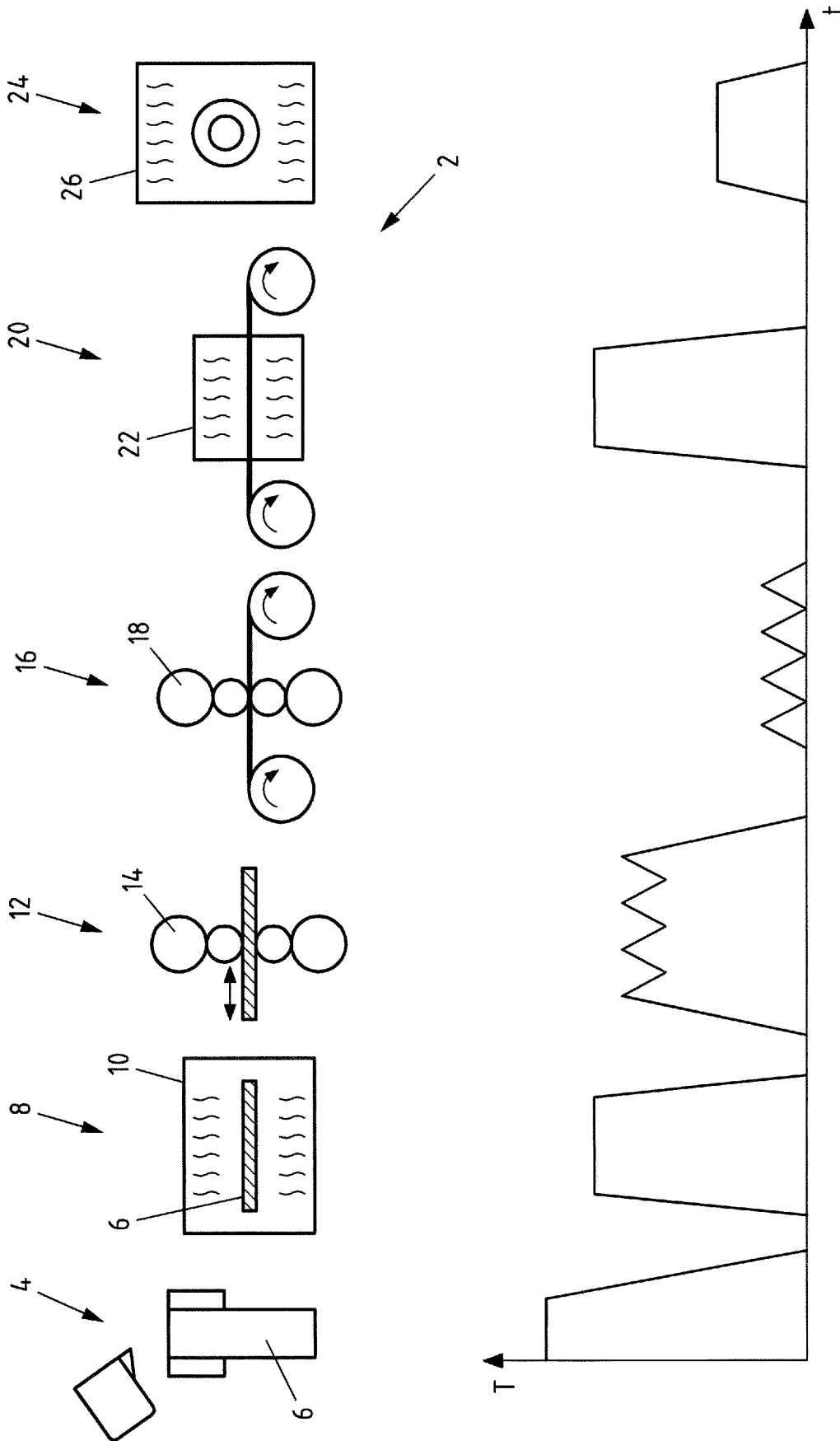


Fig.1 Stand der Technik

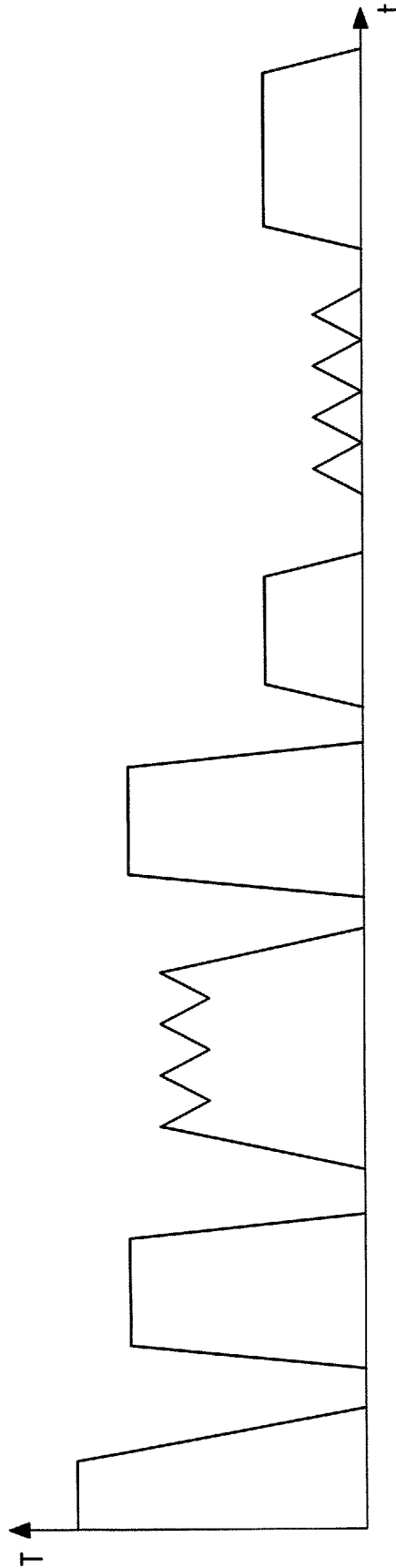
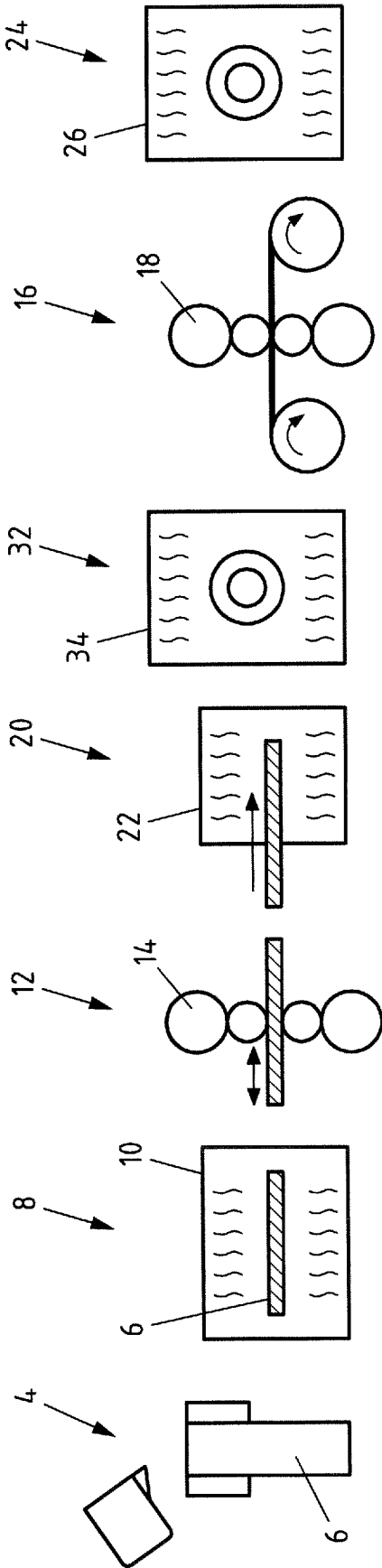


Fig.2 Stand der Technik

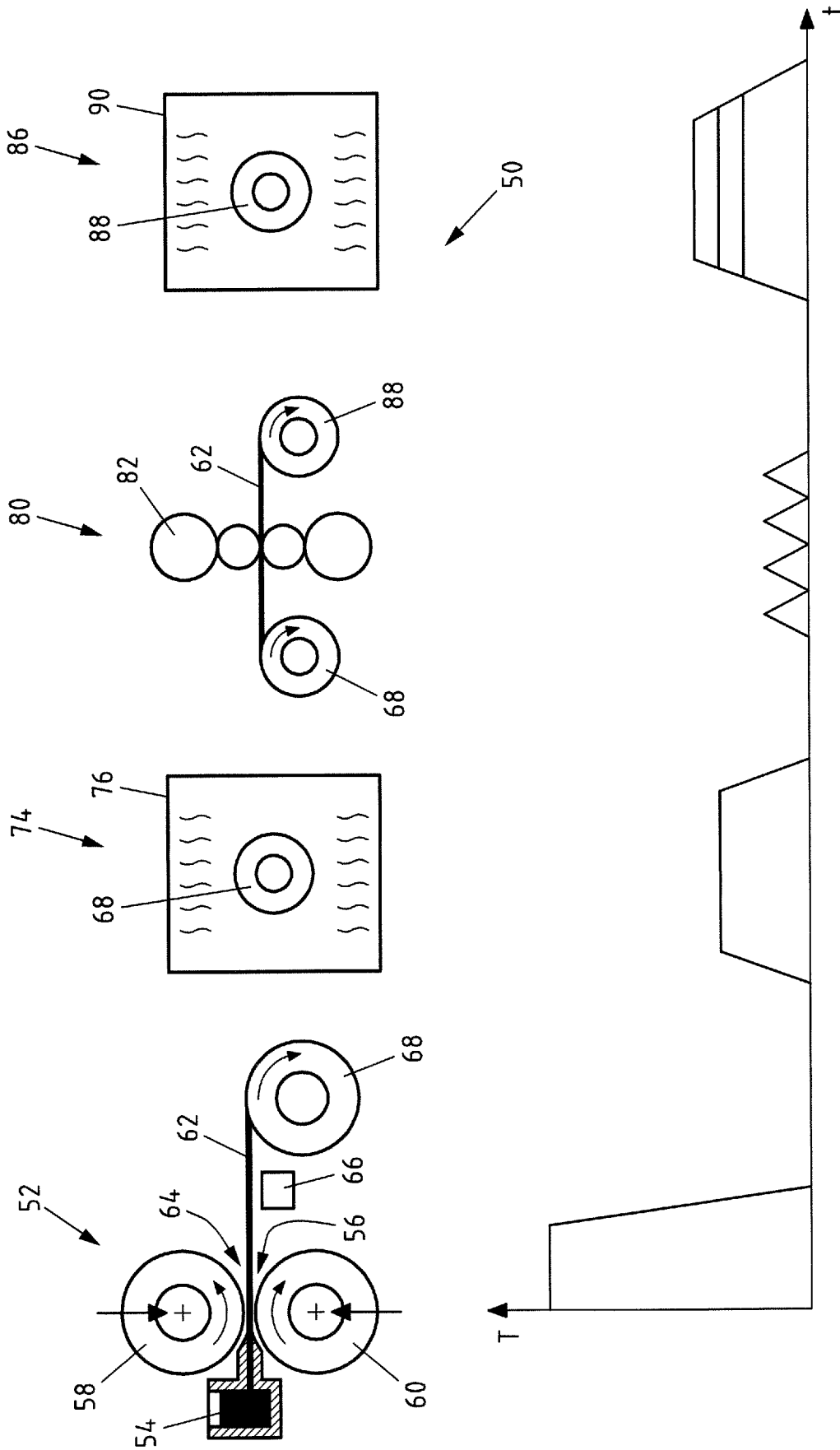


Fig.3

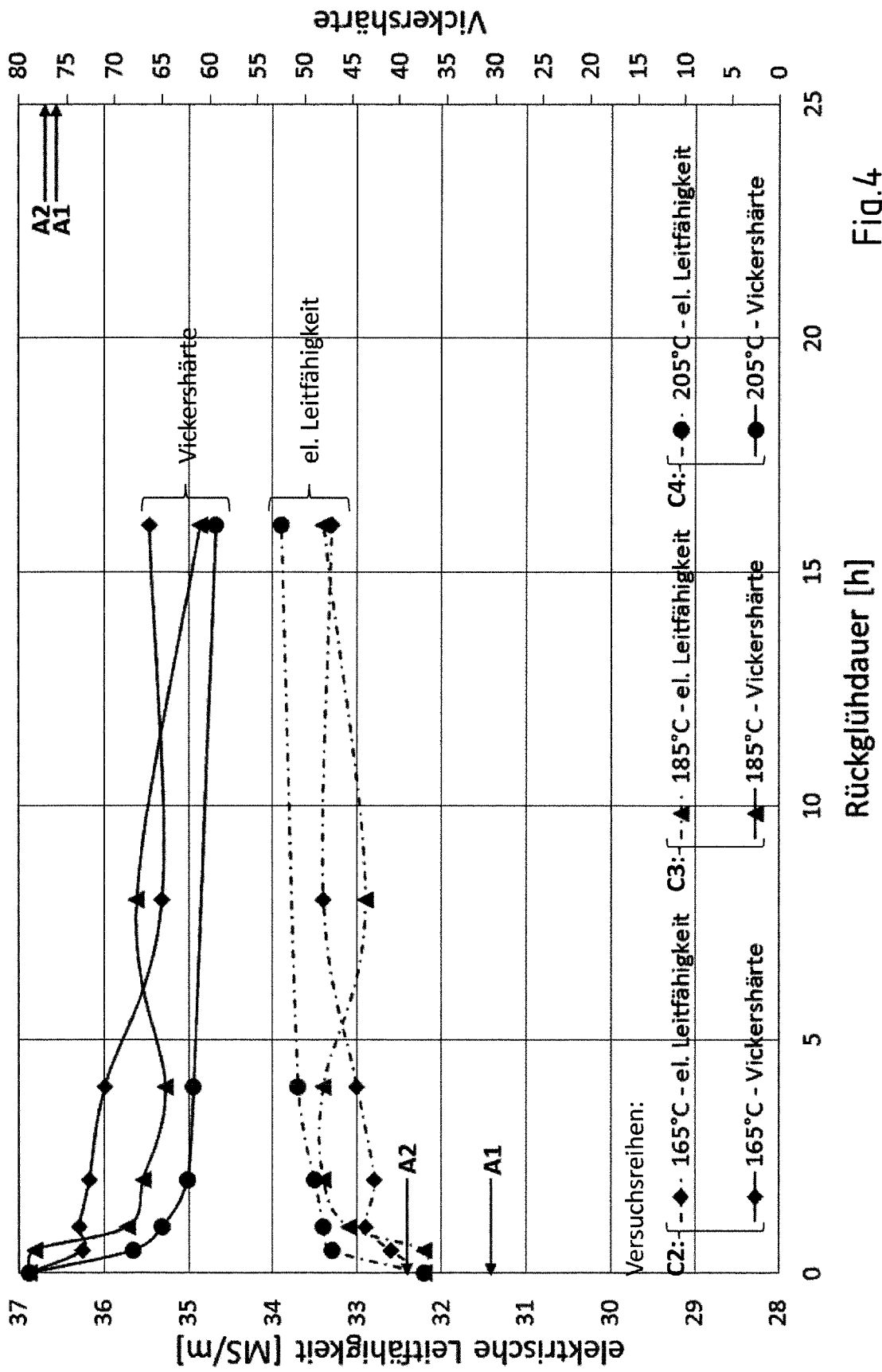


Fig.4

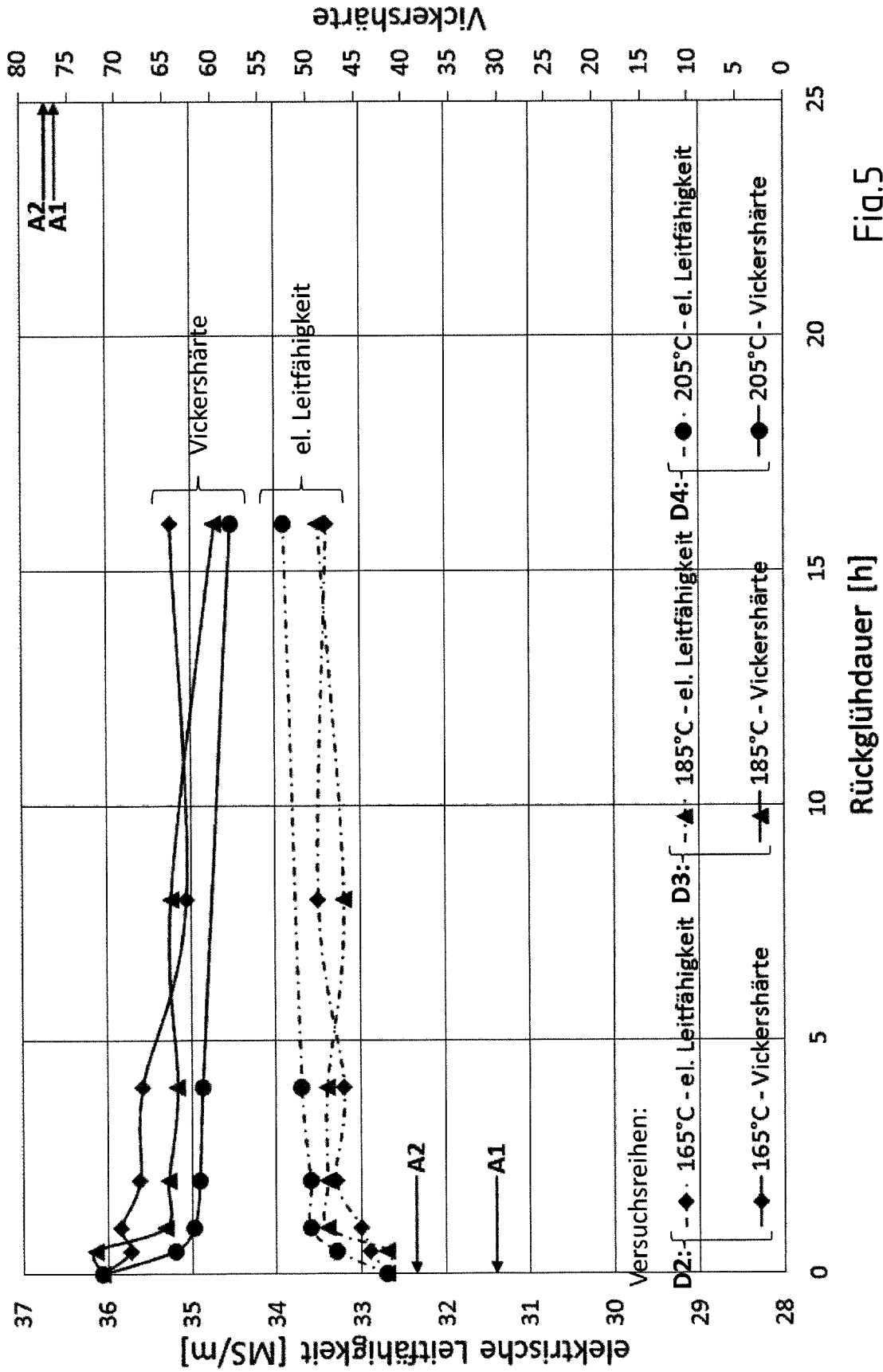


Fig.5

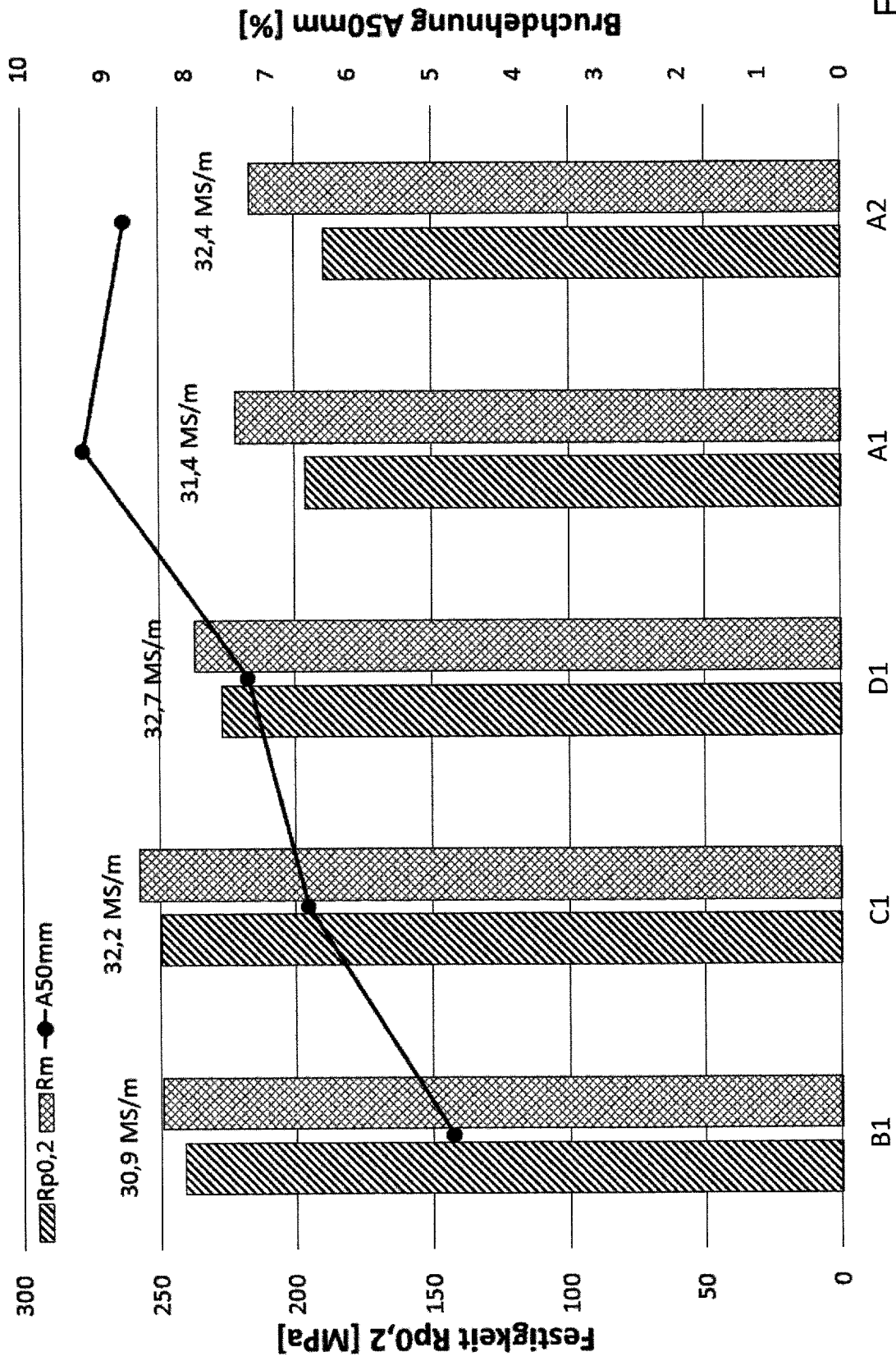


Fig.6

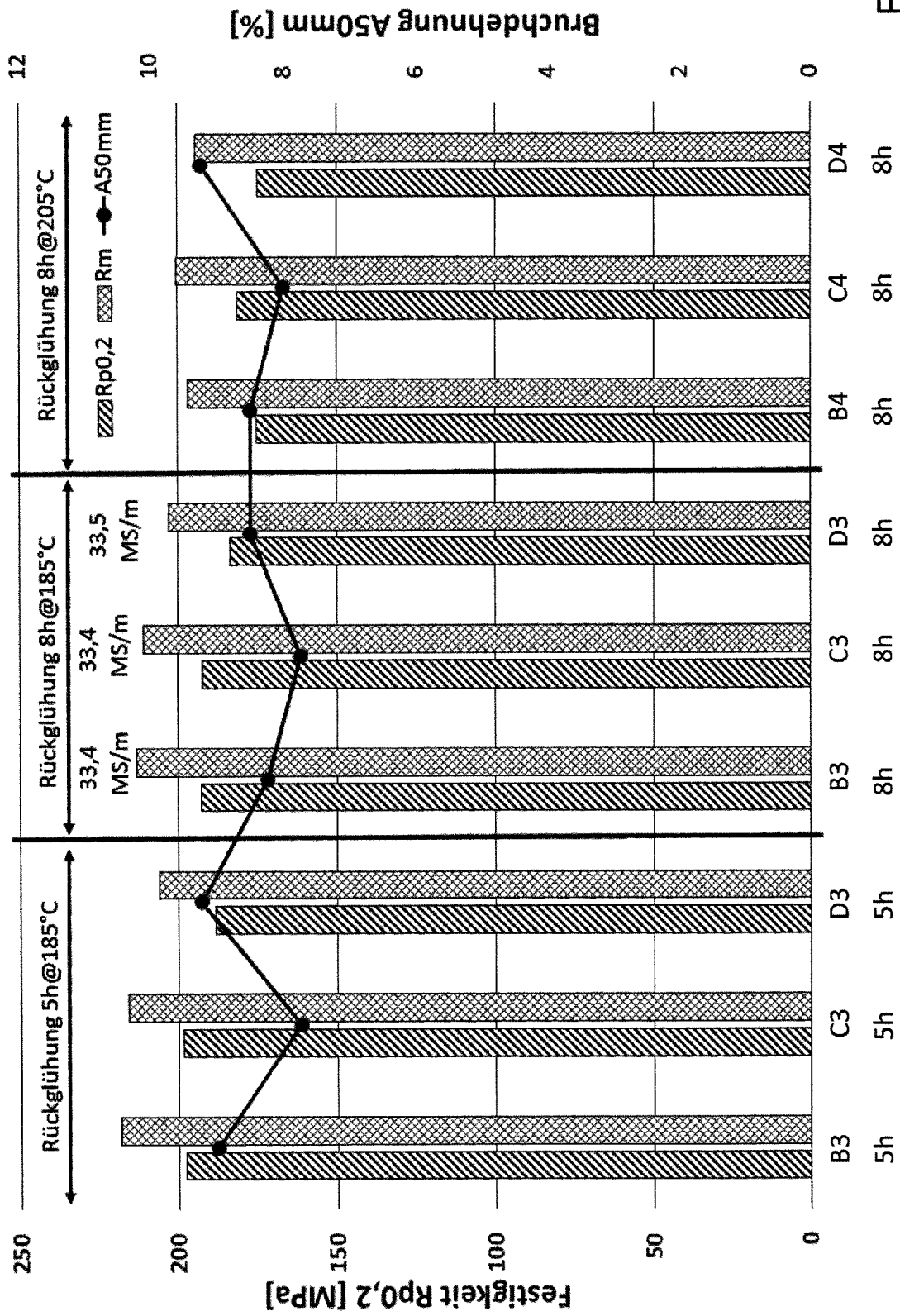


Fig.7

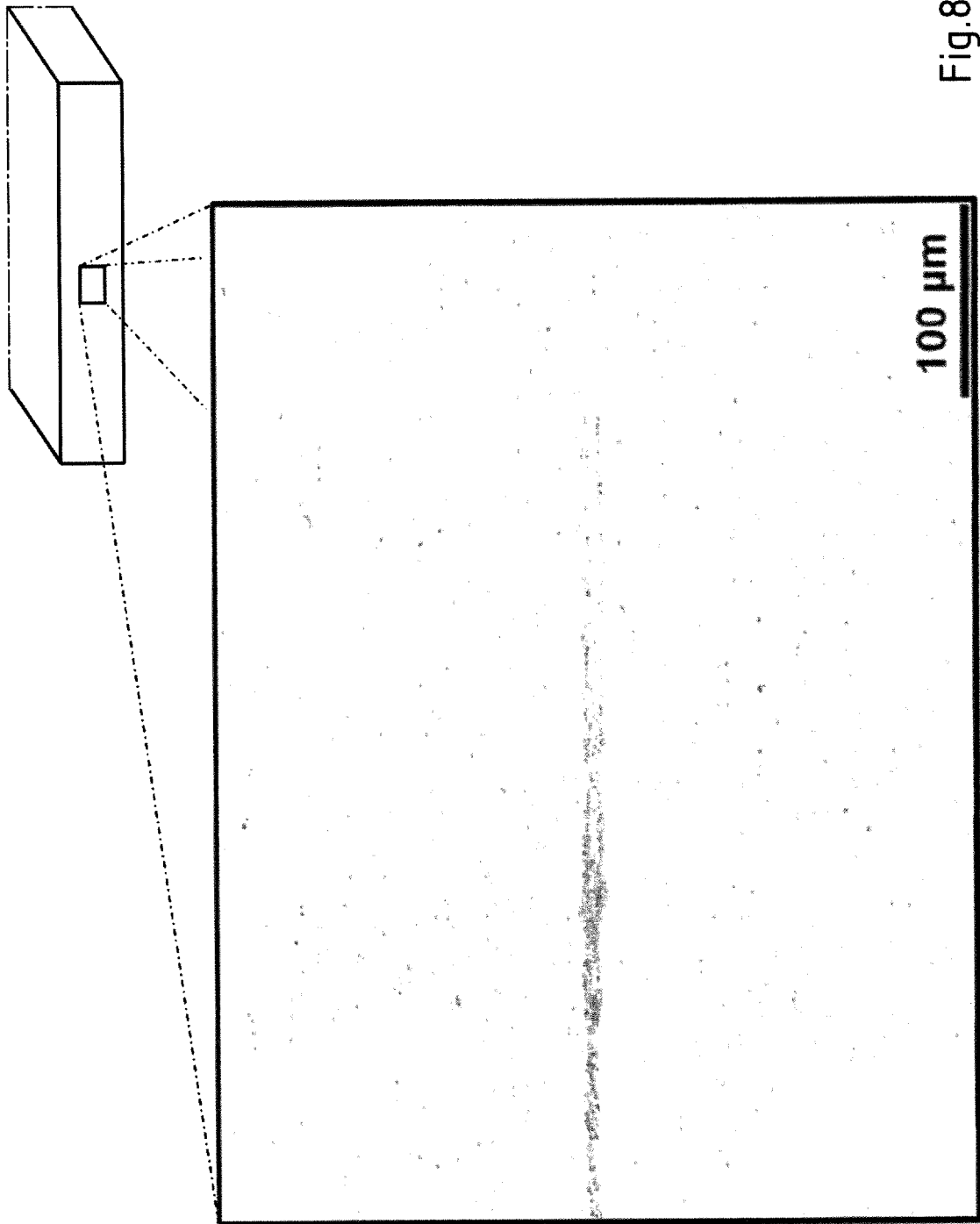


Fig.8

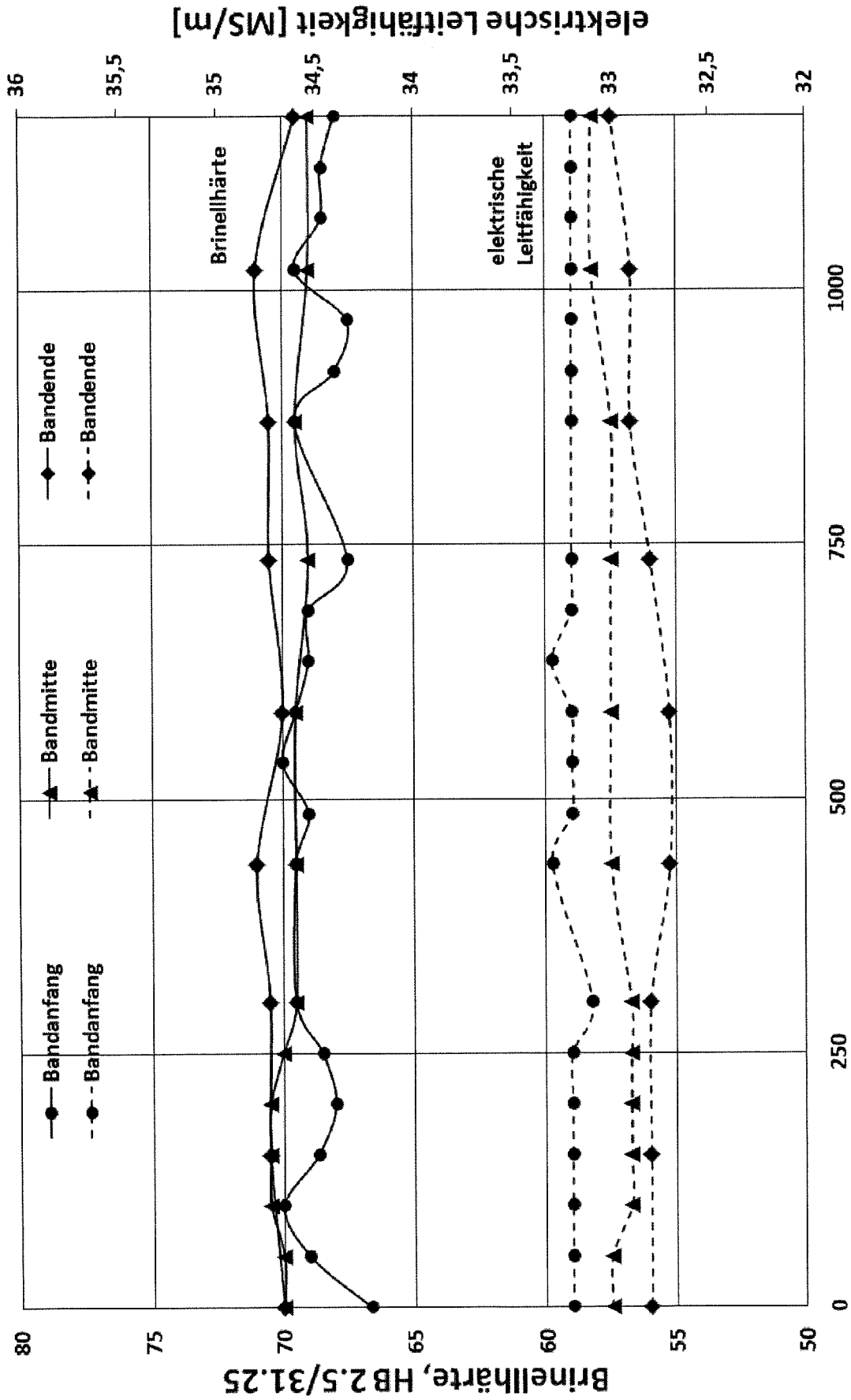


Fig.9

Position auf dem Band quer zur Walzrichtung [mm]

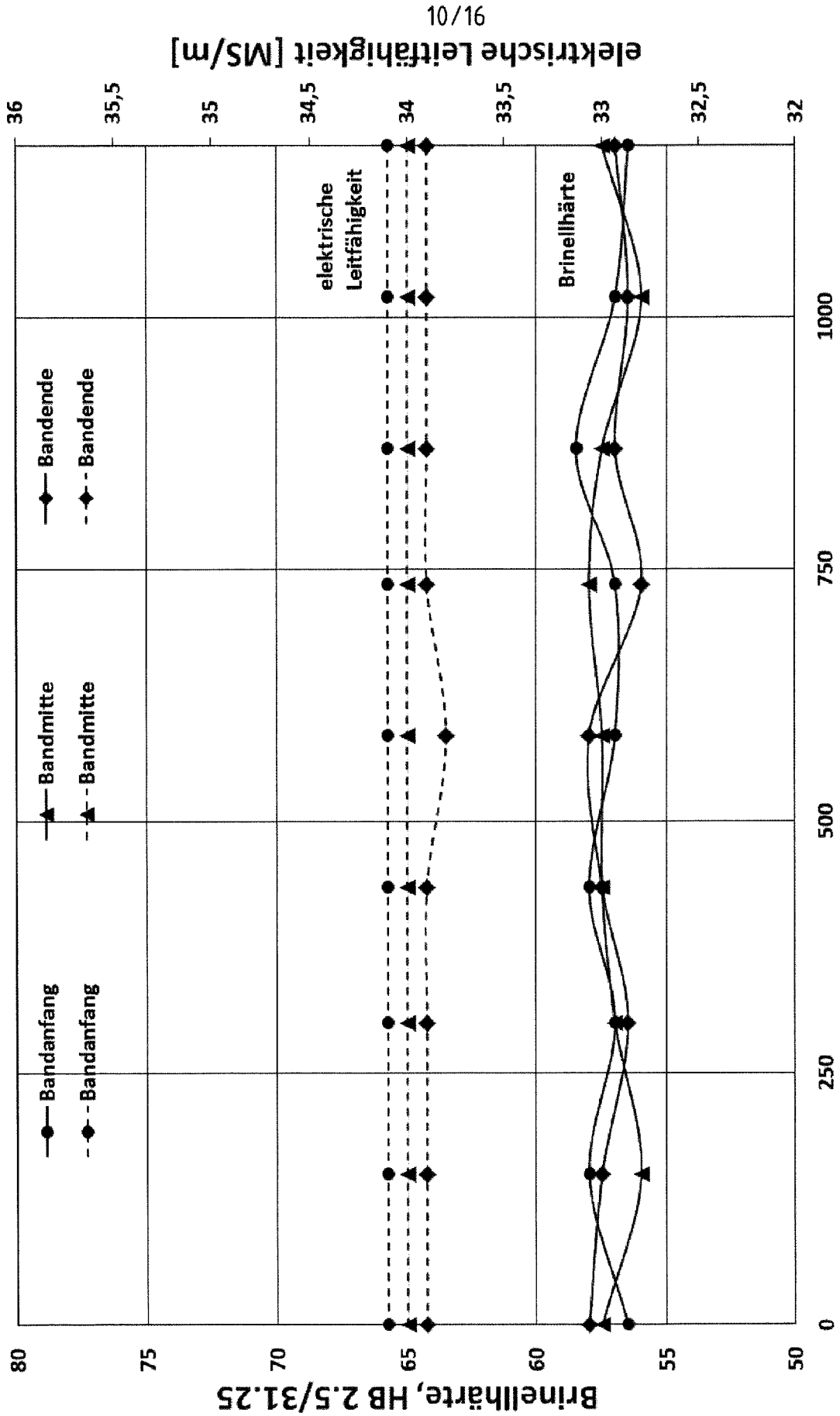


Fig.10

Position auf dem Band quer zur Walzrichtung [mm]

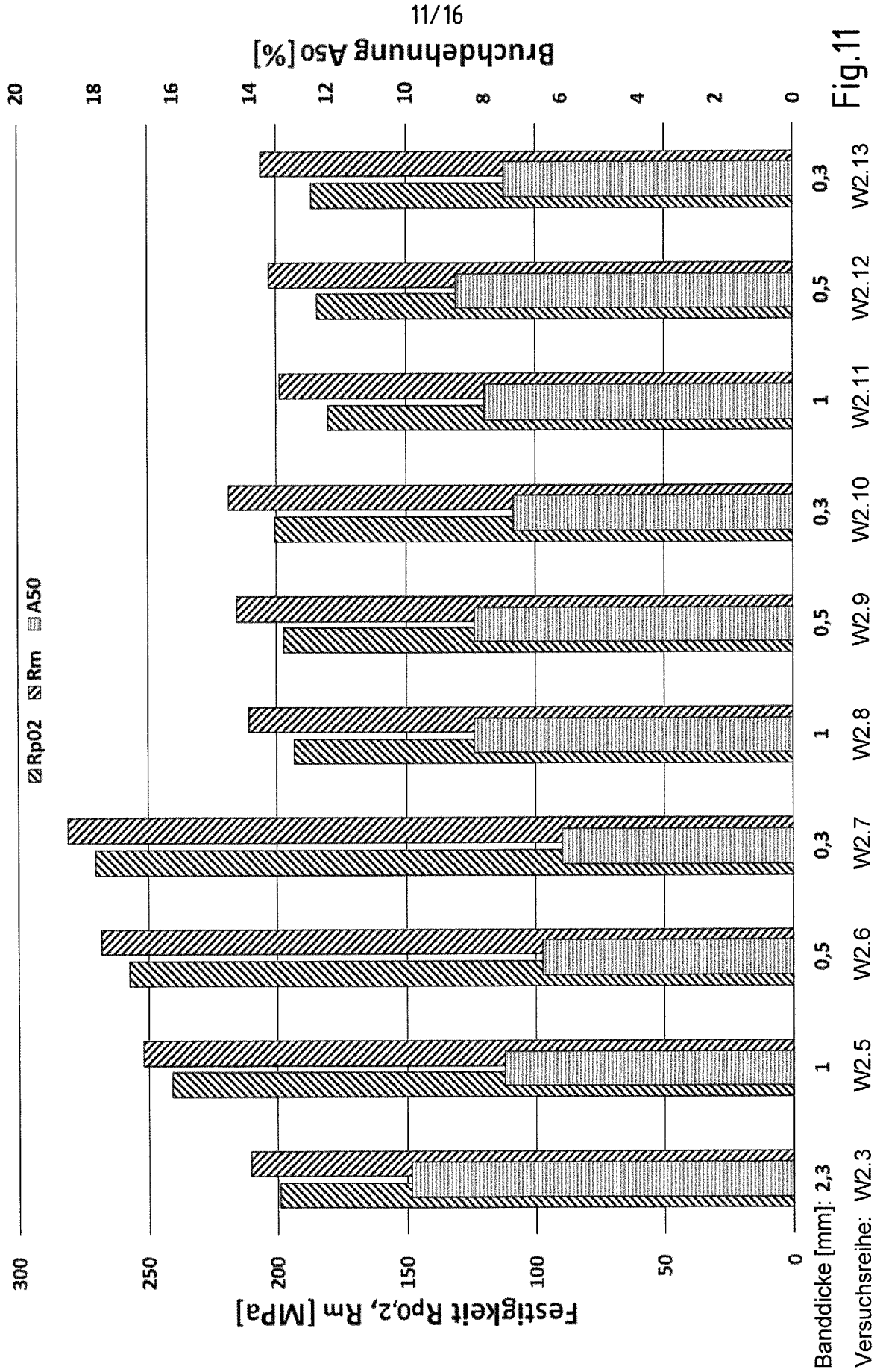


Fig.11

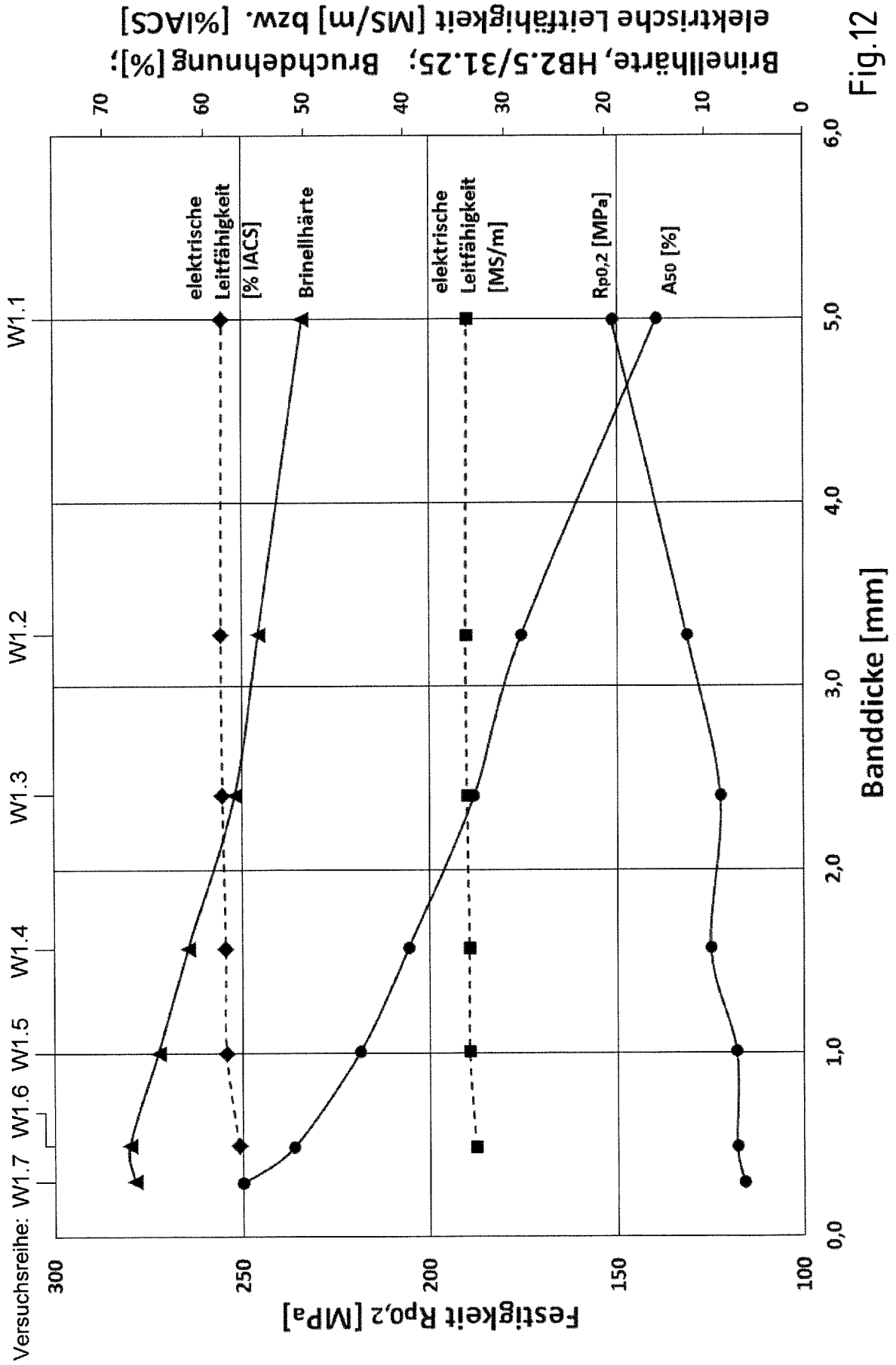


Fig.12

Brinellhärte, HB2.5/31.25; Bruchdehnung [%]; elektrische Leitfähigkeit [MS/m] bzw. [% IACS]

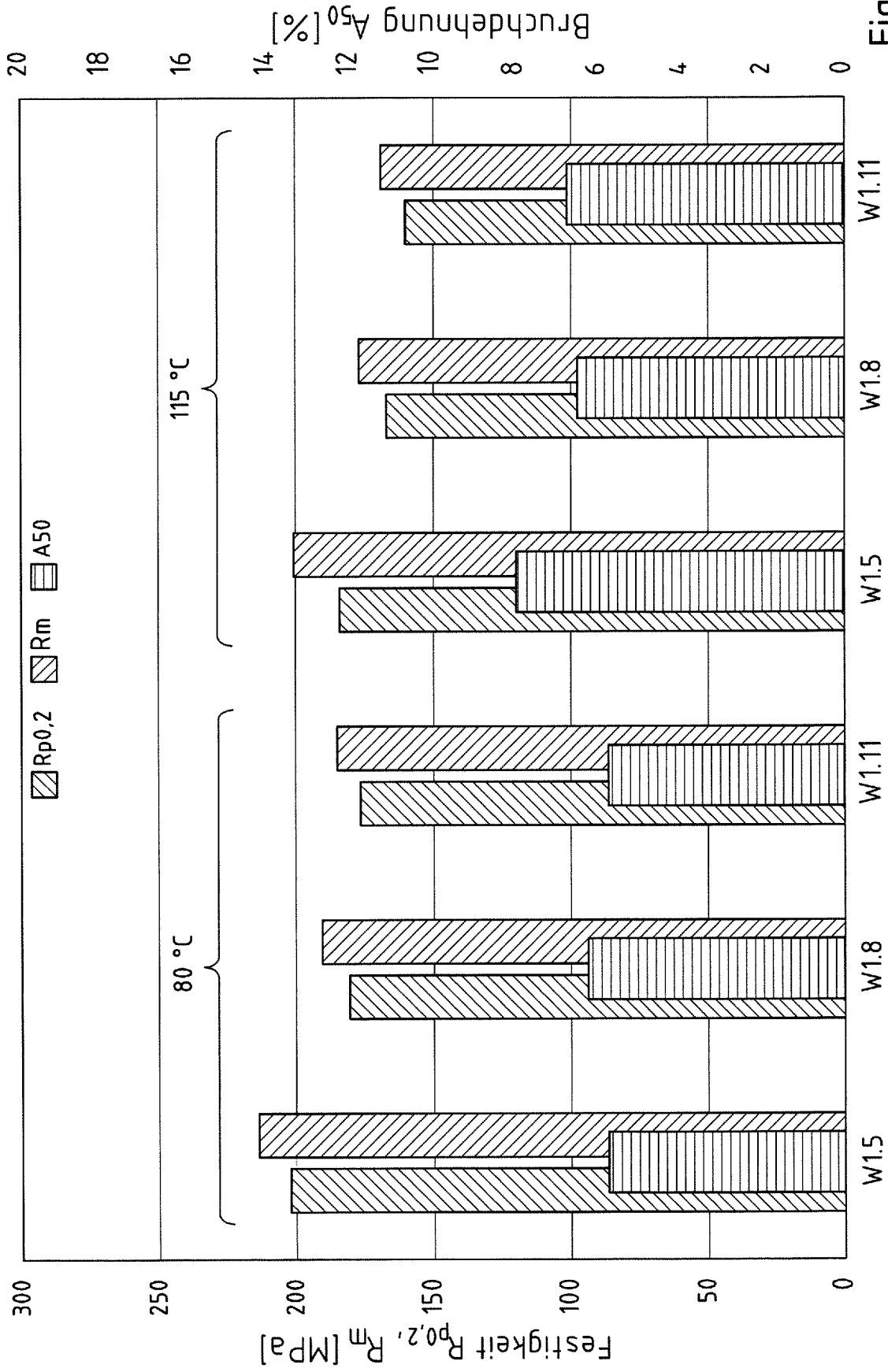


Fig.13

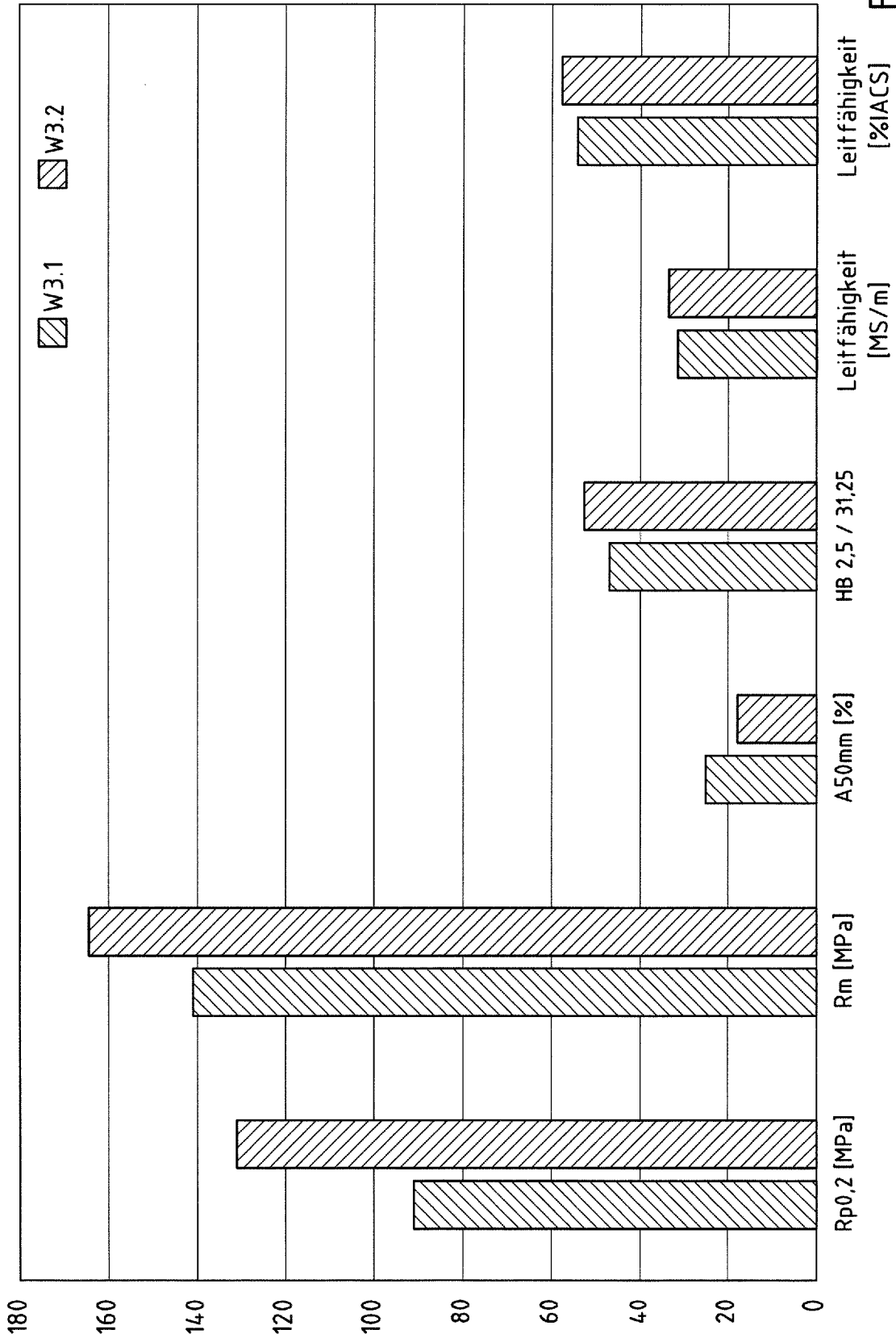


Fig.14

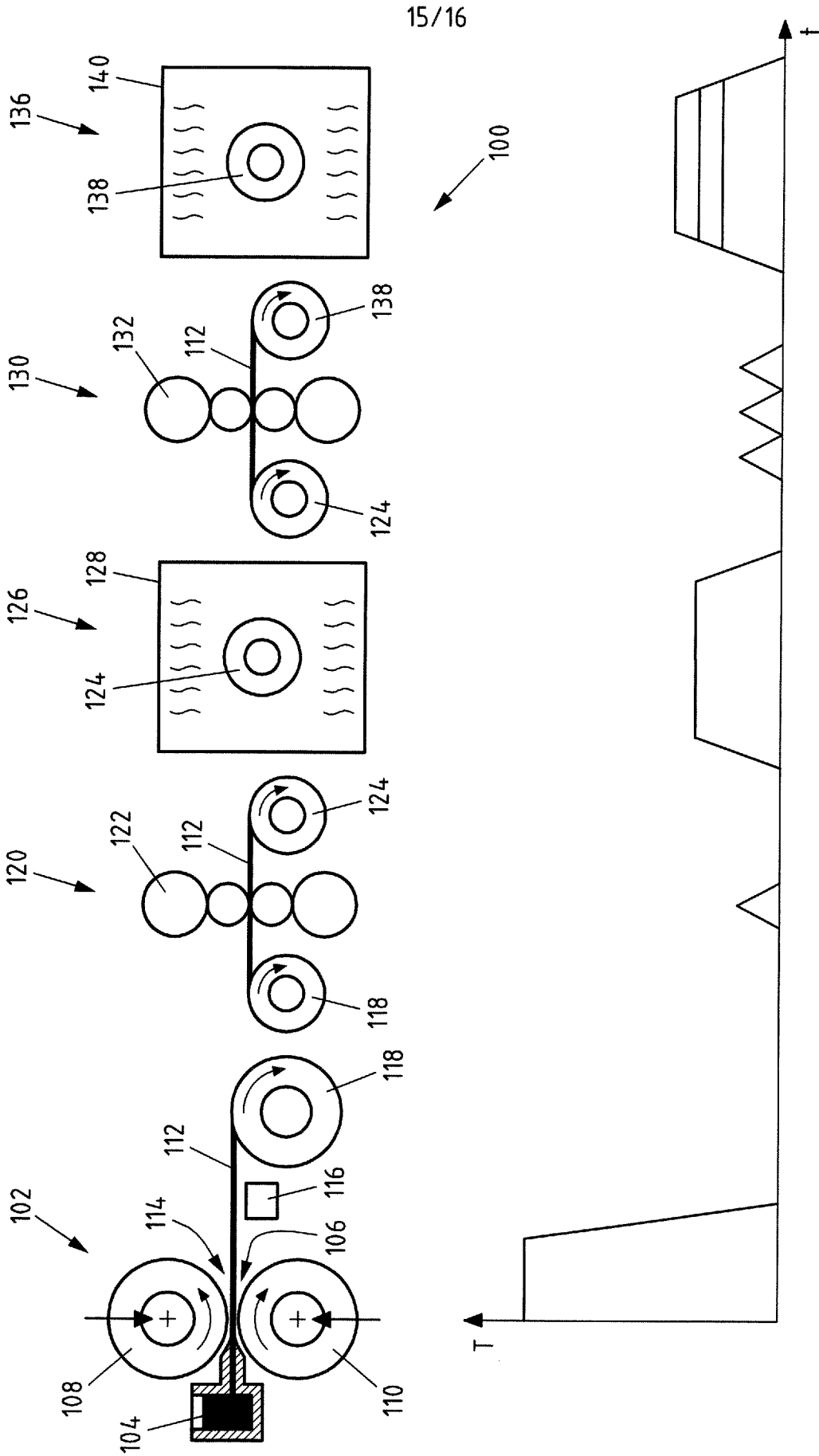
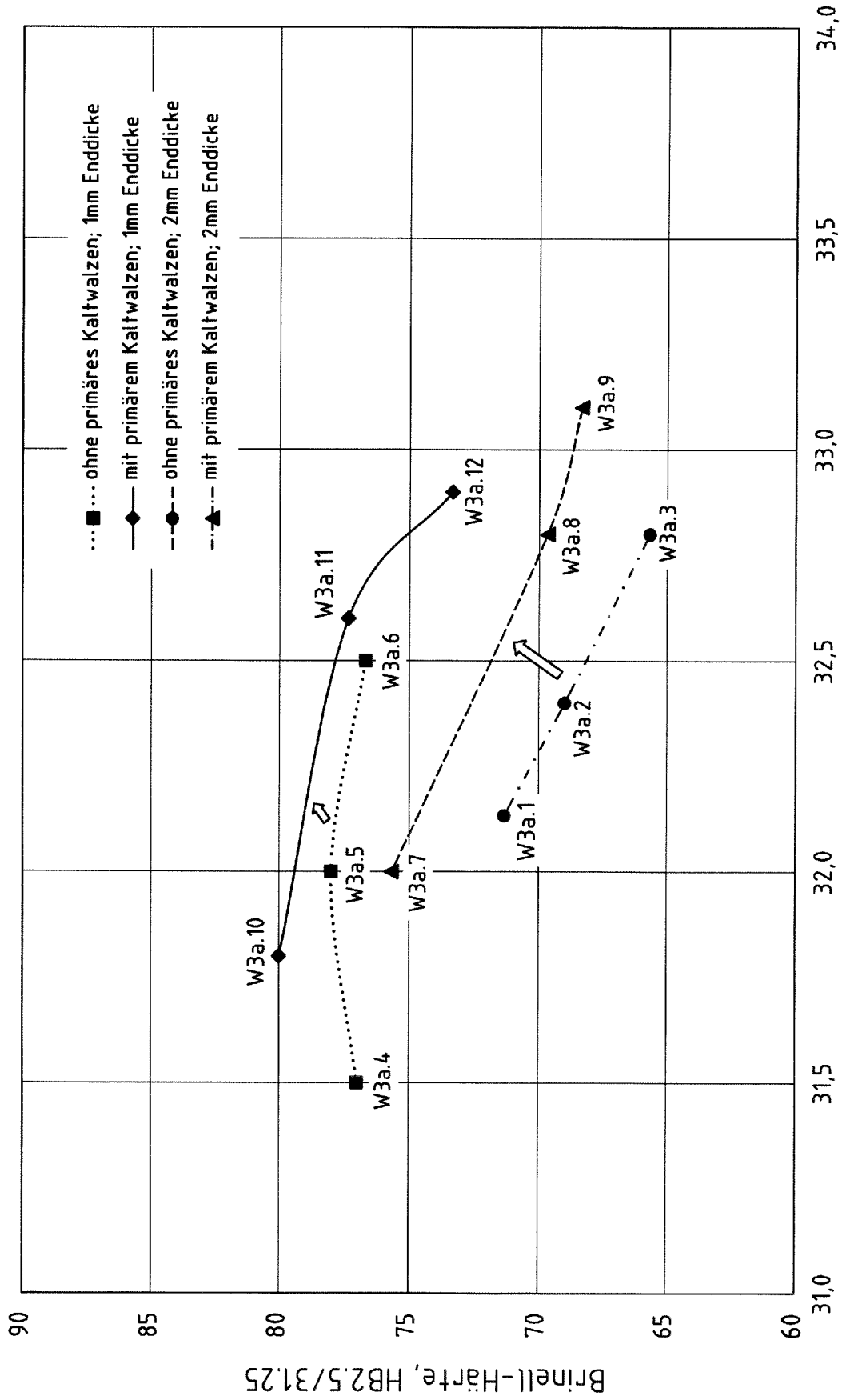


Fig.15



elektrische Leitfähigkeit [MS/m] Fig.16

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/066817

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>C22C 21/08</i> (2006.01)i; <i>C22F 1/05</i> (2006.01)i; <i>H01B 1/02</i> (2006.01)i 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) C22C; H05B; C22F; H01B 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		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 4897124 A (MATSUO MAMORU [JP] ET AL) 30 January 1990 (1990-01-30) column 5, lines 56-68	1-4,7,9-16
A	US 2005183801 A1 (UNAL ALI [US] ET AL) 25 August 2005 (2005-08-25) paragraphs [0047] - [0048]	1-17
A	JP S55110753 A (FURUKAWA ELECTRIC CO LTD) 26 August 1980 (1980-08-26) abstract	1-17
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“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)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&” document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search 08 October 2019		Date of mailing of the international search report 17 October 2019
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer González Junquera, J Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2019/066817

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
US	4897124	A	30 January 1990	NONE	
US	2005183801	A1	25 August 2005	AT 473306 T	15 July 2010
				AU 2005214348 A1	01 September 2005
				AU 2010202489 A1	08 July 2010
				BR PI0507899 A	24 July 2007
				CA 2557417 A1	01 September 2005
				CN 1942595 A	04 April 2007
				EP 1733064 A1	20 December 2006
				EP 2264198 A1	22 December 2010
				HK 1099052 A1	26 April 2013
				JP 4355342 B2	28 October 2009
				JP 2007523262 A	16 August 2007
				KR 20060125889 A	06 December 2006
				KR 20090083439 A	03 August 2009
				KR 20120018229 A	29 February 2012
				NO 342356 B1	14 May 2018
				RU 2356998 C2	27 May 2009
				US 2005183801 A1	25 August 2005
				WO 2005080619 A1	01 September 2005
JP	S55110753	A	26 August 1980	JP S623228 B2	23 January 1987
				JP S55110753 A	26 August 1980

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. C22C21/08 C22F1/05 H01B1/02 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) C22C H05B C22F H01B		
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		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 4 897 124 A (MATSUO MAMORU [JP] ET AL) 30. Januar 1990 (1990-01-30) Spalte 5, Zeilen 56-68 -----	1-4,7, 9-16
A	US 2005/183801 A1 (UNAL ALI [US] ET AL) 25. August 2005 (2005-08-25) Absätze [0047] - [0048] -----	1-17
A	JP S55 110753 A (FURUKAWA ELECTRIC CO LTD) 26. August 1980 (1980-08-26) Zusammenfassung -----	1-17
<input type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
<p>* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :</p> <p>"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist</p> <p>"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist</p> <p>"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)</p> <p>"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht</p> <p>"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist</p> <p>"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</p> <p>"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden</p> <p>"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer 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</p> <p>"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist</p>		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
8. Oktober 2019		17/10/2019
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 González Junquera, J

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2019/066817

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 4897124	A	30-01-1990	KEINE

US 2005183801	A1	25-08-2005	AT 473306 T 15-07-2010
			AU 2005214348 A1 01-09-2005
			AU 2010202489 A1 08-07-2010
			BR PI0507899 A 24-07-2007
			CA 2557417 A1 01-09-2005
			CN 1942595 A 04-04-2007
			EP 1733064 A1 20-12-2006
			EP 2264198 A1 22-12-2010
			HK 1099052 A1 26-04-2013
			JP 4355342 B2 28-10-2009
			JP 2007523262 A 16-08-2007
			KR 20060125889 A 06-12-2006
			KR 20090083439 A 03-08-2009
			KR 20120018229 A 29-02-2012
			NO 342356 B1 14-05-2018
			RU 2356998 C2 27-05-2009
			US 2005183801 A1 25-08-2005
			WO 2005080619 A1 01-09-2005

JP S55110753	A	26-08-1980	JP S623228 B2 23-01-1987
			JP S55110753 A 26-08-1980
