

19



LE GOUVERNEMENT  
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG  
Ministère de l'Économie

11

N° de publication :

**LU101954**

12

## BREVET D'INVENTION

**B1**

21

N° de dépôt: LU101954

51

Int. Cl.:  
C25D 3/22, C25D 5/48, C25D 5/50

22

Date de dépôt: 24/07/2020

30

Priorité:

72

Inventeur(s):  
FASSMANN Dennis Dr. -Ing. - Allemagne, KÖHLER  
Timo - Allemagne, BASEL Dirk - Allemagne

43

Date de mise à disposition du public: 24/01/2022

74

Mandataire(s):  
PHOENIX CONTACT GmbH & Co. KG Intellectual  
Property Licenses & Standards -  
32825 Blomberg (Allemagne)

47

Date de délivrance: 24/01/2022

73

Titulaire(s):  
PHOENIX CONTACT GmbH & Co. Kg - 32825  
Blomberg (Allemagne)

54

**Verfahren zum Herstellen einer reibwertoptimierten Zinkbeschichtung auf einer Stahl-Komponente.**

- 57 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen einer reibwertoptimierten Zinkbeschichtung auf einer Stahl-Komponente. Um ein solches Verfahren bereitzustellen, das zu einer Beschichtung mit guten Korrosionsschutzeigenschaften, guter Haftung sowie stabilen, konstant niedrigem Reibwert auch bei einer mehrfachen Verwendung der Stahl-Komponente, insbesondere einem mehrfachen Anzug, führt, wobei das Verfahren zugleich einfach und wirtschaftlich durchgeführt werden kann, ist vorgesehen, dass zunächst eine Zinkschicht auf die Oberfläche der Stahl-Komponente mittels eines galvanischen Abscheidungsverfahrens aufgebracht und nachfolgend eine Wärmebehandlung bei einer Temperatur unterhalb von 420 °C zum gezielten Bilden von intermetallischen Zink-Eisen-Phasen in der galvanisch abgeschiedenen Zinkschicht zur Optimierung des Reibwertes der Stahl-Komponente vorgenommen wird.

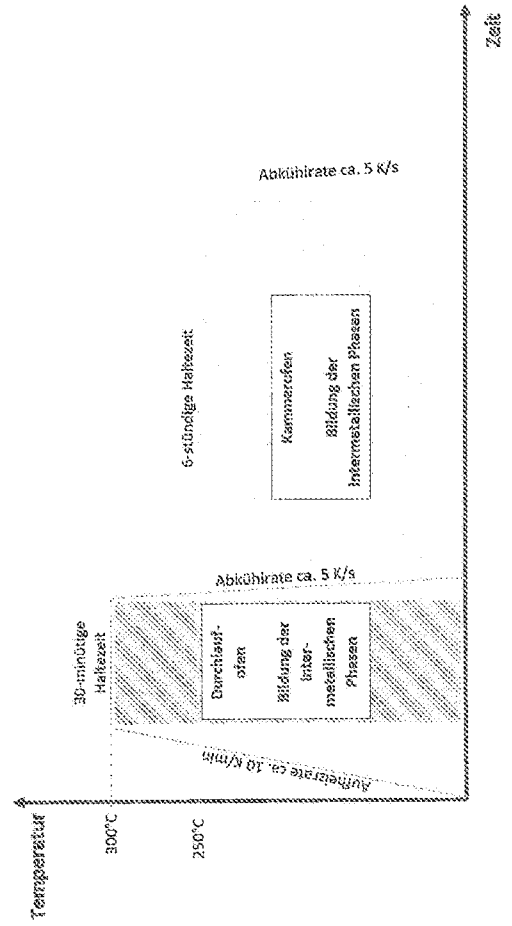


Fig. 1

## **Verfahren zum Herstellen einer reibwertoptimierten Zinkbeschichtung auf einer Stahl-Komponente**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen einer reibwertoptimierten Zinkbeschichtung auf einer Stahl-Komponente.

Sowohl aus optischen als auch aus funktionalen Gründen werden Stahl-Komponenten in der technischen Anwendung häufig verzinkt. Insbesondere filigrane Schüttgutteile, wie Schrauben und Klemmhülsen aus Stahl, werden zumeist im galvanischen Abscheidungsverfahren mit reinem Zink beschichtet und anschließend passiviert. Die unedlen Eigenschaften der Zinkschicht schützen das darunterliegende, edlere Metall vor Korrosion. Selbst bei Auftreten eines Risses wird das Grundmaterial durch die anodische Wirkung des Zinks vor Angriff geschützt, wobei dieses selbst oxidiert wird und dann lediglich eine zeitlich begrenzte Schutzwirkung gewährleisten kann. Reines Zink oxidiert bereits an der Luftatmosphäre und wird daher durch Passivierungsschichten geschützt.

An das abgeschiedene Schichtsystem bestehend aus der Zink- und der Passivierungsschicht wird nicht nur die Anforderung des Korrosionsschutzes gestellt, sondern auch eine hohe Verschleißbeständigkeit und daraus resultierend konstante Reibwerte bei mehrmaligem Anzug gefordert. Bei verzinkten und passivierten Stahl-Komponenten des Standes der Technik, beispielsweise bei Schrauben, zeigen sich jedoch eine starke Schwankung sowie ein signifikanter Anstieg des Reibwertes bei mehrmaligem Anzug. Dies resultiert aus den Schichteigenschaften sowie der Haftfestigkeit der Zinkschicht auf dem Stahl-Grundmaterial. Bei elektrischen Kontaktelementen führt ein zunehmender Reibwert bei wiederholtem Anziehen von Schrauben jedoch zudem zu abnehmenden Andruckkräften des Leiters gegen den Strombalken, woraus steigende elektrische Übergangswiderstände resultieren, die die Funktionalität der Kontaktelemente verschlechtern.

Alternativ zu einer galvanischen Verzinkung werden Stahl-Komponenten auch häufig feuerverzinkt oder sherardisiert, was jedoch in manchen Fällen, beispielsweise für

filigrane Schüttguteile aus Stahl, nicht wirtschaftlich durchführbar ist. Zudem führt Feuerverzinken zur Bildung einer Zinkbeschichtung und insbesondere zur Bildung intermetallischer Zink-Eisen-Phasen mit deutlich erhöhten Reibwerten, wobei die Reibwerte bei einer feuerverzinkten Stahl-Schraube bei mehrmaligem Anzug noch weiter  
5 signifikant ansteigen.

Aus der Druckschrift DE 689 12 019 T2 ist zudem bereits ein Verfahren zur Herstellung eines galvanisierten angelassenen Stahlbands bekannt, bei dem zunächst das Stahlband gereinigt wird und dann eine Elektrobeschichtung wenigstens einer Seite  
10 des Stahlbands mit einem Zinküberzug erfolgt. Nachfolgend wird das überzogene Stahlband durch eine Induktionsspule gefördert, wobei das Band auf eine Temperatur zwischen 427 °C und 510 °C erhitzt wird, was zu einer vollständigen Umwandlung des Zinküberzugs in einen Zink-Eisen-Legierungsüberzug führt. Schließlich wird das  
15 Stahlband abgekühlt. Ein solches Verfahren hat jedoch den Nachteil, dass bei mehreren Verfahrensschritten die Schmelztemperatur des Zinks überschritten wird, so dass dieses Verfahren auf Bänder und Bleche, jedoch nicht wirtschaftlich auf Schüttguteile und kleinere Stahl-Komponenten, wie Schrauben und Klemmhülsen, angewendet werden kann. Zudem führt ein solches Verfahren zu einer weitgehenden Umformung des Zinküberzugs zu Zink-Eisen-Phasen mit einem Eisenmassenanteil über  
20 10 %, wodurch es ebenfalls zu einer Verschlechterung des Reibwertes, insbesondere bei einem mehrmaligen Anzug, und zudem zu einer starken Schwankung der Reibwerte der hergestellten und beschichteten Stahlteile kommt.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Herstellen einer  
25 reibwertoptimierten Zinkbeschichtung auf einer Stahl-Komponente bereitzustellen, das zu einer Beschichtung mit guten Korrosionsschutzeigenschaften, guter Haftung sowie stabilen, konstant niedrigem Reibwert auch bei einer mehrfachen Verwendung der Stahl-Komponente, insbesondere einem mehrfachen Anzug, führt, wobei das Verfahren zugleich einfach und wirtschaftlich durchgeführt werden kann.

30 Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren zum Herstellen einer reibwertoptimierten Zinkbeschichtung auf einer Stahl-Komponente nach Anspruch 1

gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zum Herstellen einer reibwertoptimierten Zinkbeschichtung auf einer Stahl-Komponente, insbesondere auf einem Schüttgutteil,  
5 wird zunächst eine Zinkschicht auf die Oberfläche der Stahl-Komponente mittels eines galvanischen Abscheidungsverfahrens aufgebracht und nachfolgend eine Wärmebehandlung bei einer Temperatur unterhalb von 420 °C zum gezielten Bilden von intermetallischen Zink-Eisen-Phasen in der galvanisch abgeschiedenen Zinkschicht zur Optimierung des Reibwertes der Stahl-Komponente vorgenommen.

10

Die Erfinder haben erkannt, dass mittels einer Wärmebehandlung die Eigenschaften der Zink-Eisen-Phasen zwischen der Oberfläche der Stahl-Komponente und der galvanisch aufgetragenen Zinkbeschichtung gezielt gesteuert und eingestellt werden können. Dies ermöglicht in einfacher Weise und gut wiederholbar eine Erhöhung der  
15 Haftfestigkeit der Zinkschichten sowie eine Optimierung der Zinkschicht-Eigenschaften, insbesondere der Schichthärte sowie des oberflächlichen Reibwertes. Zudem hat die Wärmebehandlung den Vorteil, dass diese wirtschaftlich für beliebige Stahl-Komponenten, auch für Schüttgutteile, durchgeführt werden kann.

20 Darüber hinaus haben Vergleichsversuche gezeigt, dass mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens gut reproduzierbar und ohne starke Schwankungen zwischen einzelnen, erfindungsgemäß hergestellten Stahl-Komponenten ein konstant niedriger Reibwert erreicht werden kann, der auch bei einer mehrmaligen Verwendung der Stahl-Komponente, insbesondere bei einem mehrmaligen Anzug einer Schraube,  
25 nicht stark ansteigt, sondern idealerweise im Wesentlichen über wenigstens 10 Anzüge und besonders bevorzugt über wenigstens 20 Anzüge unverändert bleibt. Dabei ist der absolute Wert des Reibwertes zunächst nachrangig, obwohl ein niedriger Reibwert insbesondere bevorzugt wird.

30 Bei den Stahl-Komponenten kann es sich zunächst um ein beliebiges Bauteil aus einer beliebigen Eisen-Legierung und bevorzugt aus einer Eisen-Kohlenstoff-Legierung handeln, die besonders bevorzugt einen Kohlenstoff-Massenanteil von unter

2 % aufweist. Dabei ist jede einzelne Stahl-Komponente bevorzugt einstückig gebildet. Weiterhin bevorzugt erfolgt mittels des Verfahrens eine Beschichtung zahlreicher Stahl-Komponenten zugleich, wobei besonders bevorzugt alle zugleich beschichteten Stahl-Komponenten identisch zueinander gebildet sind. Generell sind die Stahl-Komponenten bevorzugt jeweils ein wenigstens ein Gewinde und besonders bevorzugt genau ein Gewinde aufweisendes Stahl-Bauteil. Die Stahl-Komponenten sind bevorzugt Schüttgutteile, insbesondere filigrane Schüttgutteile, und dabei bevorzugt Verbindungsmittel, wie beispielsweise Schrauben, Klemmhülsen, Taschen, und/oder elektrische Anschlusselemente bzw. Teile davon, wie beispielsweise Bauteile einer Reihenklemme. Ebenfalls bevorzugt sind die Stahl-Komponenten Bauteile für Schrauben-Klemmhülsen-Verbindungen. Die Stahl-Komponenten können eine beliebige Funktion aufweisen, wobei die Stahl-Komponenten bevorzugt zum Festlegen eines elektrischen Leiters vorgesehen sind. Dabei sind die Anforderungen an die Oberfläche der beschichteten Stahl-Komponente, insbesondere an eine Zink- und/oder eine Passivierungsschicht, zum einen gute Korrosionsschutzeigenschaften sowie zum anderen ein konstanter Reibwert bei einem mehrmaligen Anzug.

Zu diesem Zweck ist auf wenigstens einen Teil der Oberfläche und bevorzugt auf die gesamte Oberfläche der Stahl-Komponenten eine Zinkbeschichtung aufgebracht. Dieses Aufbringen erfolgt erfindungsgemäß in einem galvanischen Abscheideverfahren, d.h. durch Galvanisieren. Unter Galvanisieren werden dabei alle Verfahren zum elektrochemischen Abscheiden von Metallen auf die metallische Oberfläche der Stahl-Komponenten unter Verwendung eines Elektrolyten verstanden, wobei der Elektrolyt bevorzugt eine elektrisch leitende Flüssigkeit, insbesondere eine wässrige Salzlösung ist.

Bevorzugt erfolgt ein Aufbringen einer reinen Zinkschicht im galvanischen Abscheideverfahren, d.h. eine Reinzinkbeschichtung, wobei die reine Zinkschicht besonders bevorzugt nicht mehr als 1 % weiterer Metallatome, außer gegebenenfalls aus der Oberfläche der Stahl-Komponente eindiffundierte Metallatome, beinhaltet, während weitere Substanzen, insbesondere Polymere aus dem Abscheideverfahren, in die Zinkschicht eingelagert sein dürfen. Insbesondere erfolgt das Aufbringen der

Zinkschicht mittels eines reinen und/oder eines eisen- und/oder aluminiumfreien Zink-Elektrolyten.

Das galvanische Aufbringen der Zinkschicht kann sowohl unter einem Erhitzen der  
5 Stahl-Komponente und/oder des Galvanisierungsbades oder aber ohne eine Einstel-  
lung der Temperatur erfolgen. Generell erfolgt jedoch das Aufbringen ohne ein Erhit-  
zen über 420 °C, bevorzugt ohne ein Erhitzen über 100 °C und besonders bevorzugt  
ohne ein Erhitzen über 50 °C. Ebenfalls bevorzugt findet auch kein Erwärmen der  
10 Stahl-Komponenten zwischen der Galvanisierung und der Wärmebehandlung zum  
Bilden der intermetallischen Zink-Eisen-Phasen statt.

Bei der Zinkbeschichtung handelt es sich grundsätzlich um eine flächige Zinkschicht  
auf der Oberfläche der Stahl-Komponente, wobei die Zinkbeschichtung die Oberflä-  
che der Stahl-Komponente bevorzugt vollständig bedeckt und insbesondere bevor-  
15 zugt vollständig schließt, sodass kein Sauerstoff und/oder keine Flüssigkeit an die  
Oberfläche der Stahl-Komponente gelangen kann. Unter einer reibwertoptimierten  
Zinkbeschichtung wird eine Beschichtung aus Zink oder einer Zinklegierung verstan-  
den, die in Bezug auf den Reibwert bzw. den Reibungskoeffizienten optimierte Eigen-  
schaften aufweist und dabei insbesondere einen besonders niedrigen, einen bei  
20 mehrmaligem Anzug sich besonders gering ändernden und/oder einen besonders  
gleichbleibenden Reibwert bzw. Reibungskoeffizienten aufweist. Dabei ist insbeson-  
dere wenigstens die Außen- bzw. Oberfläche der Zinkschicht derart gestaltet, dass  
sich ein optimierter Reibwert bzw. Reibungskoeffizienten ergibt.

25 Die Wärmebehandlung kann zunächst beliebig gestaltet sein und insbesondere einen  
beliebigen Temperaturverlauf aufweisen. Bevorzugt erfolgt die Wärmebehandlung  
durch ein Aufheizen auf eine festgelegte Temperatur, ein Halten für eine Dauer auf  
dieser Temperatur sowie ein nachfolgendes Abkühlen. Ein solcher Heizzyklus wird  
bevorzugt nur einmal durchgeführt, wobei jedoch auch eine mehrmalige Wiederho-  
30 lung grundsätzlich möglich ist. Weiterhin bevorzugt erfolgt das Aufheizen gleichmäßig  
und/oder ununterbrochen bis zur festgelegten Temperatur. Auch das Abkühlen erfolgt  
bevorzugt ununterbrochen und insbesondere bevorzugt bis auf die

Ausgangstemperatur vor der Wärmebehandlung. Ebenfalls erfolgt die Wärmebehandlung an der Luft bzw. in einer Gasatmosphäre, d.h. außerhalb einer Flüssigkeit. Besonders bevorzugt erfolgt die Wärmebehandlung innerhalb eines Ofens, insbesondere innerhalb eines elektrischen Ofens. Dazu wird die zu behandelnde Stahl-Komponente bevorzugt in einen entsprechenden Ofen eingebracht. Insbesondere ist die Wärmebehandlung ein Glühen bei einer festgelegten Temperatur. Besonders bevorzugt erfolgt die Wärmebehandlung ausgehend von einer Temperatur unterhalb von 100 °C, ganz besonders bevorzugt unterhalb von 50 °C und insbesondere bevorzugt ausgehend von Raumtemperatur.

10

Erfindungsgemäß erfolgt die Wärmebehandlung am Feststoff, d.h. unterhalb der Schmelztemperatur des Zinks von etwa 420 °C. Dies führt zu Diffusionsprozessen im Feststoff, die zur Bildung, Stabilisierung und/oder Ausprägung der gewünschten intermetallischen Zink-Eisen-Phasen führen. Generell gilt für den Temperaturbereich der Wärmebehandlung, der bevorzugt zwischen 200 °C und 420 °C, besonders bevorzugt zwischen 230 °C und 420 °C und ganz besonders bevorzugt zwischen 250 ° und 400 °C liegt, dass die Bildung, Stabilisierung und/oder Ausprägung der gewünschten intermetallischen Zink-Eisen-Phasen umso schneller erfolgt, umso höher die Temperatur ist.

20

Das erfindungsgemäße Bilden einer oder mehrerer verschiedener intermetallischer Zink-Eisen-Phasen schließt auch das Stabilisieren und/oder das Ausprägen und/oder das Verändern bereits bei dem galvanischen Abscheidungsverfahren entstandener Zink-Eisen-Phasen ein. Bevorzugt wird jedoch durch die Wärmebehandlung wenigstens eine intermetallische Zink-Eisen-Phase gebildet, die vorher nicht oder nur zu einem sehr kleinen bzw. deutlich geringeren Anteil vorhanden war. Besonders bevorzugt dient die Wärmebehandlung zum Optimieren des Schichtaufbaus der Zinkbeschichtung und insbesondere der darin enthaltenen Schichten aus intermetallischen Zink-Eisen-Phasen. Ganz besonders bevorzugt erfolgt die Wärmebehandlung zum Bilden mehrerer, übereinanderliegender, ineinander übergehender Schichten und/oder zum Stabilisieren und Ausprägen dieser Schichten.

30

Erfindungsgemäß wird mittels der Wärmebehandlung wenigstens eine intermetallische Zink-Eisen-Phase gebildet, wobei bevorzugt zugleich, insbesondere an der Oberfläche der Zinkbeschichtung, eine Schicht aus reinem Zink, also eine  $\eta$ -Phase vorliegt, die andere Elemente als Zink nur in Form von unvermeidbaren Verunreinigungen und notwendigen Hilfsstoffen enthält. Darüber hinaus liegen zumeist neben der oder den gezielt gebildeten intermetallischen Zink-Eisen-Phasen weitere intermetallische Zink-Eisen-Phasen in geringen Anteilen vor.

Dabei werden generell abhängig von der Temperatur und der Haltezeit der Wärmebehandlung intermetallische Zink-Eisen-Phasen mit unterschiedlicher Stöchiometrie gebildet, wobei die Stöchiometrie einen direkten Einfluss auf die Eigenschaften und insbesondere die Härte der abgeschiedenen Zinkschicht hat und somit auch unmittelbar die Verschleißbeständigkeit und/oder den Reibwert beeinflusst. Dabei existieren zahlreiche verschiedene intermetallische Zink-Eisen-Phasen, wobei jedoch nur einige von maßgeblicher Bedeutung bezüglich des Korrosionsschutzes und der Reibwerteigenschaften einer galvanisch erzeugten Zinkbeschichtung auf einer Stahl-Komponente sind. Zunächst bildet sich beispielsweise bei verzinkten Stahl-Bauteilen eine kubisch-flächenzentrierte  $\Gamma$ -Phase, die durch ein sprödes Werkstoffverhalten gekennzeichnet ist. Zudem kann eine eisenärmere hexagonale  $\delta$ -Phase entstehen, die durch sehr duktile Eigenschaften und bei Auftritt in einer geschlossenen Schicht durch eine hohe Korrosionsbeständigkeit charakterisiert ist. Die  $\zeta$ -Phase mit monokliner Kristallstruktur bildet sich in Form einer spröden Palisadenschicht aus. Der Eisengehalt in dieser Verbindung ist geringer als in den zuvor vorgestellten intermetallischen Phasen. Das reine Zink ( $\eta$ -Phase) enthält keine Eisenatome und besitzt die geringste Härte. Dabei beträgt jedoch der Eisenmassenanteil in den intermetallischen Zink-Eisen-Phasen innerhalb der Zinkbeschichtung der Stahl-Komponente bevorzugt nicht mehr als 10 %, besonders bevorzugt nicht mehr als 7,5 % und ganz besonders bevorzugt nicht mehr als 6%.

Unter der Optimierung des Reibwertes wird insbesondere eine Senkung des anfänglichen Reibwertes, insbesondere bei einer ersten Betätigung oder Benutzung der Stahl-Komponente, und/oder eine Verringerung des Anstiegs des Reibwertes bei

nachfolgenden Betätigungen oder Benutzungen der Stahl-Komponente verstanden. Alternativ oder zusätzlich kann die Optimierung auch beinhalten, dass der Reibwert bei einer wiederholten Betätigung oder Benutzung der Stahl-Komponente möglichst lange niedrig und/oder konstant gehalten wird. Insbesondere optimal ist jedoch auch  
5 eine Senkung des Reibwertes bei der mehrmaligen Betätigung oder Benutzung der Stahl-Komponente.

Bei einer bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Herstellen einer reibwertoptimierten Zinkbeschichtung erfolgt das Aufbringen einer Zink-  
10 schicht sowie alle nachfolgenden Verfahrensschritte zur Herstellung der zinkbeschichteten Stahl-Komponente bei Temperaturen unterhalb von 420 °C, wodurch in vorteilhafter Weise ein Schmelzen des Zinks und somit eine unerwünschte Phasenumwandlung sowie eine unvorteilhafte Materialbewegung auf der Oberfläche der Stahl-Komponente in einfacher Weise vermieden werden kann. Besonders bevorzugt  
15 wird dabei eine Temperatur von 400 °C nicht überschritten.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Herstellen einer reibwertoptimierten Zinkbeschichtung beträgt die Haltezeit der Wärmebehandlung zwischen 10 Minuten und 10 Stunden, bevorzugt zwischen 20 Minuten und 6 Stunden und besonders bevorzugt zwischen 30 Minuten und 4 Stunden,  
20 wodurch eine gute und umfangreiche Bildung intermetallischer Zink-Eisen-Phasen erreicht werden kann. Dabei ist die Haltezeit die Dauer der Wärmebehandlung, bei der die zinkbeschichtete Stahl-Komponente auf einer erhöhten Temperatur, insbesondere auf der maximalen Temperatur der Wärmebehandlung gehalten wird. Insgesamt lässt sich die Schichtdicke sowie der Eisengehalt in der Zinkschicht durch eine  
25 Variation der Haltezeit und/oder der Temperatur steuern, wobei eine zunehmende Haltezeit zu einer stärkeren Diffusion von Eisen in die Zinkschicht und somit zu einem erhöhten Eisenanteil führt. Bevorzugt erfolgt die Wärmebehandlung in einem Durchlaufofen, besonders bevorzugt bei einer Wärmebehandlung zahlreicher Stahl-Komponenten, insbesondere Schüttgutteile, zugleich. Alternativ kann die Wärmebehandlung  
30 jedoch auch in einem Kammerofen erfolgen.

Die Dauer der Wärmebehandlung hängt dabei u.a. auch von der Anzahl der zugleich behandelten Stahl-Komponenten ab, wobei insbesondere bei der Behandlung zahlreicher Teile zugleich, beispielsweise in einer Gitterbox oder Kiste, eine längere Dauer der Wärmebehandlung bevorzugt wird, um sicherzustellen, dass auch innenliegende Teile über eine ausreichende Dauer erhitzt wurden. Entsprechend kann eine Wärmebehandlung von einzelnen Stahl-Komponenten bzw. einzeln angeordneten Stahl-Komponenten deutlich kürzer erfolgen. Bezüglich der Dauer der Wärmebehandlung gilt weiterhin, dass mit zunehmender Dauer eine bessere Reproduzierbarkeit des gewünschten Ergebnisses, insbesondere über alle zugleich erhitzten Stahl-Komponenten, erreicht werden kann.

Bevorzugt beträgt die Mindesthaltezeit, insbesondere bei einer Temperatur von 300 °C, wenigstens 15 Minuten und besonders bevorzugt 20 Minuten, da bei einer Temperatur von 300 °C und einer Dauer von 10 Minuten noch keine messbare Eisendiffusion festgestellt werden kann. Die maximale Haltezeit ist grundsätzlich nicht begrenzt, wobei jedoch mit stark zunehmender Zeit keine signifikanten Veränderungen mehr beobachtet werden können, sodass eine Haltezeit von maximal 4 Stunden sinnvoll ist und besonders bevorzugt die Haltezeit unter 3 Stunden und ganz besonders bevorzugt unter 2 Stunden beträgt. Selbst bei einer Haltezeit von 10 Stunden bei 300 °C konnte ein Eisenmassengehalt von maximal 6 % in der Zinkschicht gemessen werden.

Um speziell eine  $\zeta$ -Phase (Zeta-Phase) des Eisen-Zinks auszubilden, zu stabilisieren und/oder auszuprägen, aufgrund der besonders gute Reibwerte der zinkbeschichteten Stahl-Komponente erreicht werden können, sieht eine mögliche Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens vor, dass die Wärmebehandlung bei einer Temperatur zwischen 220 °C und 330 °C, bevorzugt zwischen 230 °C und 320 °C, besonders bevorzugt zwischen 250 °C und 310 °C und ganz besonders bevorzugt bei 300 °C erfolgt. Dabei hat die  $\zeta$ -Phase einen signifikanten Einfluss auf die Konstanz des Reibwertes, insbesondere bei einem mehrmaligen Anzug der Stahl-Komponente. Bevorzugt erfolgt die Wärmebehandlung zum Bilden, Stabilisieren und/oder Ausprägen der  $\zeta$ -Phase bei einer Temperatur von 300 °C über eine Haltezeit zwischen

30 Minuten und 2 Stunden, besonders bevorzugt zwischen 45 Minuten und 1,5 Stunden und ganz besonders bevorzugt 1 Stunde. Zugleich kann dabei auch ein Bilden, Stabilisieren und/oder Ausprägen einer  $\delta$ -Phase (delta-Phase) des Eisen-Zinks zusätzlich zur  $\zeta$ -Phase auftreten, was in manchen Fällen sogar bevorzugt ist.

5

Die  $\delta$ -Phase, die besonders duktil ist und zu einem besonders guten Korrosionsschutz der zinkbeschichteten Stahl-Komponente führt, kann jedoch alternativ oder ergänzend auch gezielt durch eine Wärmebehandlung bei einer Temperatur zwischen 310 °C und 390 °C, bevorzugt zwischen 330 °C und 370 °C, besonders bevorzugt  
10 zwischen 340 °C und 360 °C und ganz besonders bevorzugt bei 350 °C gebildet werden. Dabei ist insbesondere auch eine mehrschrittige Wärmebehandlung denkbar, insbesondere zunächst zum Bilden, Stabilisieren und/oder Ausprägen der  $\zeta$ -Phase und nachfolgend bei höherer Temperatur zum Bilden, Stabilisieren und/oder Ausprägen der  $\delta$ -Phase. Alternativ kann auch zunächst eine  $\delta$ -Phase gebildet werden und  
15 dann eine Wärmebehandlung zum Bilden der  $\zeta$ -Phase erfolgen.

Idealerweise beträgt die Haltezeit zum Bilden, Stabilisieren und/oder Ausprägen der  $\delta$ -Phase bei einer Temperatur von 350 °C zwischen einer Stunde und 3 Stunden, besonders bevorzugt zwischen 1,5 Stunden und 2,5 Stunden und ganz besonders bevorzugt 2 Stunden. Insbesondere bei niedrigeren Temperaturen ist auch eine längere Haltezeit sinnvoll.

Erfolgt dagegen eine Wärmebehandlung bei deutlich erhöhten Temperaturen, insbesondere kurz unter dem Schmelzpunkt des Zinks, wird dadurch eine  $\Gamma$ -Phase  
25 (Gamma-Phase) des Eisen-Zinks gebildet, stabilisiert und/oder ausgeprägt. Eine solche Wärmebehandlung erfolgt bevorzugt bei wenigstens 390 °C, besonders bevorzugt bei wenigstens 400 °C und ganz besonders bevorzugt bei wenigstens 410 °C, wobei die Maximaltemperatur abermals bevorzugt 420 °C ist. Diese Wärmebehandlung erfolgt weiterhin bevorzugt über eine lange Dauer von wenigstens 3 Stunden,  
30 besonders bevorzugt von wenigstens 4 Stunden und ganz besonders bevorzugt von wenigstens 5 Stunden.

Die Oberfläche der Stahl-Komponente kann vor dem Aufbringen der Zinkschicht beliebig vorbehandelt werden. Dabei erfolgt die Vorbehandlung besonders bevorzugt zur Konditionierung der Oberfläche der Stahl-Komponente. Dies kann beispielsweise ein Reinigen, insbesondere ein Entfetten, der Oberfläche umfassen. Auch ein Abschleifen oder ein chemisches Entfernen von Oxidschichten ist denkbar. Darüber hinaus kann die Oberfläche der Stahl-Komponente vor dem Aufbringen der Zinkschicht auch gebeizt und/oder vorverzinkt werden. Dabei kann das Beizen in beliebiger Weise, beispielsweise durch Tauchbeizen, Sprühbeizen, Rotationsbeizen und/oder elektrochemisches Beizen erfolgen.

10

Bei einer bevorzugten Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Herstellen einer reibwertoptimierten Zinkbeschichtung auf einer Stahl-Komponente wird vor dem Aufbringen der Zinkschicht auf die Oberfläche der Stahl-Komponente in dem galvanischen Abscheidungsverfahren und/oder nach dem Beizen und/oder nach dem Vorverzinken eine Wärmebehandlung gegen eine mögliche Wasserstoffversprödung vorgenommen, die bevorzugt bei Temperaturen zwischen 200 °C und 250 °C erfolgt. Dabei ist diese Wärmebehandlung insbesondere ein Auslagern gegen eine Wasserstoffversprödung, in dem der Wasserstoff aus der Stahl-Komponente herausdiffundiert und/oder sich gleichmäßiger im Material verteilt, wodurch die Wasserstoffversprödung wenigstens signifikant reduziert oder sogar vollständig vermieden bzw. behoben werden kann. Ebenfalls bevorzugt erfolgt unmittelbar nach dieser Wärmebehandlung, insbesondere nach dem Auslagern, die Fertigverzinkung im galvanischen Abscheidungsverfahren. Dabei ist eine solche Wärmebehandlung und insbesondere ein Auslagern bei stark verfestigten Stahl-Grundmaterialien der Stahl-Komponente besonders sinnvoll.

25

Um einen noch besseren Korrosionsschutz und insbesondere einen Schutz der Zinkschicht vor Verschleiß und zum Oxidationsschutz des reinen Zinks auf der Oberfläche der zinkbeschichteten Stahl-Komponente zu erhalten sowie um eine noch bessere Reibwertoptimierung zu erreichen, erfolgt bevorzugt nach dem Aufbringen der Zinkschicht auf die Oberfläche der Stahl-Komponente in dem galvanischen Abscheidungsverfahren eine Konditionierung der Zinkoberfläche, insbesondere durch eine

30

Passivierung der Zinkoberfläche, wobei bevorzugt die Passivierung durch eine organokeramische Beschichtung bzw. mittels wenigstens einer, bevorzugt mehrerer organokeramischer Schichten erfolgt. Dabei erfolgt die Passivierung bevorzugt durch Eintauchen in ein Passivierungsmittel. Die organokeramischen Schichten sind weiterhin  
5 bevorzugt überwiegend aus Chrom- und/oder Zinkoxiden gebildet.

Eine bevorzugte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Herstellen einer reibwertoptimierten Zinkbeschichtung sieht vor, dass die Wärmebehandlung zum Bilden der Zink-Eisen-Phasen bei der Verwendung einer temperaturbeständigen  
10 Passivierungsschicht nach der Passivierung bzw. im Anschluss an die Passivierung erfolgt. Dazu muss die Passivierungsschicht mindestens bis zur maximalen Temperatur der Wärmebehandlung, bevorzugt bis wenigstens 10 °C und besonders bevorzugt wenigstens 20 °C über der maximalen Temperatur der Wärmebehandlung temperaturbeständig sein. Insbesondere bevorzugt erfolgt die Wärmebehandlung zum  
15 Bilden der Zink-Eisen-Phasen als letzter Herstellungsschritt der zinkbeschichteten Stahl-Komponenten. Ebenfalls bevorzugt wird die Passivierung unmittelbar nach dem Aufbringen der Zinkschicht auf die Oberfläche der Stahl-Komponente in dem galvanischen Abscheidungsverfahren vorgenommen, um die neu gebildete Zinkschicht schnellstmöglich vor einer Oxidation zu schützen. Bei einer nicht-temperaturbeständigen  
20 Passivierungsschicht muss die Wärmebehandlung entsprechend vor der Passivierung erfolgen.

Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Herstellen einer reibwertoptimierten Zinkbeschichtung erfolgt das Aufbringen der  
25 Zinkschicht auf die Oberfläche der Stahl-Komponente in dem galvanischen Abscheidungsverfahren mittels eines alkalischen Zink-Elektrolyten, der bevorzugt stickstoffhaltige Polymere beinhaltet und/oder bevorzugt cyanidfrei ist. Auch die Auswahl des im galvanischen Abscheidungsverfahren genutzten Zink-Elektrolyten hat einen Einfluss auf den Reibwert der zinkbeschichteten Stahl-Komponente, der sich insbesondere durch  
30 in die Zinkschicht eingelagerte Stoffe, insbesondere organische Substanzen ergibt. Dabei wurde festgestellt, dass sich schwachsaure Elektrolyte und/oder Elektrolyte mit schwefelhaltigen Tensiden nur sehr bedingt eignen, da dort ein starker Anstieg des

Reibwertes beobachtet werden konnte.

Mehrere Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend mit Bezug auf eine Zeichnung näher beschrieben. In der Figur zeigt:

5

Fig. 1 ein schematisches Ablaufdiagramm eines Verfahrens zum Herstellen einer reibwertoptimierten Zinkbeschichtung auf einer Stahl-Komponente.

Bei einer ersten Ausführung des Verfahrens zum Herstellen einer reibwertoptimierten  
10 Zinkbeschichtung auf einer Stahl-Komponente wird zunächst eine Reinzinkbeschichtung auf der Oberfläche einer Stahl-Schraube für eine elektrische Reihenklammer vorgenommen, die mittels eines galvanischen Abscheidungsverfahrens erfolgt. Dabei wird ein cyanidfreier, alkalischer Zink-Elektrolyt in wässriger Lösung verwendet, wobei in der Lösung bevorzugt zudem stickstoffhaltige Polymere enthalten sind. Der Einsatz  
15 dieses alkalischen Zink-Elektrolyten führt dazu, dass die stickstoffhaltigen Polymere zumindest teilweise in der Zink-Beschichtung eingelagert werden, wodurch die Stahl-Schraube wesentlich stabilere Reibwerte aufweist.

Der Beschichtung unmittelbar nachfolgend wird eine Wärmebehandlung durchgeführt, wozu die zinkbeschichtete Stahl-Schraube für 30 Minuten in einem Ofen auf  
20 300 °C erwärmt wird, um eine  $\zeta$ -Zink-Eisen-Phase zwischen dem oberflächlichen, reinen Zink und der Stahl-Oberfläche der beschichteten Stahl-Schraube zu bilden und zu stabilisieren. Dieser optimierte Schichtaufbau kennzeichnet sich in diesem Fall durch die Stabilisierung der  $\zeta$ -Phase im Übergangsbereich von der Zinkschicht zum  
25 Grundmaterial. Der Reibwertverlauf ist dabei durch einen nahezu gleichbleibenden Reibwert über zehn Anzugszyklen charakterisiert und auch die Streuung der Reibwerte konnte hierdurch deutlich reduziert werden.

Alternativ kann die Dauer der Wärmebehandlung auch zwischen 20 Minuten und  
30 4 Stunden betragen. Hierbei wird in jedem Fall nur ein Temperaturzyklus mit einem einzelnen Aufheizen, einem Halten bei 300 °C sowie einem Abkühlen durchgeführt. Eine solche Wärmebehandlung zum Bilden einer intermetallischen Zink-Eisenphase

kann beispielsweise in einem Durchlaufofen erfolgen, wobei die Stahl-Schrauben mit einer Aufheizrate von etwa 10 K/min bis auf 300 °C erhitzt und bei dieser Temperatur für 30 min gehalten werden. Anschließend erfolgt ein Abkühlen an ruhender Luft, insbesondere mit einer Abkühlrate von etwa 5 K/s.

- 5 Darüber hinaus ist jedoch auch eine Wärmebehandlung ausschließlich bei einer niedrigeren Temperatur und dafür über eine längere Dauer möglich. Dazu werden beispielsweise die Stahl-Schrauben zum Bilden einer intermetallischen Zink-Eisenphase in einem Kammerofen mit einer Aufheizrate von etwa 10 K/min bis auf 250 °C erhitzt und bei dieser Temperatur für etwa 6 Stunden bis hin zu 10 Stunden oder länger  
10 gehalten. Anschließend erfolgt ein Abkühlen an ruhender Luft, insbesondere mit einer Abkühlrate von etwa 5 K/s.

Besonders bevorzugt erfolgt nach der Wärmebehandlung bei 300 C keine vollständige Abkühlung, sondern die Stahl-Komponenten werden anschließend noch über  
15 eine längere Dauer, insbesondere von 6 Stunden, bei einer Temperatur von 250 °C gehalten, wie in Fig. 1 dargestellt. Hierdurch wird ein gleichmäßigeres Ergebnis über alle Stahl-Komponenten sowie ein ungestörterer, gleichmäßigerer Schichtaufbau jeder Stahl-Komponente erreicht.

- 20 Bei einer weiteren Ausführung erfolgt das galvanische Beschichten einer Stahl-Komponente eines elektrischen Kontaktelementes mittels eines cyanidfreien, alkalischen Zink-Elektrolyten. Unmittelbar nachfolgend wird eine Passivierung vorgenommen, wobei überwiegend aus Chrom- und/oder Zinkoxiden gebildete organokeramische Schichten auf die verzinkte Oberfläche der Stahl-Komponente aufgebracht werden.

25 Anschließend erfolgt als letzter Herstellungsschritt der Stahl-Komponente eine Wärmebehandlung des verzinkten und passivierten Bauteils in einem Ofen bei einer Temperatur von 300 °C über eine Dauer von 30 Minuten.

- 30 Eine weitere Ausführung geht von einem identisch mit Zink beschichtetem Bauteil aus, wobei eine Wärmebehandlung in zwei Schritten erfolgt. Dabei wird das Bauteil zunächst auf 350 °C erhitzt und dort für 30 Minuten gehalten. Nachfolgend wird das

Bauteil auf 300 °C abgekühlt und dort für eine weitere Stunde gehalten.

Nach dem vollständigen Abkühlen erfolgt eine Passivierung, wobei dies mittels eines nicht hitzebeständigen Passivierungsmittels erfolgen kann.

**Ansprüche**

1. Verfahren zum Herstellen einer reibwertoptimierten Zinkbeschichtung auf einer Stahl-Komponente, mit den Schritten:
  - 5 - Aufbringen einer Zinkschicht auf die Oberfläche der Stahl-Komponente mittels eines galvanischen Abscheidungsverfahrens und nachfolgend
  - Wärmebehandlung bei einer Temperatur unterhalb von 420 °C zum gezielten Bilden von intermetallischen Zink-Eisen-Phasen in der galvanisch abgeschiedenen Zinkschicht zur Optimierung des Reibwertes.
- 10 2. Verfahren zum Herstellen einer reibwertoptimierten Zinkbeschichtung auf einer Stahl-Komponente nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Aufbringen einer Zinkschicht sowie alle nachfolgenden Verfahrensschritte zur Herstellung der zinkbeschichteten Stahl-Komponente bei Temperaturen unterhalb von 420 °C erfolgen.
- 15 3. Verfahren zum Herstellen einer reibwertoptimierten Zinkbeschichtung auf einer Stahl-Komponente nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Haltezeit der Wärmebehandlung zwischen 20 Minuten und 10 Stunden, bevorzugt zwischen 20 Minuten und 6 Stunden und besonders bevorzugt zwischen 30 Minuten und 4 Stunden beträgt.
- 20 4. Verfahren zum Herstellen einer reibwertoptimierten Zinkbeschichtung auf einer Stahl-Komponente nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Wärmebehandlung bei einer Temperatur zwischen 250 °C und 310 °C erfolgt, wodurch eine  $\zeta$ -Phase des Eisen-Zinks gebildet wird.
- 25 5. Verfahren zum Herstellen einer reibwertoptimierten Zinkbeschichtung auf einer Stahl-Komponente nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Wärmebehandlung bei einer Temperatur zwischen 340 °C und 360 °C erfolgt, wodurch eine  $\delta$ -Phase des Eisen-
- 30

Zinks gebildet wird.

- 5 6. Verfahren zum Herstellen einer reibwertoptimierten Zinkbeschichtung auf einer Stahl-Komponente nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Oberfläche der Stahl-Komponente vor dem Aufbringen der Zinkschicht gebeizt und/oder vorverzinkt wird.
- 10 7. Verfahren zum Herstellen einer reibwertoptimierten Zinkbeschichtung auf einer Stahl-Komponente nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass vor dem Aufbringen der Zinkschicht und/oder nach dem Beizen und/oder nach dem Vorverzinken eine weitere Wärmebehandlung gegen eine mögliche Wasserstoffversprödung vorgenommen wird, die bei Temperaturen zwischen 200 °C und 250 °C erfolgt.
- 15 8. Verfahren zum Herstellen einer reibwertoptimierten Zinkbeschichtung auf einer Stahl-Komponente nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass nach dem Aufbringen der Zinkschicht eine Passivierung der Zinkoberfläche durch eine organokeramische Beschichtung erfolgt.
- 20 9. Verfahren zum Herstellen einer reibwertoptimierten Zinkbeschichtung auf einer Stahl-Komponente nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Wärmebehandlung zum Bilden der Zink-Eisen-Phasen bei der Verwendung einer temperaturbeständigen Passivierungsschicht im Anschluss an die Passivierung erfolgt.
- 25 10. Verfahren zum Herstellen einer reibwertoptimierten Zinkbeschichtung auf einer Stahl-Komponente nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Aufbringen der Zinkschicht auf die Oberfläche der Stahl-Komponente in dem galvanischen Abscheidungsverfahren mittels eines alkalischen Zink-Elektrolyten erfolgt, der stickstoffhaltige Polymere beinhaltet.
- 30

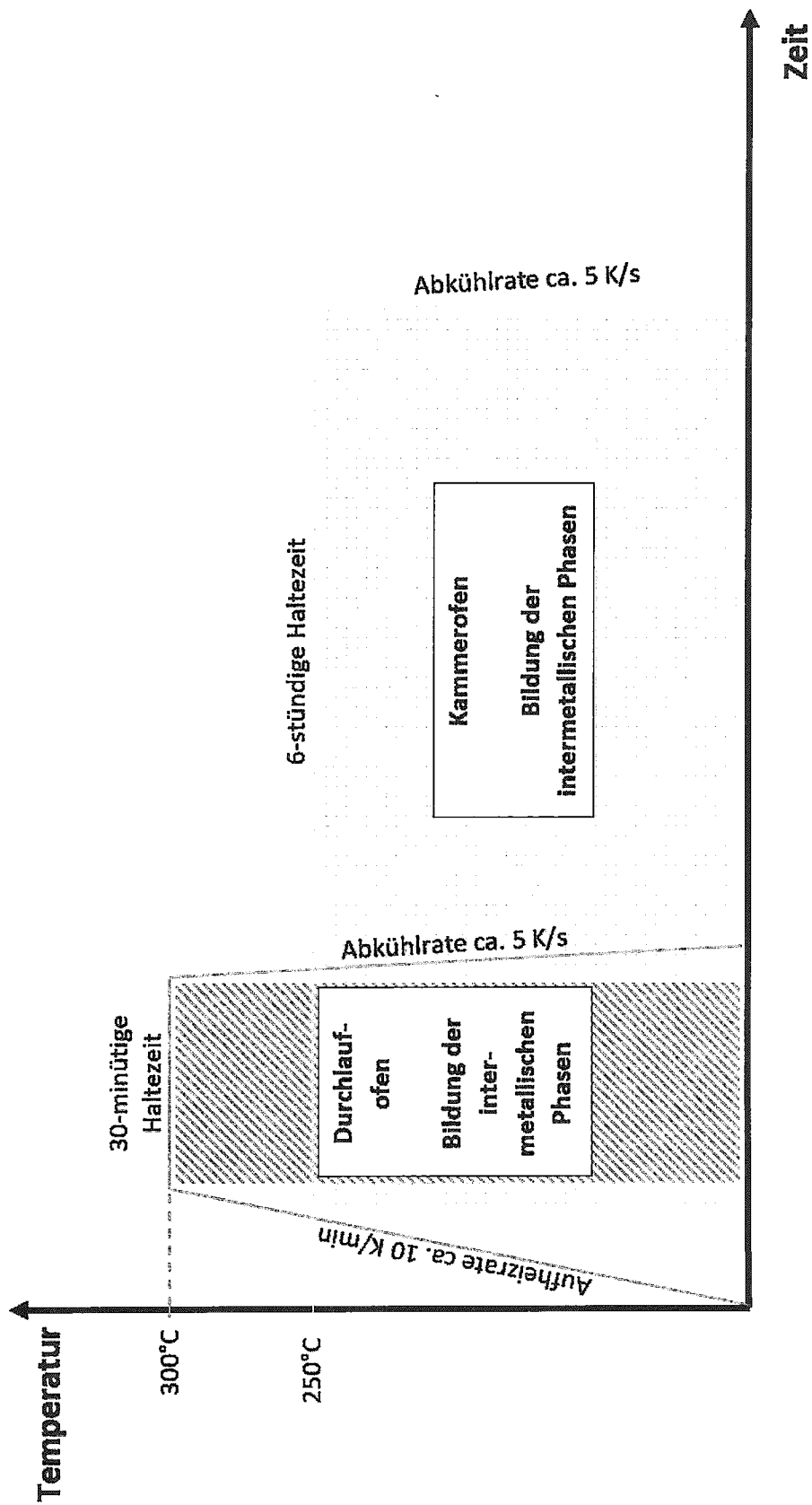


Fig. 1