

(19)



(11)

EP 4 682 292 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
21.01.2026 Patentblatt 2026/04

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
C23C 22/00^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **25220662.8**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
**C23C 2/024; C22C 18/04; C23C 2/003;
C23C 2/0038; C23C 2/02; C23C 2/026; C23C 2/06;
C23C 2/26; C23C 2/28; C23C 2/29; C23C 2/30;
C23C 2/52; C23C 28/02; C23C 28/025;
C23C 28/028;** (Forts.)

(22) Anmeldetag: **28.02.2024**

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

(72) Erfinder:
• **PINGER, Thomas, Dr.**
3530 Houthalen (BE)
• **BAUMGÜRTEL, Lars**
3530 Houthalen (BE)

(30) Priorität: **27.07.2023 DE 102023119946**
14.08.2023 DE 102023121687

(74) Vertreter: **Von Rohr Patentanwälte Partnerschaft
mbB**
Rüttenscheider Straße 62
45130 Essen (DE)

(62) Dokumentnummer(n) der früheren Anmeldung(en)
nach Art. 76 EPÜ:
24708428.8 / 4 676 679

Bemerkungen:

Diese Anmeldung ist am 04-12-2025 als
Teilanmeldung zu der unter INID-Code 62 erwähnten
Anmeldung eingereicht worden.

(71) Anmelder: **Fontaine Holdings NV**
3530 Houthalen (BE)

(54) VERFAHREN ZUR FEUERVERZINKUNG VON BAUTEILEN

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft das techni-
sche Gebiet der Verzinkung von eisenbasierten bzw.
eisenhaltigen Bauteilen, insbesondere stahlbasierten
bzw. stahlhaltigen Bauteilen (Stahlbauteilen), vorzugs-
weise für die Automobil- bzw. Kraftfahrzeugindustrie, die

Bauindustrie, den Bereich des allgemeinen Maschinen-
baus, die Elektroindustrie und andere technische An-
wendungsgebiete, mittels Feuerverzinkung (Schmelz-
tauchverzinkung).

EP 4 682 292 A2

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC): (Forts.)
C23C 2222/10

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft das technische Gebiet der Verzinkung von eisenbasierten bzw. eisenhaltigen Bauteilen, insbesondere stahlbasierten bzw. stahlhaltigen Bauteilen (Stahlbauteilen), vorzugsweise für die Automobil- bzw. Kraftfahrzeugindustrie, die Bauindustrie, den Bereich des allgemeinen Maschinenbaus, die Elektroindustrie und andere technische Anwendungsgebiete, mittels Feuerverzinkung (Schmelztauchverzinkung).

[0002] Insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung das technische Gebiet des Recyclings bzw. der Wiederverwendung bzw. der Aufbereitung von bereits verwendeten Bauteilen, insbesondere von bereits verwendeten verzinkten Bauteilen, vorzugsweise von bereits verwendeten verzinkten Eisen- oder Stahlbauteilen.

[0003] Insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung ein Verfahren sowie eine Anlage zur Feuerverzinkung (Schmelztauchverzinkung) eines verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere eines einer Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere zur Regeneration und/oder Wiederaufbereitung und/oder Wiederverwendung eines verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, und darüber hinaus die nach dem erfindungsgemäßen Verfahren bzw. in der erfindungsgemäßen Anlage erhältlichen Produkte (d.h. feuerverzinkte Eisen- oder Stahlbauteile) sowie die entsprechenden Verwendungen.

[0004] Metallische Bauteile jeglicher Art aus eisenhaltigem Material, insbesondere Bauteile aus Stahl, erfordern anwendungsbedingt oftmals einen effizienten Schutz vor Korrosion. Insbesondere Bauteile aus Stahl für Kraftfahrzeuge (Kfz), wie z. B. Pkw, Lkw, Nutzfahrzeuge etc., aber auch für andere technische Bereiche (z. B. Bauindustrie, Maschinenbau, Elektroindustrie etc.), erfordern einen effizienten Korrosionsschutz, welcher auch Langzeitbelastungen standhält.

[0005] In diesem Zusammenhang ist es bekannt, stahlbasierte Bauteile mittels Verzinkung (Verzinken) gegenüber Korrosion zu schützen. Beim Verzinken wird der Stahl mit einer im Allgemeinen dünnen Zinkschicht versehen, um den Stahl vor Korrosion zu schützen. Dabei können verschiedene Verzinkungsverfahren eingesetzt werden, um Bauteile aus Stahl zu verzinken, d.h. mit einem metallischen Überzug aus Zink zu überziehen, wobei insbesondere die Feuerverzinkung (synonym auch als Schmelztauchverzinkung bezeichnet), die Spritzverzinkung (Flammspritzen mit Zinkdraht), die Diffusionsverzinkung (Sherard-Verzinkung), die galvanische Verzinkung (elektrolytische Verzinkung), die nicht-elektrolytische Verzinkung mittels Zinklamellenüberzügen sowie die mechanische Verzinkung zu nennen sind. Zwischen den vorgenannten Verzinkungsverfahren bestehen große Unterschiede, insbesondere im Hinblick auf die Verfahrensdurchführung, aber auch im Hinblick auf die Beschaffenheit und Eigenschaften der erzeugten Zinkschichten bzw. Zinküberzüge.

[0006] Das wohl wichtigste Verfahren zum Korrosionsschutz von Stahl durch metallische Zinküberzüge ist die Feuerverzinkung (Schmelztauchverzinkung). Dabei wird Stahl kontinuierlich (z. B. Band und Draht) oder stückweise (z. B. Bauteile) bei Temperaturen von etwa 400 °C bis 600 °C in einen beheizten Kessel mit flüssigem Zink getaucht (Schmelzpunkt von Zink: 419,5 °C; Zinklegierungen können einen höheren oder niedrigeren Schmelzpunkt aufweisen), so dass sich auf der Stahloberfläche eine widerstandsfähige Legierungsschicht aus Eisen und Zink und darüber eine sehr fest haftende reine Zinkschicht ausbilden.

[0007] Die Feuerverzinkung ist somit eine seit vielen Jahrzehnten anerkannte und bewährte Methode, um Bauteile bzw. Komponenten aus Eisenwerkstoffen, insbesondere Stahlwerkstoffen, vor Korrosion zu schützen. Wie zuvor geschildert, wird hierbei das typischerweise vorgereinigte bzw. vorbehandelte Bauteil in ein flüssig-heißes Zinkbad eingetaucht, wobei es zur Reaktion mit der Zinkschmelze und, daraus resultierend, zur Ausbildung einer relativ dünnen, metallurgisch mit dem Grundwerkstoff verbundenen Zinkschicht kommt.

[0008] Bei der Feuerverzinkung wird zwischen diskontinuierlicher Stückverzinkung (vgl. z. B. DIN EN ISO 1461 und DIN 50997) und kontinuierlicher Band- und Drahtverzinkung (vgl. z. B. DIN EN 10143 und DIN EN 10346) unterschieden. Sowohl das Stückverzinken als auch das Band- und Drahtverzinken sind genormte bzw. standardisierte Verfahren. Kontinuierlich verzinktes Stahlband und kontinuierlich verzinkter Draht sind jeweils ein Vor- bzw. Zwischenprodukt (Halzeug), welches nach dem Verzinken, insbesondere durch Umformen, Stanzen, Zuschneiden etc., weiterverarbeitet wird, wohingegen durch Stückverzinken zu schützende Bauteile in der Regel zuerst vollständig oder zumindest teilweise gefertigt und erst danach feuerverzinkt werden (wodurch die Bauteile rundum vor Korrosion geschützt werden). Stückverzinken und Band-/Drahtverzinken unterscheiden sich je nach Applikationsbedingungen zudem hinsichtlich des Phasenaufbaus als auch der Dicke der jeweils resultierenden Zinküberzüge, wodurch sich - auch in Abhängigkeit der Zinkschicht - unterschiedliche Schutzdauern ergeben können. Die Zinkschichtdicke von bandverzinkten Blechen liegt üblicherweise im Bereich von 10 bis 35 Mikrometern, wohingegen die Zinkschichtdicken von stückverzinkten Stahlteilen üblicherweise im Bereich von 50 bis 200 Mikrometern und sogar mehr liegen.

[0009] Die Feuerverzinkung liefert sowohl einen aktiven als auch passiven Korrosionsschutz. Der passive Schutz erfolgt durch die Barrierewirkung des Zinküberzuges. Der aktive Korrosionsschutz entsteht aufgrund der kathodischen Wirkung des Zinküberzuges. Gegenüber edleren Metallen der elektrochemischen Spannungsreihe, wie z. B. Eisen, dient Zink als Opferanode, die das darunter liegende Eisen so lange vor Korrosion schützt, bis sie selbst vollständig korrodiert ist.

[0010] Bei der sogenannten Stückverzinkung nach DIN EN ISO 1461 erfolgt das Feuerverzinken von meist größeren

Stahlbauteilen und -konstruktionen. Dabei werden stahlbasierte Rohlinge oder (halb-)fertige Werkstücke (Bauteile) nach einer Vorbehandlung in das Zinkschmelzbad eingetaucht. Durch das Tauchen können insbesondere auch Innenflächen, Schweißnähte und schwer zugängliche Stellen der zu verzinkenden Werkstücke bzw. Bauteile gut erreicht werden.

[0011] Die konventionelle Feuerverzinkung, insbesondere Tauchverzinkung, basiert insbesondere auf dem Tauchen von Eisen- bzw. Stahlbauteilen in eine Zinkschmelze unter Ausbildung eines Zinküberzugs auf der Oberfläche der Bauteile. Zur Sicherstellung des Haftvermögens, der Geschlossenheit und der Einheitlichkeit des Zinküberzuges ist vorab im Allgemeinen eine sorgfältige Oberflächenvorbehandlung und gegebenenfalls -vorbereitung der zu verzinkenden Bauteile erforderlich, welche üblicherweise eine Entfettung mit nachfolgendem Spülvorgang, eine sich anschließende saure Beizung mit nachfolgendem Spülvorgang und schließlich eine Flussmittelbehandlung (d.h. ein sogenanntes Fluxen) mit nachfolgendem Trocknungsvorgang umfasst.

[0012] Aus Gründen der Prozessökonomie und der Wirtschaftlichkeit werden bei der Stückverzinkung identischer oder gleichartiger Bauteile (z. B. Serienproduktion von Kfz-Bauteilen) diese typischerweise für den gesamten Prozess zusammengeführt bzw. gruppiert (insbesondere mittels eines gemeinsamen, beispielsweise als Traverse oder Gestell ausgebildeten Warenträgers oder einer gemeinsamen Halte- bzw. Befestigungsvorrichtung für eine Vielzahl dieser identischen bzw. gleichartigen Bauteile). Hierzu werden eine Mehrzahl von Bauteilen am Warenträger über Haltemittel, wie z. B. Anschlagmittel, Anbindedrähte oder dergleichen befestigt. Anschließend werden die Bauteile im gruppierten Zustand über den Warenträger den einzelnen Behandlungsschritten bzw. -stufen der Feuerverzinkung zugeführt.

[0013] Der typische Verfahrensablauf beim konventionellen Stückverzinken mittels Feuerverzinkung gestaltet sich üblicherweise wie folgt:

Zunächst werden die Bauteiloberflächen der betreffenden Bauteile einer Entfettung unterzogen, um Rückstände von Fetten und Ölen zu entfernen, wobei als Entfettungsmittel üblicherweise wässrige alkalische oder saure Entfettungsmittel zur Anwendung kommen können. Nach der Reinigung im Entfettungsbad schließt sich üblicherweise ein Spülvorgang an, typischerweise durch Eintauchen in ein Wasserbad, um ein Verschleppen von Entfettungsmitteln mit dem Verzinkungsgut in den nachfolgenden Prozessschritt des Beizens zu vermeiden, wobei dies insbesondere bei einem Wechsel von alkalischer Entfettung auf eine saure Beize von hoher Bedeutung ist.

[0014] Anschließend erfolgt eine Beizbehandlung (Beizen), welche insbesondere zur Entfernung von arteigenen Verunreinigungen, wie z. B. Rost und Zunder, von der Stahloberfläche dient. Das Beizen erfolgt üblicherweise in verdünnter Salzsäure, wobei die Dauer des Beizvorgangs unter anderem vom Verunreinigungsgrad (z. B. Verrostungsgrad) des Verzinkungsgutes und der Säurekonzentration und Temperatur des Beizbades abhängig ist. Zur Vermeidung bzw. Minimierung von Verschleppungen von Säure- und/oder Salzresten mit dem Verzinkungsgut erfolgt nach der Beizbehandlung üblicherweise ein Spülvorgang (Spülschritt).

[0015] Nachfolgend erfolgt dann das sogenannte Fluxen (synonym auch als Flussmittelbehandlung bezeichnet), wobei die zuvor entfettete und gebeizte Stahloberfläche mit einem sogenannten Flussmittel, welches typischerweise eine wässrige Lösung von anorganischen Chloriden, am häufigsten mit einer Mischung aus Zinkchlorid (ZnCl_2) und Ammoniumchlorid (NH_4Cl), umfasst. Einerseits ist es Aufgabe des Flussmittels, vor der Reaktion der Stahloberfläche mit dem schmelzflüssigen Zink eine letzte intensive Feinstreinigung der Stahloberfläche vorzunehmen und die Oxidhaut der Zinkoberfläche aufzulösen sowie eine erneute Oxidation der Stahloberfläche bis zum Verzinkungsvorgang zu verhindern. Andererseits soll das Flussmittel die Benetzungsfähigkeit zwischen der Stahloberfläche und dem schmelzflüssigen Zink erhöhen. Nach der Flussmittelbehandlung erfolgt dann üblicherweise eine Trocknung, um einen festen Flussmittelfilm auf der Stahloberfläche zu erzeugen und anhaftendes Wasser zu entfernen, so dass nachfolgend unerwünschte Reaktionen (insbesondere die Bildung von Wasserdampf) im flüssigen Zinktauchbad vermieden werden.

[0016] Die auf die vorgenannte Weise vorbehandelten Bauteile werden dann durch Eintauchen in die flüssige Zinkschmelze feuerverzinkt. Bei der Feuerverzinkung mit reinem Zink liegt der Zinkgehalt der Schmelze gemäß DIN EN ISO 1461 bei mindestens 98,0 Gew.-%. Nach dem Eintauchen des Verzinkungsgutes in das geschmolzene Zink (bzw. die Zinklegierung) verbleibt dieses für eine ausreichende Zeitdauer im Zinkschmelzbad, insbesondere bis das Verzinkungsgut dessen Temperatur angenommen hat und mit einer Zinkschicht überzogen ist. Typischerweise wird die Oberfläche der Zinkschmelze insbesondere von Oxiden, Zinkasche, Flussmittelresten und dergleichen gereinigt, bevor dann das Verzinkungsgut wieder aus der Zinkschmelze herausgezogen wird. Das auf diese Weise feuerverzinkte Bauteil wird dann einem Abkühlvorgang (z. B. an der Luft oder in einem Wasserbad) unterzogen. Abschließend werden gegebenenfalls vorhandene Haltemittel für das Bauteil, wie z. B. Anschlagmittel, Anbindedrähte oder dergleichen, entfernt.

[0017] Im Anschluss an den Verzinkungsprozess erfolgt üblicherweise noch die Nachbearbeitung der verzinkten Bauteile. Dabei werden z. B. überschüssige Zinkbadrückstände, insbesondere sogenannte Tropfnasen des an den Kanten erstarrenden Zinks sowie Oxid- oder Ascherückstände, welche an dem Bauteil anhaften, so weit wie nötig entfernt.

[0018] Ein Kriterium für die Güte einer Feuerverzinkung ist die Dicke des Zinküberzuges in μm (Mikrometern). In der Norm DIN EN ISO 1461 sind die Mindestwerte der geforderten Überzugsdicken angegeben, wie sie je nach Materialdicke beim Stückverzinken zu liefern sind. In der Praxis liegen die Schichtdicken deutlich über den in der DIN EN ISO 1461 angegebenen Mindestschichtdicken. Im Allgemeinen haben durch Stückverzinken hergestellte Zinküberzüge eine Dicke im Bereich von 50 bis 200 Mikrometern und sogar mehr.

[0019] Beim Verzinkungsvorgang bildet sich als Folge einer wechselseitigen Diffusion des flüssigen Zinks mit der Stahloberfläche auf dem Stahlteil ein Überzug verschiedenartig zusammengesetzter Eisen/Zink-Legierungsschichten. Beim Herausziehen der feuerverzinkten Gegenstände bleibt auf der obersten Legierungsschicht noch eine - auch als Reinzinkschicht bezeichnete - Schicht aus Zink haften, welche in ihrer Zusammensetzung der Zinkschmelze entspricht. Wegen der hohen Temperaturen beim Schmelztauchen bildet sich auf der Stahloberfläche somit zunächst eine relativ spröde Schicht auf Basis einer Legierung (Mischkristalle) zwischen Eisen und Zink aus und darüber erst die reine Zinkschicht. Die relativ spröde Eisen/Zink-Legierungsschicht verbessert zwar die Haftfestigkeit mit dem Grundmaterial, erschwert aber die Umformbarkeit des verzinkten Stahls. Auf diese Weise kommt es zur Bildung von relativ großen Gesamtschichtdicken. Hierdurch wird zwar eine sehr lange Korrosionsschutzdauer ermöglicht, es erhöht sich jedoch auch mit zunehmender Zinkschichtdicke die Gefahr, dass die Schicht unter mechanischer Belastung, insbesondere lokalen schlagartigen Einwirkungen, abplatzt und die Korrosionsschutzwirkung hierdurch gestört wird. Auch ist die gebildete Zinkschicht nicht duktil und somit sind die Möglichkeiten der Weiterverarbeitung begrenzt, insbesondere unter Erhalt der Korrosionsschutzwirkung.

[0020] Um dem zuvor geschilderten Problem des Auftretens der schnell aufwachsenden, spröden und dicken Eisen/-Zink-Legierungsschicht entgegenzuwirken und auch geringere Schichtdicken mit gleichzeitig hohem Korrosionsschutz bei der Verzinkung zu ermöglichen, ist es aus dem Stand der Technik bekannt, der Zinkschmelze bzw. dem flüssigen Zinkbad zusätzlich Aluminium zuzusetzen. Beispielsweise wird durch eine Zugabe von 5 Gew.-% Aluminium zu einer flüssigen Zinkschmelze eine Zink/Aluminium-Legierung mit einer niedrigeren Schmelztemperatur gegenüber reinem Zink erzeugt. Durch die Verwendung einer Zink/Aluminium-Schmelze (Zn/Al-Schmelze) bzw. eines flüssigen Zink/Aluminium-Bades (Zn/Al-Bad) lassen sich einerseits deutlich geringere Schichtdicken für einen verlässlichen Korrosionsschutz realisieren (im Allgemeinen unterhalb von 50 Mikrometern); andererseits unterbleibt die Ausbildung der spröden Eisen/-Zink-Legierungsschicht, da das Aluminium - ohne sich auf eine bestimmte Theorie festzulegen - sozusagen zunächst eine Sperrschicht auf der Stahloberfläche des betreffenden Bauteils ausbildet, auf welche dann die eigentliche Zinkschicht abgeschieden wird.

[0021] Mit einer Zink/Aluminium-Schmelze feuerverzinkte Bauteile lassen sich daher problemlos umformen, weisen aber dennoch - trotz der signifikant geringeren Schichtdicke im Vergleich zu einer konventionellen Feuerverzinkung mit einer quasi aluminiumfreien Zinkschmelze - verbesserte Korrosionsschutzeigenschaften auf.

[0022] Eine im Feuerverzinkungsbad eingesetzte Zink/Aluminium-Legierung weist gegenüber Reinzink verbesserte Fluiditätseigenschaften auf. Außerdem weisen Zinküberzüge, welche mittels unter Verwendung derartiger Zink/Aluminium-Legierungen durchgeführter Feuerverzinkungen erzeugt sind, eine größere Korrosionsbeständigkeit (welche zwei- bis sechsmal besser ist als die von Reinzink), eine bessere Optik, eine verbesserte Formbarkeit und eine bessere Lackierbarkeit auf als aus Reinzink gebildete Zinküberzüge. Überdies lassen sich mit dieser Technologie auch bleifreie Zinküberzüge herstellen.

[0023] Ein solches Feuerverzinkungsverfahren unter Verwendung einer Zink/Aluminium-Schmelze bzw. unter Verwendung eines Zink/Aluminium-Feuerverzinkungsbades ist beispielsweise bekannt aus der WO 2002/042512 A1 und den betreffenden Druckschriftäquivalenten zu dieser Patentfamilie (z. B. EP 1 352 100 B1, DE 601 24 767 T2 und US 2003/0219543 A1). Dort werden auch geeignete Flussmittel für die Feuerverzinkung mittels Zink/Aluminium-Schmelzbädern offenbart, da Flussmittelzusammensetzungen für Zink/Aluminium-Feuerverzinkungsbäder anders beschaffen sein müssen als solche für die konventionelle Feuerverzinkung mit Reinzink. Mit dem dort offenbarten Verfahren lassen sich Korrosionsschutzüberzüge mit sehr geringen Schichtdicken (im Allgemeinen deutlich unterhalb von 50 Mikrometern und typischerweise im Bereich von 2 bis 20 Mikrometern) und mit sehr geringem Gewicht bei hoher Kosteneffizienz erzeugen, weshalb das dort beschriebene Verfahren kommerziell unter der Bezeichnung microZINQ®-Verfahren angewendet wird.

[0024] Im Hinblick auf die Ausbildung der Zinkschicht und deren Eigenschaften hat sich also gezeigt, dass diese über Legierungselemente in der Zinkschmelze maßgeblich beeinflusst werden können. Als eines der wichtigsten Elemente ist hierbei Aluminium zu nennen: So hat sich gezeigt, dass bereits mit einem Aluminiumgehalt in der Zinkschmelze von 100 ppm (gewichts-basiert) die Optik der entstehenden Zinkschicht hin zu einem helleren, glänzenderen Aussehen verbessert werden kann. Mit zunehmendem Aluminiumgehalt in der Zinkschmelze bis 1.000 ppm (gewichts-basiert) nimmt dieser Effekt stetig zu. Des Weiteren hat sich gezeigt, dass sich - wie zuvor bereits geschildert - ab einem Aluminiumgehalt in der Zinkschmelze von 0,12 Gew.-% eine intermetallische Fe/Al-Phase zwischen dem Eisenwerkstoff und der Zinkschicht bildet, welche dazu führt, dass die sonst üblichen Diffusionsprozesse zwischen Eisen und Zinkschmelze inhibiert werden und somit das Aufwachsen der Zn/Fe-Phasen signifikant verringert wird; als Folge hiervon resultieren deshalb ab diesem Aluminiumgehalt in der Zinkschmelze wesentlich dünnere Zinkschichten. Schließlich hat sich gezeigt, dass grundsätzlich mit zunehmendem Aluminiumgehalt in der Zinkschmelze die Korrosionsschutzwirkung der resultierenden Zinkschicht zunimmt; Grundlage hierfür ist, dass die Zn/Al-Verbindungen schneller deutlich stabilere Deckschichten bilden.

[0025] Bekannte Beispiele für die kommerzielle Verwendung von aluminiumhaltigen Zinkschmelzen sind das sogenannte Galfan®-Verfahren und das vorgenannte microZINQ®-Verfahren mit einem Aluminiumgehalt in der Zinkschmelze typischerweise im Bereich von 4,2 Gew.-% bis 6,2 Gew.-%. Der Vorteil dieser Legierung liegt unter anderem darin, dass

um den Mittelwert von 5 Gew.-% eine eutektische Zusammensetzung des Zn/Al-Systems mit einem Schmelzpunkt von 382 °C vorliegt, wodurch eine Verringerung der Betriebstemperatur im Verzinkungsprozess ermöglicht wird.

[0026] Insgesamt können somit Feuerverzinkungsschichten mit unterschiedlichen Zusammensetzungen auf eisenbasierte Bauteile aufgebracht werden, um Korrosionsschutz bereitzustellen, wobei die Eigenschaften, insbesondere die Korrosionsschutzeigenschaften sowie die mechanischen und optischen Eigenschaften, der Zinkschicht durch dessen Zusammensetzung beeinflusst wird.

[0027] Jedoch kann die Korrosionsschutzleistung der Zinkschicht (Feuerverzinkungsschicht) im Laufe der Verwendung nachlassen, beispielsweise durch Verwitterung oder Abtragung oder Beschädigung der Zinkschicht. In diesem Zusammenhang kann die Zinkschicht insbesondere durch mechanische und/oder chemische Prozesse während der Nutzung abgetragen oder beschädigt werden. Insbesondere wenn die verzinkten Bauteile Umwelteinflüssen, wie starker Hitze und/oder Kälte, Salzen etc. ausgesetzt werden oder aber mechanisch beansprucht, beispielsweise deformiert werden, wird die Korrosionsschutzleistung der Zinkschicht beeinflusst, insbesondere kann diese mit der Zeit signifikant abnehmen. Zuverlässiger Korrosionsschutz kann aber nur bei einer unbeschädigten und durchgängigen Zinkschicht mit einer bestimmten Mindestdicke, welche abhängig von der Zusammensetzung der Zinkschicht ist, bereitgestellt werden.

[0028] Auch wenn die Zinkschicht beschädigt oder teilweise abgetragen ist und somit kein zuverlässiger Korrosionsschutz mehr vorliegt, ist aber nicht zwingend auch das Bauteil als solches untauglich; insbesondere muss der mangelnde Korrosionsschutz die technologischen Eigenschaften des Bauteils als solche nicht beeinflussen. Folglich könnte ein solches Bauteil nach Wiederherstellung eines zuverlässigen Korrosionsschutzes wieder- bzw. weiterverwendet werden. Bauteile, bei welchen die Korrosionsschutzeigenschaften durch Umwelteinflüsse oder mechanische Einwirkungen abnehmen, aber das Bauteil als solches noch einsatzfähig ist, können beispielsweise Gerüstteile, Leitplanken bzw. Schutzplanken, Karosserieteile etc. sein. Insbesondere ist eine weitere Nutzung des Bauteils als solches noch möglich, wenn dieses noch funktionsfähig ist und keine oder zumindest keine technisch relevante Korrosion bis zum Grundmaterial (d.h. bis zum Bauteil als solchen) erfolgt ist. Mit anderen Worten ist das Entsorgen oder Einschmelzen eines solchen Bauteils nicht notwendig, jedoch ist zur weiteren Verwendung ein (neuer) zuverlässiger Korrosionsschutz zwingend notwendig.

[0029] Im Stand der Technik ist es daher üblich, Bauteile mit mangelndem Korrosionsschutz, insbesondere aufgrund einer beschädigten Zinkschicht, vollständig zu entzinken und neu zu verzinken. Mit anderen Worten wird die noch vorhandene Zinkschicht vollständig entfernt (sog. Entzinken), insbesondere durch chemische und/oder mechanische Prozesse, und anschließend in einem üblichen Feuerverzinkungsverfahren, insbesondere in einem der zuvor beschriebenen Verfahren, neu verzinkt. Vor der neuen Verzinkung können bei Bedarf Reparatur- bzw. Korrektur- sowie Formarbeiten, wie beispielsweise das Ausbessern von Verformungen, Nachstanzen von Löchern, Schneiden von Gewinden, Hinzufügen von Bohrungen etc., durchgeführt werden.

[0030] Nachteilhaft ist dabei jedoch, dass die noch vorhandene Zinkschicht vollständig entfernt wird. Hinzu kommt weiterhin, dass die Entzinkung aufwendig ist und mit einem hohen Energieaufwand einhergeht. Darüber hinaus ist das Entzinken unökonomisch, insbesondere da auch bei nur geringen Mängeln die gesamte Zinkschicht entfernt werden muss. Somit führt die (vollständige) Entfernung der Zinkschicht und das Aufbringen einer neuen Zinkschicht zu einem hohen Materialsowie Energieverbrauch, was sowohl wirtschaftlich als auch ökologisch nachteilig ist. Darüber hinaus ist der Prozess insgesamt aufwendig und langwierig.

[0031] In dem zuvor beschriebenen Stand der Technik fehlt es somit an einer Möglichkeit Bauteile, welche noch funktionsfähig sind, bei welchen die Zinkschicht aber keinen vollständigen oder ausreichenden Korrosionsschutz mehr bereitstellt, ökonomisch sowie ressourcenschonend und ökologisch aufzubereiten, insbesondere derart, dass wieder ein zuverlässiger Korrosionsschutz bereitgestellt wird. Insbesondere muss zu diesem Zweck eine verlässliche Feststellung bzw. Bewertung des bestehenden bzw. verbleibenden Zustands und Korrosionsschutzes erfolgen.

[0032] Das der vorliegenden Erfindung zugrundeliegende Problem besteht daher in der Bereitstellung eines Verfahrens zur Feuerverzinkung (Schmelztauchverzinkung) eines verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere eines eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere zur Regeneration und/oder Wiederaufbereitung und/oder Wiederverwendung eines verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, sowie einer betreffenden Anlage zur Durchführung dieses Verfahrens, wobei die zuvor geschilderten Nachteile des Standes der Technik zumindest weitestgehend vermieden oder aber wenigstens abgeschwächt werden sollen.

[0033] Insbesondere soll ein solches Verfahren bzw. eine solche Anlage bereitgestellt werden, welche(s) die Wiederherstellung der Korrosionsschutzeigenschaften ermöglichen, ohne dass die noch vorhandene Zinkschicht zunächst (vollständig) entfernt werden muss. Dabei muss eine verlässliche und reproduzierbare Feststellung bzw. Bewertung des bestehenden bzw. verbleibenden Zustands und Korrosionsschutzes erfolgen.

[0034] Außerdem soll ein solches Verfahren bzw. eine solche Anlage bereitgestellt werden, welche(s) energetisch effizienter und ressourcenschonender als herkömmliche Verfahren bzw. Anlagen ist.

[0035] Darüber hinaus soll ein solches Verfahren bzw. eine solche Anlage bereitgestellt werden, welche(s) nachhaltiger als herkömmliche Verfahren bzw. Anlagen ist.

[0036] Zur Lösung des zuvor geschilderten Problems schlägt die vorliegende Erfindung - gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung - ein Verfahren zur Feuerverzinkung (Schmelztauchverzinkung) eines verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils gemäß Anspruch 1 vor; weitere, insbesondere besondere und/oder vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens sind Gegenstand der diesbezüglichen Verfahrensunteransprüche.

[0037] Weiterhin betrifft die vorliegende Erfindung - gemäß einem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung - eine Anlage (System) zur Feuerverzinkung (Schmelztauchverzinkung) eines verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils gemäß dem diesbezüglichen unabhängigen Anlagenanspruch (Anspruch 50); weitere, insbesondere besondere und/oder vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Anlage sind Gegenstand der diesbezüglichen Anlagenunteransprüche.

[0038] Des Weiteren betrifft die vorliegende Erfindung - gemäß einem dritten Aspekt der vorliegenden Erfindung - ein feuerverzinktes (schmelztauchverzinktes) Eisen- oder Stahlbauteil gemäß den diesbezüglichen unabhängigen Produktansprüchen (Ansprüche 60 und 61); weitere, insbesondere besondere und/oder vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Produkts sind Gegenstand der diesbezüglichen Produktunteransprüche.

[0039] Schließlich betrifft die vorliegende Erfindung - gemäß einem vierten Aspekt der vorliegenden Erfindung - die Verwendungen gemäß den diesbezüglichen unabhängigen Verwendungsansprüchen (Ansprüche 67, 68 und 70); weitere, insbesondere besondere und/oder vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Verwendungen sind Gegenstand der diesbezüglichen Verwendungsunteransprüche.

[0040] Es versteht sich bei den nachfolgenden Ausführungen von selbst, dass Ausgestaltungen, Ausführungsformen, Vorteile und dergleichen, welche nachfolgend zu Zwecken der Vermeidung von Wiederholungen nur zu einem Erfindungsaspekt ausgeführt sind, selbstverständlich auch in Bezug auf die übrigen Erfindungsaspekte entsprechend gelten, ohne dass dies einer gesonderten Erwähnung bedarf.

[0041] Bei allen nachstehend genannten relativen bzw. prozentualen gewichtsbezogenen Angaben, insbesondere relativen Mengen- oder Gewichtsangaben, ist weiterhin zu beachten, dass diese im Rahmen der vorliegenden Erfindung vom Fachmann derart auszuwählen sind, dass sie sich in der Summe unter Einbeziehung aller Komponenten bzw. Inhaltsstoffe, insbesondere wie nachfolgend definiert, stets zu 100 % bzw. 100 Gew.-% ergänzen bzw. addieren; dies versteht sich aber für den Fachmann von selbst.

[0042] Im Übrigen gilt, dass der Fachmann - anwendungsbezogen oder einzelfallbedingt - von den nachfolgend angeführten Bereichsangaben erforderlichenfalls abweichen kann, ohne dass er den Rahmen der vorliegenden Erfindung verlässt.

[0043] Zudem gilt, dass alle im Folgenden genannten Werte- bzw. Parameterangaben oder dergleichen grundsätzlich mit genormten bzw. standardisierten oder explizit angegebenen Bestimmungsverfahren oder andernfalls mit dem Fachmann auf diesem Gebiet an sich geläufigen Bestimmungs- bzw. Messmethoden ermittelt bzw. bestimmt werden können.

[0044] Darüber hinaus gilt für die Beschreibung der vorliegenden Erfindung, dass die jeweils im Zusammenhang mit den speziellen Ausgestaltungen, Ausführungsformen, Vorteilen, Beispielen oder dergleichen angeführten Merkmale der vorliegenden Erfindung auch in deren Kombination als offenbart gelten. Somit gelten vorliegend auch übergeordnete Kombinationen einzelner oder mehrerer Merkmale, welche für jeweilige Ausgestaltungen, Ausführungsformen, Anwendungsbeispiele oder dergleichen angeführt sind, als offenbart.

[0045] Insbesondere gilt für die die Erfindung charakterisierenden Merkmale, dass sämtliche Kombinationsmöglichkeiten dieser Merkmale als offenbart gelten, wobei Ausführungsformen vergleichbarer bzw. entsprechender Präferenz der verschiedenen Merkmale in ihrer Kombination bevorzugt sind (z.B. Mengen bzw. Mengenbereiche der betreffenden Wirk- und Inhaltsstoffe gleicher Präferenz oder dergleichen).

[0046] Dabei gilt insbesondere auch, dass für die nachfolgend angeführten, die verschiedenen Inhaltsstoffe, insbesondere Wirkstoffe, der erfindungsgemäßen Zusammensetzung oder dergleichen betreffenden Mengenangaben, insbesondere relativen Mengenangaben oder absoluten Mengenangaben gleicher Präferenz bzw. gleicher Bevorzugungsebene, jeweilige und die verschiedenen Inhaltsstoffe, insbesondere Wirkstoffe, betreffende Kombinationen mit entsprechender Präferenz bzw. Bevorzugung mitoffenbart sind. Ebenfalls sind auch sämtliche anderweitige Kombinationen (d.h. Kombinationen auf Basis unterschiedlicher Präferenzen bzw. unterschiedlicher Bevorzugungsebenen) mitoffenbart.

[0047] Dies vorausgeschickt, wird die vorliegende Erfindung nunmehr nachfolgend im Detail erläutert.

[0048] Gegenstand der vorliegenden Erfindung - gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung - ist somit ein Verfahren zur Feuerverzinkung (Schmelztauchverzinkung) eines verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere eines eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere zur Regeneration und/oder Wiederaufbereitung und/oder Wiederverwendung eines verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils,

wobei das verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil, insbesondere das eine Zinkschicht aufweisende Eisen- oder Stahlbauteil, vor der Feuerverzinkung einer Aktivierungsbehandlung, insbesondere einer chemischen und/oder mechanischen Behandlung umfassenden Aktivierungsbehandlung, vorzugsweise einer mindestens eine chemische und gegebenenfalls (zusätzlich) eine mechanische Behandlung umfassenden Aktivierungsbehandlung, unterzogen wird derart und/oder mit der Maßgabe, dass das der Aktivierungsbehandlung unterzogene verzinkte Eisen- oder

Stahlbauteil einen elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht von höchstens $500 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, insbesondere bestimmt gemäß DIN EN ISO 17475 und/oder DIN 50918, insbesondere mittels potentiostatischer Polarisationsmessung, aufweist, und

wobei nachfolgend das der Aktivierungsbehandlung unterzogene verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil, insbesondere das eine Zinkschicht aufweisende Eisen- oder Stahlbauteil, einer Feuerverzinkung unterzogen wird.

[0049] Wie nachfolgend ausgeführt, ist die vorliegende Erfindung mit einer Vielzahl von vollkommen unerwarteten Vorteilen, Besonderheiten und überraschenden technischen Effekten verbunden, deren nachfolgende Schilderung keinerlei Anspruch auf Vollständigkeit erhebt, aber den erfinderischen Charakter der vorliegenden Erfindung veranschaulicht:

Denn, wie die Anmelderin nun vollkommen überraschend herausgefunden hat, kann durch das erfindungsgemäße Verfahren, insbesondere Feuerverzinkungsverfahren, der Korrosionsschutz eines bereits verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils wiederhergestellt bzw. wiederaufbereitet bzw. regeneriert werden, ohne dass die bereits vorhandene Zinkschicht (vollständig) abgetragen werden muss.

[0050] Insbesondere hat die Anmelderin vollkommen überraschend herausgefunden, dass bei erfindungsgemäßem Vorgehen und somit mit nur geringer Vorbereitung eine Regeneration bzw. Wiederaufbereitung bzw. Wiederherstellung der Feuerverzinkungsschicht und somit der Korrosionsschutzeigenschaften, insbesondere eines bereits verzinkten und benutzten Eisen- oder Stahlbauteils, möglich ist.

[0051] Im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung bezieht sich der Ausdruck der konventionellen Zinkschicht bzw. Reinzinkschicht bzw. quasi aluminiumfreien Zinkschicht auf eine Zinkschicht, welche in einem zuvor beschriebenen konventionellen Feuerverzinkungsverfahren erhältlich ist, insbesondere wobei der Zinkgehalt der Schmelze gemäß DIN EN ISO 1461 bei mindestens 98,0 Gew.-% liegt. Insbesondere ist eine konventionelle Zinkschicht (d.h. Reinzinkschicht bzw. quasi aluminiumfreie Zinkschicht) im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung von einer aluminiumhaltigen bzw. aluminiumlegierten Zinkschicht zu unterscheiden. Eine aluminiumhaltige bzw. aluminiumlegierte Zinkschicht weist im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung insbesondere einen Aluminiumgehalt von wenigstens 2 Gew.-% auf. In Bezug auf die entsprechenden Zinkbäder (d.h. Reinzinkbäder einerseits und aluminiumhaltige bzw. aluminiumlegierte Zinkbäder andererseits) gelten diese Ausführungen und Definitionen entsprechend.

[0052] Vollkommen überraschend hat die Anmelderin herausgefunden, dass durch die Messung des elektrischen Widerstands der Oberfläche der Zinkschicht die Güte der Zinkschicht feststellbar ist. Anhand der Güte (Materialgüte) kann dann der Aufwand der Aktivierungsbehandlung gezielt ermittelt und eingestellt werden.

[0053] Insbesondere ist es vorteilhaft, wenn die vorhandene Zinkschicht einer weiteren Verzinkung zugänglich gemacht wird. Eine optimale Verzinkung, insbesondere Feuerverzinkung, und somit auch die Bereitstellung zuverlässiger und beständiger Korrosionsschutzeigenschaften ist insbesondere möglich, wenn die Feuerverzinkung direkt bzw. unmittelbar auf der vorhandenen Zinkschicht oder dem Grundmaterial (d.h. dem Material des Bauteils) erfolgt. Dazu sollte die vorhandene Zinkschicht insbesondere frei von Verunreinigungen, Korrosionsprodukten des Eisens (d.h. Eisenoxiden) und Oxidationsprodukten der Zinkschicht (d.h. Zinkoxiden, Zinkhydroxid, Zinkoxidhydroxid, Zinkhydrogencarbonat, Zinkcarbonat etc.) sein. Verunreinigungen, Korrosionsprodukte des Eisens und Oxidationsprodukten der Zinkschicht können im Rahmen der erfindungsgemäß vorgesehenen Aktivierungsbehandlung entfernt werden, wobei die notwendige Art, Dauer und Intensität der Aktivierungsbehandlung abhängig von der Güte und somit dem Zustand der Zinkschicht ist. Insbesondere ist beispielsweise bei einer niedrigeren Güte eine stärkere und/oder längere Aktivierungsbehandlung notwendig als bei einer höheren Güte.

[0054] Im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung ist der Begriff der Güte insbesondere in Bezug auf die Eignung zur erneuten Feuerverzinkung zu verstehen. Dabei ist beispielsweise bei einem hohen Widerstand der bestehenden Zinkschicht eine stärkere und/oder längere Aktivierungsbehandlung notwendig als bei einem niedrigen Widerstand der Zinkschicht, was somit auf eine niedrigere Güte im Sinne der vorliegenden Erfindung hinweist.

[0055] Die Anmelderin hat herausgefunden, dass bei der Verzinkung, insbesondere der Feuerverzinkung, von verzinkten Bauteilen, die einen elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht von höchstens $500 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$ haben, gleichmäßige und vollständige Zinkschichten gebildet werden, welche hohe Korrosionsschutzeigenschaften bereitstellt und optisch hochwertig sind.

[0056] Die zielgerichtete Optimierung bzw. Anpassung der Aktivierungsbehandlung an die Güte der Zinkschicht derart, dass ein zuverlässiges und hochwertiges Feuerverzinkungsergebnis erhalten wird, ist besonders wirtschaftlich, ökologisch, ökonomisch und nachhaltig. Insbesondere wird die Abtragung der vorhandenen Zinkschicht verringert bzw. minimiert, der Aufwand insgesamt wird verringert und das Bauteil selbst wird geschont, insbesondere kann die Beeinträchtigung oder Beschädigung der Bauteiloberfläche durch die Aktivierungsbehandlung im Wesentlichen verhindert werden, so dass insbesondere die mechanischen Eigenschaften des Bauteils nicht verschlechtert werden. Darüber hinaus wird auch die notwendige Menge an Neumaterial zur Verzinkung (d.h. Zinkschmelze) reduziert und die aufkommenden Abfallmengen im Vergleich zum Stand der Technik signifikant verringert.

[0057] Die Anpassung der durchzuführenden Aktivierungsbehandlung vor der Verzinkung in Abhängigkeit von der Güte bzw. dem elektrischen Widerstand der Zinkschicht geht also mit einer Vielzahl von Vorteilen einher, insbesondere hat diese Vorgehensweise wirtschaftliche und technische Vorteile gegenüber einer gleichbleibenden Aktivierungsbehandlung, welche nicht an die Güte der Zinkschicht angepasst ist:

Durch das erfindungsgemäße Vorgehen ist die Regeneration und/oder Wiederaufbereitung und/oder Wiederverwendung eines verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils wirtschaftlicher, insbesondere da die Aktivierungsbehandlung genau angepasst, insbesondere verkürzt werden kann, so dass die Produktivität insgesamt erhöht wird.

[0058] Hinzu kommt, dass durch die Einstellung, insbesondere Verkürzung, der Aktivierungsbehandlung, so wenig Zink wie möglich abgetragen wird. Somit verbleibt ein höherer Anteil an Zink bzw. Zinkschicht auf dem Bauteil. Das verbleibende Zink bzw. die Zinkschicht stellt wiederum Korrosionsschutz bereit und ist nach der Verzinkung Teil der neuen Gesamtzinkschicht, welche insgesamt einen besonders hohen und mechanisch sowie optisch hochwertigen Korrosionsschutz bereitstellt.

[0059] Auch bei dem erfindungsgemäßen Vorgehen werden geringe Mengen Zink abgetragen, wobei das abgetragene Zink anschließend wiedergewonnen bzw. recycelt werden kann (vgl. beispielsweise sogenannter ReZINQ®-Prozess); diese Rückgewinnung ist aber nur bei begrenztem Eisenanteil im abgetragenen Zink möglich. Durch das erfindungsgemäße Vorgehen wird im Wesentlichen kein Eisen oder nur sehr wenig Eisen vom Bauteil selbst mit abgetragen, so dass auch eine anschließende Wiedergewinnung bzw. Recyclierung des notwendigerweise abgetragenen Zinks möglich ist. Im Gegensatz zum erfindungsgemäßen Vorgehen wird im Stand der Technik - wie zuvor ausgeführt - die gesamte Zinkschicht abgetragen, wobei dabei unvermeidbar auch größere Mengen Eisen vom Bauteil selbst entfernt werden, wodurch eine Weiterverwertung des Zinks häufig nicht möglich ist.

[0060] Somit ist das erfindungsgemäße Vorgehen sowohl vorteilhaft gegenüber einer vollständigen Entzinkung und Neuverzinkung als auch gegenüber einer gleichbleibenden bzw. nicht individuell an jedes Bauteil einstellbaren Aktivierungsbehandlung vor einer erneuten Verzinkung.

[0061] Darüber hinaus gehen auch Vorteile mit der aus dem erfindungsgemäßen Verfahren erhältlichen Zinkschicht, insbesondere Feuerverzinkungsschicht, einher:

Insbesondere wird durch das erfindungsgemäße Verfahren eine zumindest teilweise mehrphasige und/oder zumindest teilweise geschichtete (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht bereitgestellt, welche aus Zn/Al/Fe-Phasen besteht. Diese Zn/Al/Fe-Phasen können insbesondere Zn-, ZnAl-, ZnFe- und/oder AlFe-Phasen umfassen; dies ist insbesondere der Fall, wenn die Feuerverzinkung unter Verwendung einer aluminiumlegierten bzw. aluminiumhaltigen Zinkschmelze durchgeführt wird.

[0062] Sofern von einer nicht-aluminiumlegierten bzw. nicht-aluminiumhaltigen Zinkschmelze bei der Feuerverzinkung ausgegangen wird, wird eine mehrphasige und/oder zumindest teilweise geschichtete (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht bereitgestellt, welche aus Zn- und ZnFe-Phasen besteht.

[0063] Die durch das erfindungsgemäße Verfahren erhältliche Feuerverzinkungsschicht weist hohe Korrosionsschutzeigenschaften und eine hohe Duktilität auf. Hinzu kommt, dass diese Feuerverzinkungsschicht sehr hell und somit optisch besonders hochwertig ist.

[0064] Überraschenderweise wird in dem erfindungsgemäßen Verfahren gemäß einer besonderen Ausführungsform unter Verwendung einer aluminiumlegierten bzw. aluminiumhaltigen Zinkschmelze bei der Feuerverzinkung eine Zn/Al/Fe-Phasen enthaltende Feuerverzinkungsschicht gebildet, welche insbesondere nicht durch bekannte Verfahren erhältlich ist. In der Feuerverzinkung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird nämlich nicht auf die bereits vorhandene Feuerverzinkungsschicht, welche typischerweise aus einer auf dem Grundmaterial befindlichen Feuerverzinkungsschicht mit Zn/Fe-Phase und einer darüber angeordneten Reinzinkschicht besteht, eine aluminiumhaltige Zinkschicht gebildet, sondern es wird eine zumindest teilweise mehrphasige und/oder zumindest teilweise geschichtete (neue) Feuerverzinkungsschicht gebildet, welche Zn/Al/Fe-Phasen enthält. Durch die Feuerverzinkung wird somit nicht nur eine weitere Schicht aufgetragen, sondern eine komplett neue Schicht gebildet, insbesondere da das Aluminium aus dem vorzugsweise aluminiumlegierten bzw. aluminiumhaltigen Zinkbad zumindest teilweise in die bereits vorhandene Feuerverzinkungsschicht hineindiffundiert. Es können somit andere und in bekannten einstufigen Verfahren nicht erhältliche Feuerverzinkungsschichten erhalten werden, welche durch einstufige Verfahren nicht erreichbare Eigenschaften aufweisen.

[0065] Insbesondere ist hierbei die durch das erfindungsgemäße Verfahren, insbesondere Feuerverzinkungsverfahren, erhältliche Feuerverzinkungsschicht duktiler und somit weniger spröde, als eine Reinzinkschicht und kann daher umgeformt bzw. kaltgeformt, beispielsweise um 90° gebogen werden, ohne dass die Korrosionsschutzeigenschaften verloren gehen oder signifikant beeinträchtigt werden. Gleichzeitig kann die durch das erfindungsgemäße Verfahren, insbesondere Feuerverzinkungsverfahren, erhältliche Feuerverzinkungsschicht mit einer höheren Schichtdicke bereitgestellt werden als eine konventionelle aluminiumhaltige bzw. aluminiumlegierte Zinkschicht (d. h. eine aluminiumhaltige bzw. aluminiumlegierte Zinkschicht, welche direkt bzw. unmittelbar auf ein Bauteil ohne vorhandene Zinkschicht aufgebracht wird), insbesondere da die durch das erfindungsgemäße Verfahren erhältliche Feuerverzinkungsschicht nicht durch eine maximal erreichbare Schichtdicke begrenzt (wie im Fall einer im Stand der Technik üblichen aluminiumhaltigen

bzw. aluminiumlegierten Feuerverzinkungsschicht durch die Bildung einer Fe/Al-Sperrschicht).

[0066] Insbesondere ist die Schichtdicke der durch das erfindungsgemäße Verfahren erhältlichen Feuerverzinkungsschicht im Wesentlichen nicht begrenzt, wie im Fall einer im Stand der Technik üblichen und durch eine einstufige Feuerverzinkung erhältlichen aluminiumhaltigen bzw. aluminiumlegierten Feuerverzinkungsschicht. Es können somit insbesondere auch Feuerverzinkungsschichten mit hoher Aluminiumanreicherung mit einer Dicke von deutlich über 25 μm bereitgestellt werden. Gleichzeitig weist die durch das erfindungsgemäße Verfahren erhältliche Feuerverzinkungsschicht auch die Vorteile einer aluminiumhaltigen bzw. aluminiumlegierten Feuerverzinkungsschicht auf, wie beispielsweise Glanz, Duktilität und hohe Korrosionsschutzeigenschaften.

[0067] Insgesamt ist das erfindungsgemäße Verfahren, insbesondere Feuerverzinkungsverfahren, somit wirtschaftlicher, als ein im dem Stand der Technik übliches Aufbereitungs- oder Recycling-Verfahren (d. h. ein Verfahren bei welchem zunächst die noch vorhandene Zinkschicht vollständig entfernt wird und anschließend eine neue Zinkschicht aufgebracht wird) und auch wirtschaftlicher als ein Verfahren, bei welchem eine Aktivierungsbehandlung oder Vorbehandlung nicht an die Güte der vorhandenen Zinkschicht angepasst wird.

[0068] Die aus dem erfindungsgemäßen Verfahren, insbesondere Feuerverzinkungsverfahren, resultierende Feuerverzinkungsschicht ist duktiler und weniger spröde als eine kommerzielle Reinzinkschicht und außerdem ist die Schichtdicke trotz der Verwendung eines aluminiumhaltigen bzw. aluminiumlegierten Zinkbads einstellbar. Insbesondere wird in dem erfindungsgemäßen Verfahren eine in einem kommerziellen einstufigen Verfahren nicht bereitstellbare Feuerverzinkungsschicht gebildet, welche eine hohe Duktilität und eine einstellbare bzw. kontrollierbare Schichtdicke und Schichtstruktur sowie eine hohe Korrosionsschutzleistung kombiniert.

[0069] Die vorliegenden Erfindung stellt somit - wie zuvor geschildert - ein Verfahren zur Feuerverzinkung (Schmelztauchverzinkung) eines verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere eines eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere zur Regeneration und/oder Wiederaufbereitung und/oder Wiederverwendung eines verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, zur Verfügung,

wobei das verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil, insbesondere das eine Zinkschicht aufweisende Eisen- oder Stahlbauteil, vor der Feuerverzinkung einer Aktivierungsbehandlung, insbesondere einer chemischen und/oder mechanischen Behandlung umfassenden Aktivierungsbehandlung, vorzugsweise einer mindestens eine chemische und gegebenenfalls (zusätzlich) eine mechanische Behandlung umfassenden Aktivierungsbehandlung, unterzogen wird derart und/oder mit der Maßgabe, dass das der Aktivierungsbehandlung unterzogene verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil einen elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht von höchstens $500 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, insbesondere bestimmt gemäß DIN EN ISO 17475 und/oder DIN 50918, insbesondere mittels potentiostatischer Polarisationsmessung, aufweist, und wobei nachfolgend das der Aktivierungsbehandlung unterzogene verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil, insbesondere das eine Zinkschicht aufweisende Eisen- oder Stahlbauteil, einer Feuerverzinkung unterzogen wird.

[0070] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung ist es bevorzugt, wenn die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze, bezogen auf die Zinkschmelze, höchstens 98 Gew.-%, insbesondere höchstens 97 Gew.-%, bevorzugt höchstens 96 Gew.-%, Zink enthält.

[0071] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann es insbesondere vorgesehen sein, dass die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze, bezogen auf die Zinkschmelze, Zink in Mengen im Bereich von 55 Gew.-% bis 98 Gew.-%, insbesondere im Bereich von 65 Gew.-% bis 97 Gew.-%, bevorzugt im Bereich von 75 Gew.-% bis 96 Gew.-%, enthält.

[0072] Mit anderen Worten wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung insbesondere keine sogenannte Reinzinkschmelze verwendet bzw. es erfolgt keine Verzinkung gemäß DIN EN ISO 1461. Durch die Verwendung einer Zinkschmelze mit höchstens 98 Gew.-% Zink sind somit mindestens 2 Gew.-% weitere Metalle in der Zinkschmelze enthalten. Durch die Auswahl der weiteren Metalle und der entsprechenden Mengen können die End Eigenschaften, insbesondere die optischen und mechanischen Eigenschaften sowie die Korrosionsschutzeigenschaften, der aus der Feuerverzinkung erhältlichen Zinkschicht eingestellt und angepasst werden.

[0073] Gemäß einer besonderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze eine aluminiumlegierte und/oder aluminiumhaltige Zinkschmelze ("Zn/Al-Schmelze") sein.

[0074] In diesem Zusammenhang kann die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze, insbesondere die aluminiumlegierte und/oder aluminiumhaltige Zinkschmelze ("Zn/Al-Schmelze"), bezogen auf die Zinkschmelze, mindestens 2 Gew.-%, insbesondere mindestens 3 Gew.-%, bevorzugt mindestens 4 Gew.-%, Aluminium enthalten.

[0075] Insbesondere kann die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze, insbesondere die aluminiumlegierte und/oder aluminiumhaltige Zinkschmelze ("Zn/Al-Schmelze"), bezogen auf die Zinkschmelze, höchstens 45 Gew.-%, insbesondere höchstens 25 Gew.-%, bevorzugt höchstens 8 Gew.-%, besonders bevorzugt höchstens 6 Gew.-%, Aluminium enthalten.

[0076] Gemäß dieser Ausführungsform kann die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze, insbesondere die

aluminiumlegierte und/oder aluminiumhaltige Zinkschmelze ("Zn/Al-Schmelze"), bezogen auf die Zinkschmelze, Aluminium in Mengen im Bereich von 2 Gew.-% bis 45 Gew.-%, insbesondere im Bereich von 2 Gew.-% bis 25 Gew.-%, bevorzugt im Bereich von 3 Gew.-% bis 8 Gew.-%, besonders bevorzugt im Bereich von 4 Gew.-% bis 6 Gew.-%, enthalten.

[0077] Eine sogenannte aluminiumlegierte und/oder aluminiumhaltige Zinkschmelze ("Zn/Al-Schmelze") führt insbesondere zu besonders glänzenden sowie duktilen Feuerverzinkungsschichten mit hohen Korrosionsschutzeigenschaften. Insbesondere können bei der Verwendung einer Zinkschmelze mit den zuvor aufgeführten Aluminiummengen verhältnismäßig dünne Zinkschichten mit hohen Korrosionsschutzeigenschaften bereitgestellt werden.

[0078] Gemäß einer weiteren besonderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze, bezogen auf die Zinkschmelze, höchstens 98 Gew.-% Zink und mindestens 2 Gew.-% Aluminium enthalten.

[0079] Gemäß der vorliegenden Erfindung kann es insbesondere vorgesehen sein, dass die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze, bezogen auf die Zinkschmelze, höchstens 98 Gew.-%, insbesondere höchstens 97 Gew.-%, bevorzugt höchstens 96 Gew.-%, Zink enthält und dass die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze, bezogen auf die Zinkschmelze, mindestens 2 Gew.-%, insbesondere mindestens 3 Gew.-%, bevorzugt mindestens 4 Gew.-%, Aluminium enthält.

[0080] Bei einer Zinkschmelze mit den zuvor beschriebenen Inhaltsstoffen und Mengen, insbesondere höchstens 98 Gew.-% Zink und mindestens 2 Gew.-% Aluminium, handelt es sich insbesondere um eine sogenannte aluminiumlegierte bzw. aluminiumhaltige Zinkschmelze, aus welcher besonders dünne und leistungsfähige Zinkschichten mit hohem Glanz hervorgehen.

[0081] Gemäß einer weiteren besonderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze, bezogen auf die Zinkschmelze, Zink in Mengen im Bereich von 55 Gew.-% bis 98 Gew.-% und Aluminium in Mengen im Bereich von 2 Gew.-% bis 45 Gew.-% enthalten.

[0082] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann es insbesondere vorgesehen sein, dass die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze, bezogen auf die Zinkschmelze, Zink in Mengen im Bereich von 55 Gew.-% bis 98 Gew.-%, insbesondere im Bereich von 65 Gew.-% bis 97 Gew.-%, bevorzugt im Bereich von 75 Gew.-% bis 96 Gew.-%, enthält und dass die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze, bezogen auf die Zinkschmelze, Aluminium in Mengen im Bereich von 2 Gew.-% bis 45 Gew.-%, insbesondere im Bereich von 2 Gew.-% bis 25 Gew.-%, bevorzugt im Bereich von 3 Gew.-% bis 8 Gew.-%, besonders bevorzugt im Bereich von 4 Gew.-% bis 6 Gew.-%, enthält.

[0083] Gemäß einer besonderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung betrifft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur Feuerverzinkung (Schmelztauchverzinkung) eines verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere eines eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere zur Regeneration und/oder Wiederaufbereitung und/oder Wiederverwendung eines verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere ein wie zuvor beschriebenes Verfahren,

wobei das verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil, insbesondere das eine Zinkschicht aufweisende Eisen- oder Stahlbauteil, vor der Feuerverzinkung einer Aktivierungsbehandlung, insbesondere einer chemischen und/oder mechanischen Behandlung umfassenden Aktivierungsbehandlung, vorzugsweise einer mindestens eine chemische und gegebenenfalls (zusätzlich) eine mechanische Behandlung umfassenden Aktivierungsbehandlung, unterzogen wird, und

wobei nachfolgend das der Aktivierungsbehandlung unterzogene verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil, insbesondere das eine Zinkschicht aufweisende Eisen- oder Stahlbauteil, einer Feuerverzinkung unterzogen wird, wobei die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze, bezogen auf die Zinkschmelze, höchstens 98 Gew.-% Zink und gegebenenfalls mindestens 2 Gew.-% Aluminium enthält.

[0084] Dabei kann es insbesondere vorteilhaft sein, wenn die Aktivierungsbehandlung durchgeführt wird derart und/oder mit der Maßgabe, dass das der Aktivierungsbehandlung unterzogene verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil einen elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht von höchstens $500 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, insbesondere bestimmt gemäß DIN EN ISO 17475 und/oder DIN 50918, insbesondere mittels potentiostatischer Polarisationsmessung, aufweist.

[0085] Bei einem elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht von höchstens $500 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$ ist die Oberfläche besonders gut zugänglich für die Feuerverzinkung, sodass eine im Wesentlichen homogene und vollständige Zinkschicht gebildet wird. Insbesondere sind Oxidationsprodukte des Zinks (d. h. sauerstoffhaltige Zinkverbindungen, insbesondere ausgewählt aus der Gruppe von Zinkoxid, Zinkhydroxid, Zinkoxidhydroxid, Zinkhydrogencarbonat, Zinkcarbonat sowie deren Kombinationen) in nur geringen Mengen vorhanden. Diese Oxidationsprodukte können die Feuerverzinkung stören und somit zu einer unvollständigen oder fehlerhaften Zinkschicht führen, was zu einem unzuverlässigeren Korrosionsschutz führt. Die Anmelderin hat aber überraschend herausgefunden, dass bei einem elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht von höchstens $500 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$ eine im Wesentlichen fehlerfreie und homogene sowie vollständige Zinkschicht in der Feuerverzinkung gebildet wird.

[0086] Der elektrische Widerstand an der Oberfläche kann beispielsweise unter Verwendung eines Gel-Elektrolyten ermittelt werden. Da der Gel-Elektrolyt weniger reaktiv als ein flüssiger Elektrolyt ist, liefern Messungen des elektrischen Widerstands an der Oberfläche der Zinkschicht unter Verwendung eines Gel-Elektrolyten - wie überraschend von der Anmelderin herausgefunden - zuverlässigere Ergebnisse.

[0087] Gemäß einer weiteren besonderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung betrifft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur Feuerverzinkung (Schmelztauchverzinkung) eines verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere eines eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere zur Regeneration und/oder Wiederaufbereitung und/oder Wiederverwendung eines verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere ein wie zuvor beschriebenes Verfahren,

wobei das verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil einer Feuerverzinkung unterzogen wird, wobei die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze, bezogen auf die Zinkschmelze, höchstens 98 Gew.-% Zink und gegebenenfalls mindestens 2 Gew.-% Aluminium enthält.

[0088] Dabei kann es vorgesehen sein, dass das verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil, insbesondere das eine Zinkschicht aufweisende Eisen- oder Stahlbauteil, vor der Feuerverzinkung einer Aktivierungsbehandlung, insbesondere einer chemischen und/oder mechanischen Behandlung umfassenden Aktivierungsbehandlung, vorzugsweise einer mindestens eine chemische und gegebenenfalls (zusätzlich) eine mechanische Behandlung umfassenden Aktivierungsbehandlung, unterzogen wird, insbesondere derart und/oder mit der Maßgabe, dass das der Aktivierungsbehandlung unterzogene verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil einen elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht von höchstens 500 $k\Omega \cdot cm^2$, insbesondere bestimmt gemäß DIN EN ISO 17475 und/oder DIN 50918, insbesondere mittels potentiostatischer Polarisationsmessung, aufweist.

[0089] Gemäß einer wiederum weiteren besonderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung betrifft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur Feuerverzinkung (Schmelztauchverzinkung) eines verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere eines eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere zur Regeneration und/oder Wiederaufbereitung und/oder Wiederverwendung eines verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere ein wie zuvor beschriebenes Verfahren,

wobei das verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil, insbesondere das eine Zinkschicht aufweisende Eisen- oder Stahlbauteil, vor der Feuerverzinkung einer Aktivierungsbehandlung, insbesondere einer chemischen und/oder mechanischen Behandlung umfassenden Aktivierungsbehandlung, vorzugsweise einer mindestens eine chemische und gegebenenfalls (zusätzlich) eine mechanische Behandlung umfassenden Aktivierungsbehandlung, unterzogen wird derart und/oder mit der Maßgabe, dass das der Aktivierungsbehandlung unterzogene verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil einen elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht von höchstens 500 $k\Omega \cdot cm^2$, insbesondere bestimmt gemäß DIN EN ISO 17475 und/oder DIN 50918, insbesondere mittels potentiostatischer Polarisationsmessung, aufweist, und

wobei nachfolgend das der Aktivierungsbehandlung unterzogene verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil einer Feuerverzinkung unterzogen wird, wobei die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze, bezogen auf die Zinkschmelze, höchstens 98 Gew.-% Zink und gegebenenfalls mindestens 2 Gew.-% Aluminium enthält.

[0090] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann es vorgesehen sein, dass die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze, bezogen auf die Zinkschmelze, höchstens 98 Gew.-%, insbesondere höchstens 97 Gew.-%, bevorzugt höchstens 96 Gew.-%, Zink enthält.

[0091] Auch kann es im Rahmen der vorliegenden Erfindung vorgesehen sein, dass die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze, bezogen auf die Zinkschmelze, Zink in Mengen im Bereich von 55 Gew.-% bis 98 Gew.-%, insbesondere im Bereich von 65 Gew.-% bis 97 Gew.-%, bevorzugt im Bereich von 75 Gew.-% bis 96 Gew.-%, enthält.

[0092] Wie zuvor ausgeführt, wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung insbesondere keine sogenannte Reinzinkschmelze verwendet bzw. es erfolgt keine Verzinkung gemäß DIN EN ISO 1461. Durch die Verwendung von höchstens 98 Gew.-% Zink sind somit mindestens 2 Gew.-% weitere Metalle in der Zinkschmelze enthalten. Durch die Auswahl der weiteren Metalle und der entsprechenden Mengen können die Endigenschaften, insbesondere die optischen und mechanischen Eigenschaften sowie die Korrosionsschutzeigenschaften, der aus der Feuerverzinkung erhältlichen Zinkschicht eingestellt und angepasst werden.

[0093] Gemäß einer besonderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze eine aluminiumlegierte und/oder aluminiumhaltige Zinkschmelze ("Zn/Al-Schmelze") sein.

[0094] Dabei kann es insbesondere vorgesehen sein, dass die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze, insbesondere die aluminiumlegierte und/oder aluminiumhaltige Zinkschmelze ("Zn/Al-Schmelze"), bezogen auf die Zinkschmelze, mindestens 2 Gew.-%, insbesondere mindestens 3 Gew.-%, bevorzugt mindestens 4 Gew.-%, Aluminium enthält.

[0095] Auch kann es in diesem Zusammenhang vorgesehen sein, dass die in der Feuerverzinkung eingesetzte

Zinkschmelze, insbesondere die aluminiumlegierte und/oder aluminiumhaltige Zinkschmelze ("Zn/Al-Schmelze"), bezogen auf die Zinkschmelze, höchstens 45 Gew.-%, insbesondere höchstens 25 Gew.-%, bevorzugt höchstens 8 Gew.-%, besonders bevorzugt höchstens 6 Gew.-%, Aluminium enthält.

[0096] Darüber hinaus kann es in diesem Zusammenhang auch vorgesehen sein, dass die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze, insbesondere die aluminiumlegierte und/oder aluminiumhaltige Zinkschmelze ("Zn/Al-Schmelze"), bezogen auf die Zinkschmelze, Aluminium in Mengen im Bereich von 2 Gew.-% bis 45 Gew.-%, insbesondere im Bereich von 2 Gew.-% bis 25 Gew.-%, bevorzugt im Bereich von 3 Gew.-% bis 8 Gew.-%, besonders bevorzugt im Bereich von 4 Gew.-% bis 6 Gew.-%, enthält.

[0097] Wie zuvor ausgeführt, führt eine sogenannte aluminiumlegierte und/oder aluminiumhaltige Zinkschmelze ("Zn/Al-Schmelze") insbesondere zu besonders glänzenden sowie duktilen Feuerverzinkungsschichten mit hohen Korrosionsschutzeigenschaften. Insbesondere können bei der Verwendung einer Zinkschmelze mit den zuvor aufgeführten Aluminiummengen verhältnismäßig dünne Zinkschichten mit hohen Korrosionsschutzeigenschaften bereitgestellt werden.

[0098] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann es bevorzugt sein, wenn die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze, bezogen auf die Zinkschmelze, höchstens 98 Gew.-% Zink und mindestens 2 Gew.-% Aluminium enthält.

[0099] Wie zuvor ausgeführt, handelt es sich bei einer Zinkschmelze mit den zuvor beschriebenen Inhaltsstoffen und Mengen, insbesondere höchstens 98 Gew.-% Zink und mindestens 2 Gew.-% Aluminium, insbesondere um eine sogenannte aluminiumlegierte bzw. aluminiumhaltige Zinkschmelze, aus welcher besonders dünne und leistungsfähige Zinkschichten mit hohem Glanz hervorgehen.

[0100] Insbesondere kann die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze, bezogen auf die Zinkschmelze, höchstens 98 Gew.-%, insbesondere höchstens 97 Gew.-%, bevorzugt höchstens 96 Gew.-%, Zink enthalten und die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze kann, bezogen auf die Zinkschmelze, mindestens 2 Gew.-%, insbesondere mindestens 3 Gew.-%, bevorzugt mindestens 4 Gew.-%, Aluminium enthalten.

[0101] Gemäß einer besonderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze, bezogen auf die Zinkschmelze, Zink in Mengen im Bereich von 55 Gew.-% bis 98 Gew.-% und Aluminium in Mengen im Bereich von 2 Gew.-% bis 45 Gew.-% enthalten.

[0102] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann es bevorzugt sein, dass die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze, bezogen auf die Zinkschmelze, Zink in Mengen im Bereich von 55 Gew.-% bis 98 Gew.-%, insbesondere im Bereich von 65 Gew.-% bis 97 Gew.-%, bevorzugt im Bereich von 75 Gew.-% bis 96 Gew.-%, enthält und dass die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze, bezogen auf die Zinkschmelze, Aluminium in Mengen im Bereich von 2 Gew.-% bis 45 Gew.-%, insbesondere im Bereich von 2 Gew.-% bis 25 Gew.-%, bevorzugt im Bereich von 3 Gew.-% bis 8 Gew.-%, besonders bevorzugt im Bereich von 4 Gew.-% bis 6 Gew.-%, enthält.

[0103] Gemäß einer weiteren besonderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann die in der Feuerverzinkung eingesetzte aluminiumlegierte und/oder aluminiumhaltige Zinkschmelze ("Zn/Al-Schmelze") die folgende Zusammensetzung aufweisen, wobei alle nachfolgend genannten Mengenangaben auf die aluminiumlegierte und/oder aluminiumhaltige Zinkschmelze ("Zn/Al-Schmelze") bezogen sind und derart auszuwählen sind, dass insgesamt 100 Gew.-% resultieren:

(i) Zink (Zn), insbesondere in Mengen im Bereich von 55 Gew.-% bis 98 Gew.-%, insbesondere im Bereich von 65 Gew.-% bis 97 Gew.-%, bevorzugt im Bereich von 75 Gew.-% bis 96 Gew.-%,

(ii) Aluminium (Al), insbesondere in Mengen im Bereich von 2 Gew.-% bis 45 Gew.-%, insbesondere im Bereich von 3 Gew.-% bis 8 Gew.-%, bevorzugt im Bereich von 4 Gew.-% bis 6 Gew.-%,

(iii) gegebenenfalls Magnesium (Mg), insbesondere in Mengen im Bereich von 0,1 Gew.-% bis 10 Gew.-%, insbesondere im Bereich von 0,1 Gew.-% bis 3 Gew.-%, bevorzugt im Bereich von 0,1 Gew.-% bis 2 Gew.-%;

(iii) gegebenenfalls mindestens ein weiteres Metall, insbesondere in (Gesamt-) Mengen von bis zu 10 Gew.-% und/oder insbesondere ausgewählt aus der Gruppe von Bismut (Bi), Blei (Pb), Zinn (Sn), Nickel (Ni), Silizium (Si) sowie deren Kombinationen.

[0104] Gemäß der vorliegenden Erfindung kann es vorgesehen sein, dass die in der Feuerverzinkung eingesetzte aluminiumlegierte und/oder aluminiumhaltige Zinkschmelze ("Zn/Al-Schmelze") eine Temperatur im Bereich von 330 °C bis 750 °C, insbesondere im Bereich von 340 °C bis 600 °C, bevorzugt im Bereich von 350 °C bis 465 °C, besonders bevorzugt im Bereich von 415 °C bis 455 °C, aufweist.

[0105] Es hat sich im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens als besonders vorteilhaft erwiesen, wenn das verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil in die in der Feuerverzinkung eingesetzte aluminiumlegierte und/oder aluminiumhaltige Zinkschmelze ("Zn/Al-Schmelze") getaucht, insbesondere hierin getaucht und bewegt, wird, insbesondere für eine

Zeitdauer, welche ausreichend ist, um eine wirksame Feuerverzinkung (Schmelztauchverzinkung), zu gewährleisten, insbesondere für eine Zeitdauer im Bereich von 0,0001 bis 60 Minuten, insbesondere im Bereich von 0,001 bis 45 Minuten, bevorzugt im Bereich von 0,5 bis 30 Minuten, besonders bevorzugt im Bereich von 4 bis 8 Minuten.

[0106] Außerdem hat es sich im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens als vorteilhaft erwiesen, wenn das verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil in die in der Feuerverzinkung eingesetzte aluminiumlegierte und/oder aluminiumhaltige Zinkschmelze ("Zn/Al-Schmelze") getaucht, insbesondere hierin getaucht und bewegt, wird, insbesondere für eine Zeitdauer, welche ausreichend ist, um eine wirksame Feuerverzinkung (Schmelztauchverzinkung), insbesondere für eine Zeitdauer von mindestens 0,0001 Minuten, insbesondere mindestens 0,001 Minuten, bevorzugt mindestens 0,5 Minuten, besonders bevorzugt mindestens 4 Minuten.

[0107] Darüber hinaus hat es sich im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens als vorteilhaft erwiesen, wenn das verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil in die in der Feuerverzinkung eingesetzte aluminiumlegierte und/oder aluminiumhaltige Zinkschmelze ("Zn/Al-Schmelze") getaucht, insbesondere hierin getaucht und bewegt, wird, insbesondere für eine Zeitdauer, welche ausreichend ist, um eine wirksame Feuerverzinkung (Schmelztauchverzinkung), insbesondere für eine Zeitdauer von höchstens 60 Minuten, insbesondere höchstens 45 Minuten, bevorzugt höchstens 30 Minuten, besonders bevorzugt höchstens 8 Minuten.

[0108] Bei einer Feuerverzinkung mit der zuvor definierten Zeitdauer wird insbesondere eine mehrphasige bzw. mehrschichtige Gesamtfeuerverzinkungsschicht gebildet.

[0109] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann es insbesondere vorgesehen sein, dass nach der Feuerverzinkung eine (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht vorliegt.

[0110] Mit anderen Worten ist es insbesondere vorgesehen, dass eine zusammenhängende Feuerverzinkungsschicht nach Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens vorliegt und nicht zwei separate aufeinander angeordnete Schichten. Insbesondere wird eine im Wesentlichen gleichmäßige Zinkschicht mit insbesondere gleichmäßiger Oberfläche und Schichtdicke gebildet.

[0111] Insbesondere kann es in diesem Zusammenhang vorgesehen sein, dass bei der Feuerverzinkung eine mehrphasige und/oder mehrschichtige, insbesondere mehrphasige, (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht auf dem Grundmaterial des Eisen- oder Stahlbauteils gebildet wird.

[0112] Darüber hinaus kann es in diesem Zusammenhang auch vorgesehen sein, dass bei der Feuerverzinkung eine zumindest teilweise mehrphasige und/oder zumindest teilweise geschichtete Feuerverzinkungsschicht mit Zn/Al/Fe-Phasen gebildet wird.

[0113] Diese Zn/Al/Fe-Phasen können insbesondere Zn-, ZnAl-, ZnFe- und/oder AlFe-Phasen umfassen; dies ist insbesondere der Fall, wenn die Feuerverzinkung unter Verwendung einer aluminiumlegierten bzw. aluminiumhaltigen Zinkschmelze durchgeführt wird.

[0114] Sofern von einer nicht-aluminiumlegierten bzw. nicht-aluminiumhaltigen Zinkschmelze bei der Feuerverzinkung ausgegangen wird, wird eine mehrphasige und/oder zumindest teilweise geschichtete (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht bereitgestellt, welche aus Zn- und ZnFe-Phasen besteht.

[0115] Die durch das erfindungsgemäße Verfahren erhältliche Feuerverzinkungsschicht weist hohe Korrosionsschutzeigenschaften und eine hohe Duktilität auf. Hinzu kommt, dass diese Feuerverzinkungsschicht sehr hell und somit optisch besonders hochwertig ist.

[0116] Ohne sich auf diese Theorie beschränken zu wollen wird die noch auf dem Bauteil vorhandene Zinkschicht mit der aluminiumhaltigen bzw. aluminiumlegierten Zinkschmelze der Feuerverzinkung, insbesondere dem darin enthaltenen Aluminium, durchsetzt. Insbesondere diffundiert die aluminiumhaltigen bzw. aluminiumlegierten Zinkschmelze, insbesondere das darin enthaltene Aluminium, in die bereits vorhandene Feuerverzinkungsschicht hinein, sodass eine zumindest teilweise mehrphasige und/oder zumindest teilweise geschichtete Feuerverzinkungsschicht mit Zn/Al/Fe-Phasen gebildet wird.

[0117] Weiterhin kann es auch vorgesehen sein, dass die Feuerverzinkung derart und/oder mit der Maßgabe durchgeführt wird, dass die aluminiumhaltige und/oder aluminiumlegierte Zinkschmelze ("Zn/Al-Schmelze") zumindest teilweise in die bereits vorhandene Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, des Bauteils hineindiffundiert.

[0118] Auch kann es vorgesehen sein, dass die Feuerverzinkung mit der Maßgabe und/oder derart durchgeführt wird, dass eine (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht mit einem Aluminium-Konzentrationsgradienten gebildet wird.

[0119] Der Aluminium-Konzentrationsgradient - ohne sich auf diese Theorie beschränken zu wollen - resultiert insbesondere aus der erhöhten Affinität des Aluminiums zum Eisen des Eisen- oder Stahlbauteils. Aufgrund dieser Affinität diffundiert das Aluminium der in der Feuerverzinkung verwendeten insbesondere aluminiumhaltigen bzw. aluminiumlegierten Zinkschmelze in die bereits vorhandene Zinkschicht (Feuerverzinkungsschicht) hinein. Gemäß einer besonderen Ausführungsform ist dabei jedoch zu beachten, dass die Feuerverzinkung nicht derart lange andauern sollte bzw. nicht für eine Zeitdauer in welcher das Aluminium vollständig hindurchdiffundiert und die gesamte bereits vorhandene Zinkschicht durchsetzt und sogar ersetzt. Insbesondere kann es vorgesehen sein, dass eine neue Gesamtfeuerverzinkungsschicht mit Zn/Al/Fe-Phasen resultiert.

[0120] Gemäß einer besonderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann die Gesamtschichtdicke der nach

Durchführung des Verfahrens resultierenden (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht mindestens 30 μm , insbesondere mindestens 35 μm , bevorzugt mindestens 40 μm , besonders bevorzugt mindestens 45 μm , betragen.

[0121] Gemäß einer weiteren besonderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann die Gesamtschichtdicke der nach Durchführung des Verfahrens resultierenden (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht höchstens 500 μm , insbesondere höchstens 450 μm , bevorzugt höchstens 400 μm , besonders bevorzugt höchstens 300 μm , betragen.

[0122] Gemäß einer wiederum weiteren besonderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann die Gesamtschichtdicke der nach Durchführung des Verfahrens resultierenden (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht im Bereich von 30 μm bis 500 μm , insbesondere im Bereich von 35 μm bis 450 μm , bevorzugt im Bereich von 40 μm bis 400 μm , besonders bevorzugt im Bereich von 45 μm bis 300 μm , liegen.

[0123] Gemäß einer weiteren besonderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann die Feuerverzinkung derart und/oder mit der Maßgabe durchgeführt werden, dass die Gesamtschichtdicke der nach Durchführung des Verfahrens resultierenden (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht im Bereich von 30 μm bis 500 μm , insbesondere im Bereich von 35 μm bis 450 μm , bevorzugt im Bereich von 40 μm bis 400 μm , besonders bevorzugt im Bereich von 45 μm bis 300 μm , liegt.

[0124] Eine aus dem erfindungsgemäßen Verfahren resultierende (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht mit der zuvor spezifizierten Gesamtschichtdicke stellt hohe Korrosionsschutzeigenschaften bereit. Gleichzeitig kann eine solche Zinkschicht, insbesondere in dem Fall, dass eine aluminiumhaltige bzw. aluminiumlegierte Zinkschmelze in der Feuerverzinkung verwendet wird, duktil sein; insbesondere kann ein entsprechendes feuerverzinktes Eisen- oder Stahlbauteil umgeformt, insbesondere um 90° gebogen, werden, ohne dass die Korrosionsschutzeigenschaften verloren gehen bzw. ohne dass diese maßgeblich bzw. signifikant verringert werden. Insbesondere weist auch ein feuerverzinktes Bauteil, welches gemäß dem erfindungsgemäßen Feuerverzinkungsverfahren verzinkt worden ist, nach Umformung bzw. Kaltformen (beispielsweise 90°-Biegung) hohe Korrosionsschutzeigenschaften auf.

[0125] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann es vorgesehen sein, dass nach der Feuerverzinkung eine Abkühlbehandlung erfolgt.

[0126] Mit anderen Worten kann es vorgesehen sein, dass das nach der Feuerverzinkung erhaltene Eisen- oder Stahlbauteil einer Abkühlbehandlung unterzogen wird.

[0127] Die optionale Abkühlbehandlung kann beispielsweise mittels Luft und/oder in Gegenwart von Luft erfolgen, und zwar vorzugsweise bis auf Umgebungstemperatur. Durch das Abkühlen ist die anschließende Handhabung einfacher. Außerdem wird durch die Abkühlbehandlung die gebildete Feuerverzinkungsschicht verfestigt.

[0128] Auch kann es im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens vorgesehen sein, dass nach der Feuerverzinkung eine Nachbearbeitungsbehandlung erfolgt.

[0129] Mit anderen Worten kann es vorgesehen sein, dass das nach der Feuerverzinkung erhaltene Eisen- oder Stahlbauteil einer Nachbearbeitungsbehandlung unterzogen wird.

[0130] Mögliche Nachbearbeitungen umfassen beispielsweise das Entfernen von überschüssigen Zinkbadrückständen, insbesondere sogenannte Tropfnasen des an den Kanten erstarrenden Zinks sowie Oxid- oder Ascherückstände, welche an dem Bauteil anhaften sowie das Passivieren oder Versiegeln der Oberfläche. Eine Nachbearbeitung erhöht insbesondere die Qualität der Feuerverzinkungsschicht.

[0131] Im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens hat es sich insbesondere als vorteilhaft erwiesen, wenn das der Aktivierungsbehandlung unterzogene verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil einen elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht von höchstens 500 $\text{k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, insbesondere höchstens 300 $\text{k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, bevorzugt höchstens 250 $\text{k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, besonders bevorzugt höchstens 200 $\text{k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, insbesondere bestimmt gemäß DIN EN ISO 17475 und/oder DIN 50918, insbesondere mittels potentiostatischer Polarisationsmessung, aufweist.

[0132] Auch hat es sich im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens insbesondere als vorteilhaft erwiesen, wenn das der Aktivierungsbehandlung unterzogene verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil einen elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht im Bereich von 0,0001 $\text{k}\Omega \cdot \text{cm}^2$ bis 500 $\text{k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, insbesondere im Bereich von 0,0001 $\text{k}\Omega \cdot \text{cm}^2$ bis 300 $\text{k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, bevorzugt im Bereich von 0,0001 $\text{k}\Omega \cdot \text{cm}^2$ bis 250 $\text{k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, besonders bevorzugt im Bereich von 0,0001 $\text{k}\Omega \cdot \text{cm}^2$ bis 200 $\text{k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, insbesondere bestimmt gemäß DIN EN ISO 17475 und/oder DIN 50918, insbesondere mittels potentiostatischer Polarisationsmessung, aufweist.

[0133] Bei einem elektrischen Widerstand der Oberfläche der Zinkschicht mit der zuvor definierten Obergrenze bzw. im zuvor definierten Bereich, führt die anschließende Feuerverzinkung zu besonders guten Ergebnissen. Insbesondere resultiert dann eine im Wesentlichen gleichmäßige und fehlerfreie Zinkschicht, welche zuverlässige Korrosionsschutzeigenschaften bereitstellt.

[0134] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann es insbesondere vorgesehen sein, dass der elektrische Widerstand der Deckschichtwiderstand, insbesondere der Polarisationswiderstand der Deckschicht (Zinkschicht bzw. Feuerverzinkungsschicht), ist.

[0135] Bei der Deckschicht handelt es sich im vorliegenden Fall insbesondere um die Oberfläche bzw. den äußeren Bereich (Randzone) der auf dem Bauteil befindlichen Zinkschicht bzw. Feuerverzinkungsschicht, die bzw. der mit der Umgebung in Wechselwirkung steht und durch Reaktion mit dieser Zink-basierte Verbindungen ausbildet. Mit anderen

Worten ist es insbesondere vorgesehen, dass es sich bei dem elektrischen Widerstand der Deckschicht um den elektrischen Widerstand der Randzone der auf dem Eisen- oder Stahlbauteil befindlichen Zinkschicht handelt.

[0136] Gemäß einer besonderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann das verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil, insbesondere das eine Zinkschicht aufweisende Eisen- oder Stahlbauteil, an mindestens einer Oberfläche zumindest teilweise, insbesondere vollständig, verzinkt sein, insbesondere eine Zinkschicht aufweisen.

[0137] In diesem Zusammenhang ist es besonders bevorzugt, wenn eine vollflächige bzw. vollständige Zinkschicht auf dem Bauteil vorliegt. Durch eine vorzugsweise vollständige noch vorhandene Zinkschicht ist das Bauteil typischerweise noch nicht korrodiert. Darüber hinaus wird gemäß einer besonderen Ausführungsform dann eine neue Gesamtfeuer-
verzinkungsschicht bereitgestellt, welche sich von einer Feuerverzinkungsschicht unterscheidet, welche auf einem keine Zinkschicht aufweisenden Bauteil aufgebracht wird. Insbesondere ist eine Zinkschicht, welche im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens auf einer noch vorhandenen Zinkschicht aufgebracht wird, insbesondere besonders duktil und stellt gleichzeitig besonders hohe Korrosionsschutzeigenschaften bereit. Es ist jedoch auch möglich das erfindungsgemäße Verfahren mit einem verzinkten Bauteil durchzuführen, bei welchem keine vollständige bzw. vollflächige Zinkschicht mehr vorliegt.

[0138] Gemäß einer besonderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann es vorgesehen sein, dass die Aktivierungsbehandlung eine chemische und/oder eine mechanische Behandlung, insbesondere mindestens eine chemische und gegebenenfalls (zusätzlich) eine mechanische Behandlung umfasst.

[0139] Durch eine Aktivierungsbehandlung kann die Oxidationsschicht bzw. natürliche Deckschicht (welche sich unter oxidativen Bedingungen automatisch auf der Zinkschicht bildet) der vorhandenen Zinkschicht sowie weitere Verunreinigungen und Korrosionsprodukte (sowohl des Zinks als auch des Eisens) wieder abgelöst und die vorhandene Zinkschicht zugänglich gemacht sowie für die Feuerverzinkung aktiviert werden. So kann nachfolgend eine schnelle und zuverlässige Feuerverzinkung erfolgen.

[0140] Insbesondere kann die chemische Behandlung mindestens eine Beizbehandlung und/oder Flussmittelbehandlung umfassen.

[0141] Dabei kann es insbesondere vorgesehen sein, dass die chemische Behandlung durch eine wässrige salzhaltige Lösung erfolgt, insbesondere mit einem pH-Wert von weniger als 5.

[0142] Außerdem kann es in diesem Zusammenhang auch vorgesehen sein, dass die chemische Behandlung für eine Zeitdauer im Bereich von 1 Sekunde bis 60 min, insbesondere im Bereich von 5 Sekunden bis 45 min, bevorzugt im Bereich von 10 Sekunden bis 30 min, erfolgt.

[0143] Durch eine chemische Behandlung mit einer solchen Zeitdauer können von der noch vorhandenen Zinkschicht und gegebenenfalls vorhandenen freien Oberfläche des Bauteils Verunreinigungen sowie die unter oxidativen Bedingungen gebildeten Oxidationsschicht bzw. natürliche Deckschicht als auch Korrosionsprodukte des Eisens abgelöst werden, so dass die vorhandene Zinkschicht zugänglich gemacht wird sowie für die Feuerverzinkung aktiviert wird. So kann eine schnelle und zuverlässige Feuerverzinkung erfolgen. Insbesondere führt diese Zeitdauer üblicherweise zu einem Ablösen bzw. Auflösen der Oxidationsschicht und einer ausreichenden Aktivierung der vorhandenen Zinkschicht.

[0144] Gemäß einer weiteren besonderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann es vorgesehen sein, dass die chemische Behandlung mittels Flussmittelbehandlung in einer Flussmittelzusammensetzung in einem Flussmittelbad erfolgt.

[0145] Üblicherweise kann das Flussmittelbad der chemischen Behandlung eine wässrige und/oder alkoholische, insbesondere wässrige, flüssige Phase umfassen, wobei die flüssige Phase des Flussmittelbads die Flussmittelzusammensetzung enthält, insbesondere in gelöster oder dispergierter Form, vorzugsweise in gelöster Form.

[0146] Insbesondere kann die Flussmittelzusammensetzung der chemischen Behandlung als Inhaltsstoffe Salze und gegebenenfalls Netzmittel umfassen, insbesondere wobei die Salze ausgewählt sind aus der Gruppe von Chloriden, vorzugsweise aus der Gruppe von Zinkchlorid (ZnCl_2), Ammoniumchlorid (NH_4Cl), Alkali- und/oder Erdalkalichloriden, insbesondere Kaliumchlorid (KCl) und/oder Natriumchlorid (NaCl), Aluminiumchlorid (AlCl_3), Silberchlorid (AgCl), Bleichlorid (PbCl_2), Nickelchlorid (NiCl_2), Bismutchlorid (BiCl_3), Zinnchlorid (SnCl_2), Manganchlorid (MnCl_2), Cobaltchlorid (CoCl_2) sowie deren Kombinationen.

[0147] In diesem Zusammenhang kann es vorgesehen sein, dass die Flussmittelzusammensetzung der chemischen Behandlung als Inhaltsstoffe Zinkchlorid (ZnCl_2) und gegebenenfalls mindestens ein Alkali- und/oder Erdalkalichlorid, insbesondere Kaliumchlorid (KCl) und/oder Natriumchlorid (NaCl), sowie gegebenenfalls Netzmittel und gegebenenfalls mindestens ein weiteres, von den vorgenannten Verbindungen verschiedenes Salz, ausgewählt aus der Gruppe von Chloriden, vorzugsweise aus der Gruppe von Ammoniumchlorid (NH_4Cl), Aluminiumchlorid (AlCl_3), Silberchlorid (AgCl), Bleichlorid (PbCl_2), Nickelchlorid (NiCl_2), Bismutchlorid (BiCl_3), Zinnchlorid (SnCl_2), Manganchlorid (MnCl_2), Cobaltchlorid (CoCl_2) sowie deren Kombinationen, umfasst.

[0148] Im Rahmen der Erfindung hat es sich bewährt, wenn die Flussmittelzusammensetzung der chemischen Behandlung als Inhaltsstoffe Salze und gegebenenfalls Netzmittel umfasst, insbesondere wobei die Flussmittelzusammensetzung wenigstens Zinkchlorid (ZnCl_2) und mindestens ein Alkali- und/oder Erdalkalichlorid, insbesondere Kaliumchlorid (KCl) und/oder Natriumchlorid (NaCl), umfasst.

[0149] Erfindungsgemäß kann es gemäß einer besonderen Ausführungsform vorgesehen sein, dass die Flussmittelzusammensetzung der chemischen Behandlung frei von Ammoniumchlorid (NH_4Cl) ist; bzw. dass die Flussmittelzusammensetzung der chemischen Behandlung zumindest im Wesentlichen kein Ammoniumchlorid (NH_4Cl) enthält.

[0150] Insbesondere kann das Flussmittelbad der chemischen Behandlung einen Salzgehalt von mindestens 20 Gew.-%, insbesondere von mindestens 30 Gew.-%, bevorzugt von mindestens 50 Gew.-%, besonders bevorzugt von mindestens 60 Gew.-%, bezogen auf das Flussmittelbad, aufweisen.

[0151] Typischerweise kann das Flussmittelbad der chemischen Behandlung einen Salzgehalt von höchstens 90 Gew.-%, insbesondere von höchstens 85 Gew.-%, bevorzugt von höchstens 80 Gew.-%, besonders bevorzugt von höchstens 75 Gew.-%, bezogen auf das Flussmittelbad, aufweisen.

[0152] Im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens kann es vorgesehen sein, dass das Flussmittelbad der chemischen Behandlung einen Salzgehalt im Bereich von 20 Gew.-% bis 90 Gew.-%, insbesondere im Bereich von 30 Gew.-% bis 85 Gew.-%, bevorzugt im Bereich von 50 Gew.-% bis 80 Gew.-%, besonders bevorzugt im Bereich von 60 Gew.-% bis 75 Gew.-%, bezogen auf das Flussmittelbad, aufweist.

[0153] Auch kann es im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens vorgesehen sein, dass das Flussmittelbad der chemischen Behandlung einen Salzgehalt im Bereich von 100 g/l bis 800 g/l, insbesondere im Bereich von 140 g/l bis 720 g/l, bevorzugt im Bereich von 170 g/l bis 670 g/l, besonders bevorzugt im Bereich von 200 g/l bis 600 g/l, aufweist.

[0154] Gemäß einer besonderen Ausführungsform der Erfindung kann die Flussmittelzusammensetzung der chemischen Behandlung die folgenden Inhaltsstoffe aufweisen, wobei alle nachfolgend genannten Mengenangaben auf die Flussmittelzusammensetzung bezogen sind und derart auszuwählen sind, dass insgesamt 100 Gew.-% resultieren:

(i) Zinkchlorid (ZnCl_2), insbesondere in Mengen im Bereich von 50 bis 95 Gew.-%, insbesondere im Bereich von 50 bis 90 Gew.-%, bevorzugt im Bereich von 60 bis 85 Gew.-%, besonders bevorzugt im Bereich von 65 bis 82,5 Gew.-%, noch mehr bevorzugt im Bereich von 70 bis 82 Gew.-%,

(ii) Ammoniumchlorid (NH_4Cl), insbesondere in Mengen im Bereich von 0 bis 50 Gew.-%, insbesondere im Bereich von 6 bis 40 Gew.-%, bevorzugt im Bereich von 7 bis 35 Gew.-%, besonders bevorzugt im Bereich von 8 bis 25 Gew.-%, noch mehr bevorzugt im Bereich von 10 bis 20 Gew.-%,

(iii) Natriumchlorid (NaCl), insbesondere in Mengen im Bereich von 0,1 bis 20 Gew.-%, insbesondere im Bereich von 0,5 bis 15 Gew.-%, bevorzugt im Bereich von 1 bis 12,5 Gew.-%, besonders bevorzugt im Bereich von 2 bis 10 Gew.-%, noch mehr bevorzugt im Bereich von 4 bis 8 Gew.-%, und

(iv) Kaliumchlorid (KCl), insbesondere in Mengen im Bereich von 0,1 bis 15 Gew.-%, vorzugsweise im Bereich von 0,2 bis 12,5 Gew.-%, bevorzugt im Bereich von 0,4 bis 10 Gew.-%, besonders bevorzugt im Bereich von 0,5 bis 8 Gew.-%, noch mehr bevorzugt im Bereich von 0,8 bis 6 Gew.-%.

[0155] Gemäß einer weiteren Ausführungsform kann die chemische Behandlung mittels Beizbehandlung in einem Beizbehandlungsmittel erfolgen.

[0156] Insbesondere kann die Beizbehandlung der chemischen Behandlung mit einem salzsäurehaltigen (HCl -haltigen) und/oder salzsäurebasierten (HCl -basierten) Beizbehandlungsmittel erfolgen, insbesondere wobei das Beizbehandlungsmittel einen pH-Wert von weniger als 5 aufweist.

[0157] Insbesondere kann es im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens vorgesehen sei, dass die Beizbehandlung der chemischen Behandlung mit einem sauren Beizbehandlungsmittel, insbesondere mit einem Beizbehandlungsmittel mit einem pH-Wert von weniger als 5, erfolgt.

[0158] Darüber hinaus kann es im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens auch vorgesehen sei, dass das Beizbehandlungsmittel Eisen enthält, insbesondere in Form von zwei- und/oder dreiwertigen Eisenionen.

[0159] Dabei können insbesondere die dreiwertigen Eisenionen (Fe^{3+} -Ionen) die Beizwirkung verstärken.

[0160] Insbesondere kann es in diesem Zusammenhang vorgesehen sein, dass das Beizbehandlungsmittel Zink mit einem Gehalt von mindestens 10 g/l enthält.

[0161] Auch kann es in diesem Zusammenhang vorgesehen sein, dass das Beizbehandlungsmittel Zink mit einem Gehalt von mindestens 10 g/l enthält und einen Eisengehalt in Höhe von höchstens 20 % des Zinkgehalts aufweist.

[0162] Weiterhin kann es im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens auch vorgesehen sei, dass das Beizbehandlungsmittel mindestens ein Additiv, insbesondere mindestens ein Beizadditiv, enthält, insbesondere ausgewählt aus der Gruppe von Korrosionsinhibitoren, Beizreinigern, Beizbeschleunigern und Beizverstärkern sowie deren Kombinationen.

[0163] In diesem Zusammenhang können die Additive zur Optimierung der Beizwirkung eingesetzt werden. Mögliche Beizadditive sind beispielsweise Inhibitoren zur Vermeidung eines zu starken Angriffs und/oder zum Schutz des Grundmaterial oder aber Beizverstärker zur Erhöhung des Angriffs. Kommerzielle Produkte sind beispielsweise von der

STOCKMEIER Holding GmbH erhältlich, beispielsweise die Produkte Lerapas® BP, Leraclen® Beizentfetter oder Leraclen® 1227.

[0164] Gemäß einer weiteren besonderen Ausführungsform kann das Beizbehandlungsmittel und/oder das Flussmittelbad der chemischen Behandlung mindestens ein Netzmittel und/oder Tensid, insbesondere mindestens ein ionisches oder nichtionisches Netzmittel und/oder Tensid, bevorzugt mindestens ein nichtionisches Netzmittel und/oder Tensid, enthalten.

[0165] Insbesondere kann das Beizbehandlungsmittel und/oder das Flussmittelbad der chemischen Behandlung das mindestens eine Netzmittel und/oder Tensid in Mengen von 0,0001 bis 15 Gew.-%, vorzugsweise in Mengen von 0,001 bis 10 Gew.-%, bevorzugt in Mengen von 0,01 bis 8 Gew.-%, noch mehr bevorzugt in Mengen von 0,01 bis 6 Gew.-%, ganz besonders bevorzugt in Mengen von 0,05 bis 3 Gew.-%, noch mehr bevorzugt in Mengen von 0,1 bis 2 Gew.-%, bezogen auf das Beizbehandlungsmittel und/oder Flussmittelbad, enthalten.

[0166] Gemäß einer wiederum weiteren Ausführungsform kann die chemische Behandlung mittels einer Beizbehandlung und einer Flussmittelbehandlung erfolgen.

[0167] Die Kombination einer Beizbehandlung und einer Flussmittelbehandlung führt zu einem besonders effizienten und im Wesentlichen vollständigen Ablösen der Oxidationsschicht und weiterer Verunreinigungen, wie beispielsweise Korrosionsprodukten, und somit zu einer besonders gleichmäßigen und fehlerfreien Feuerverzinkung.

[0168] In diesem Zusammenhang kann insbesondere zunächst die Beizbehandlung und anschließend die Flussmittelbehandlung erfolgen, wobei nach der Beizbehandlung und vor der Flussmittelbehandlung mindestens ein Spülvorgang erfolgt, insbesondere durch Eintauchen in ein Wasserbad.

[0169] Dabei hat sich bewährt, wenn die Beizbehandlung der chemischen Behandlung und die Flussmittelbehandlung der chemischen Behandlung jeweils für eine Zeitdauer im Bereich von 1 Sekunden bis 60 min, insbesondere im Bereich von 5 Sekunden bis 45 min, bevorzugt im Bereich von 10 Sekunden bis 30 min, erfolgen.

[0170] Die Zeit sollte dabei, wie zuvor ausgeführt, insbesondere an die Güte der Zinkoberfläche angepasst werden, um ein vollständiges Entfernen von Verunreinigungen, wie der Oxidationsschicht und Korrosionsprodukten des Zinks und/oder des Eisens, zu gewährleisten. Gleichzeitig sollte aber sowohl die Flussmittelbehandlung als auch die Beizbehandlung möglichst kurz erfolgen, um keine oder im Wesentlichen keine bzw. so wenig wie möglich der Zinkschicht abzutragen.

[0171] Im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens kann es vorgesehen sein, dass die chemische Behandlung, insbesondere die Flussmittelbehandlung und/oder die Beizbehandlung, bei erhöhter Temperatur erfolgt.

[0172] Insbesondere kann die Flussmittelbehandlung und/oder die Beizbehandlung bei einer Temperatur im Bereich von 20 °C bis 90 °C, insbesondere im Bereich von 25 °C bis 80 °C, erfolgen.

[0173] Wie zuvor ausgeführt kann im Rahmen der Aktivierungsbehandlung eine mechanische Behandlung erfolgen.

[0174] Gemäß einer besonderen Ausführungsform kann die mechanische Behandlung eine abrasive Behandlung umfassen.

[0175] Insbesondere kann die abrasive Behandlung ausgewählt sein aus der Gruppe von Strahlen, insbesondere Sandstrahlen, Wasserstrahlen und/oder Trockeneisstrahlen, Abschleifen, Abbürsten, Lasern sowie deren Kombinationen.

[0176] Auch kann es möglich sein die chemischen Behandlung mit einer Strömung durchzuführen.

[0177] Gemäß einer weiteren besonderen Ausführungsform kann der elektrische Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht des verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere des eine Zinkschicht aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, vor der Aktivierungsbehandlung ermittelt werden.

[0178] In diesem Zusammenhang kann die Art und/oder Dauer und/oder Intensität der Aktivierungsbehandlung in Abhängigkeit vom elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht des verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere des eine Zinkschicht aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, erfolgen.

[0179] Ein solches Verfahren ist besonders vorteilhaft, da der Aufwand der Aktivierungsbehandlung vorab bereits gezielt eingestellt werden kann, wodurch das Verfahren insgesamt besonders wirtschaftlich, ökologisch, ökonomisch, materialschonend und ressourcenschonend ist. Insbesondere kann die Menge der Abtragung verringert werden und auch der Aufwand der Aktivierungsbehandlung kann optimiert werden. Somit kann bereits vorab der Aufwand der Aktivierungsbehandlung derart angepasst bzw. eingestellt werden, dass nach der Aktivierungsbehandlung der elektrische Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht höchsten 500 kΩ • cm² beträgt.

[0180] Insbesondere kann die Aktivierungsbehandlung in Abhängigkeit vom elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht des verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere des eine Zinkschicht aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, nur eine Flussmittelbehandlung oder aber eine Beizbehandlung und eine Flussmittelbehandlung umfassen.

[0181] Es ist, wie zuvor bereits ausgeführt, durch dieses Vorgehen möglich, die Intensität und den Aufwand der Aktivierungsbehandlung gezielt zu steuern und zu optimieren. Insbesondere bei zu hoher Intensität (beispielsweise durch eine zu lange oder intensive Beizbehandlung) kann die Oberfläche, insbesondere die Bauteiloberfläche und/oder die Oberfläche Zinkschicht, zu stark angegriffen werden oder zu stark abgetragen werden. Im Rahmen des erfindungsge-

mäßen Verfahrens ist es insbesondere vorgesehen, dass so wenig Material wie möglich von dem verzinkten Eisen- oder Stahlbauteil abgetragen wird. Somit ist der elektrische Widerstand insbesondere ein Maß für die notwendige Aktivierungsbehandlung.

[0182] In diesem Zusammenhang kann es insbesondere vorgesehen sein, dass bei einem elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht von höchstens $500 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, insbesondere bestimmt gemäß DIN EN ISO 17475 und/oder DIN 50918, insbesondere mittels potentiostatischer Polarisationsmessung, als Aktivierungsbehandlung zumindest eine Flussmittelbehandlung erfolgt.

[0183] Auch kann es vorgesehen sein, dass bei einem elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht von mehr als $500 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, insbesondere bestimmt gemäß DIN EN ISO 17475 und/oder DIN 50918, insbesondere mittels potentiostatischer Polarisationsmessung, als Aktivierungsbehandlung zumindest zunächst eine Beizbehandlung und anschließend eine Flussmittelbehandlung erfolgt, insbesondere wobei nach der Beizbehandlung und vor der Flussmittelbehandlung ein Spülvorgang erfolgt, insbesondere durch Eintauchen in ein Wasserbad.

[0184] Die Oxidationsprodukte des Zinks, insbesondere Zinkoxid, Zinkhydroxid, Zinkoxidhydroxid, Zinkhydrogencarbonat und Zinkcarbonat, erhöhen den elektrischen Widerstand im Vergleich zu reinem Zink, so dass durch Abtrag dieser Oxidationsprodukte und somit der natürlichen Deckschicht typischerweise auch der elektrische Widerstand der Oberfläche der Zinkschicht sinkt.

[0185] Gemäß einer besonderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung betrifft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur Feuerverzinkung (Schmelztauchverzinkung) eines verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere eines eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere zur Regeneration und/oder Wiederaufbereitung und/oder Wiederverwendung eines verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere ein wie zuvor beschriebenes Verfahren,

wobei das verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil, insbesondere das eine Zinkschicht aufweisende Eisen- oder Stahlbauteil, vor der Feuerverzinkung einer Aktivierungsbehandlung, insbesondere einer chemischen und/oder mechanischen Behandlung umfassenden Aktivierungsbehandlung, vorzugsweise einer mindestens eine chemische und gegebenenfalls (zusätzlich) eine mechanische Behandlung umfassenden Aktivierungsbehandlung, unterzogen wird derart und/oder mit der Maßgabe, dass das der Aktivierungsbehandlung unterzogene verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil einen elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht von höchstens $500 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, insbesondere höchstens $300 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, bevorzugt höchstens $250 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, besonders bevorzugt höchstens $200 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, insbesondere bestimmt gemäß DIN EN ISO 17475 und/oder DIN 50918, insbesondere mittels potentiostatischer Polarisationsmessung, aufweist, und

wobei das der Aktivierungsbehandlung unterzogene verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil einen elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht von höchstens $500 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, insbesondere höchstens $300 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, bevorzugt höchstens $250 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, besonders bevorzugt höchstens $200 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, insbesondere bestimmt gemäß DIN EN ISO 17475 und/oder DIN 50918, insbesondere mittels potentiostatischer Polarisationsmessung, aufweist, wobei nachfolgend das der Aktivierungsbehandlung unterzogene verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil einer Feuerverzinkung unterzogen wird,

wobei der elektrische Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht des verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere des eine Zinkschicht aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, vor der Aktivierungsbehandlung ermittelt wird,

wobei die Aktivierungsbehandlung in Abhängigkeit vom elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht des verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere des eine Zinkschicht aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, nur eine Flussmittelbehandlung oder aber eine Beizbehandlung und eine Flussmittelbehandlung umfasst.

[0186] Gemäß einer weiteren besonderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung betrifft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur Feuerverzinkung (Schmelztauchverzinkung) eines verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere eines eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere zur Regeneration und/oder Wiederaufbereitung und/oder Wiederverwendung eines verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere ein wie zuvor beschriebenes Verfahren,

wobei das verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil, insbesondere das eine Zinkschicht aufweisende Eisen- oder Stahlbauteil, vor der Feuerverzinkung einer Aktivierungsbehandlung, insbesondere einer chemischen und/oder mechanischen Behandlung umfassenden Aktivierungsbehandlung, vorzugsweise einer mindestens eine chemische und gegebenenfalls (zusätzlich) eine mechanische Behandlung umfassenden Aktivierungsbehandlung, unterzogen wird derart und/oder mit der Maßgabe, dass das der Aktivierungsbehandlung unterzogene verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil einen elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht von höchstens $500 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, insbesondere höchstens $300 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, bevorzugt höchstens $250 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, besonders bevorzugt höchstens $200 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, insbesondere bestimmt gemäß DIN EN ISO 17475 und/oder DIN 50918, insbesondere mittels potentiostatischer Polarisationsmessung, aufweist, und

tatischer Polarisationsmessung, aufweist,

wobei nachfolgend das der Aktivierungsbehandlung unterzogene verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil einer Feuerverzinkung unterzogen wird,

wobei der elektrische Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht des verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere des eine Zinkschicht aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, vor der Aktivierungsbehandlung ermittelt wird,

wobei die Aktivierungsbehandlung in Abhängigkeit vom elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht des verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere des eine Zinkschicht aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, nur eine Flussmittelbehandlung oder aber eine Beizbehandlung und eine Flussmittelbehandlung umfasst,

wobei bei einem elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht von höchstens $500 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, insbesondere bestimmt gemäß DIN EN ISO 17475 und/oder DIN 50918, insbesondere mittels potentiostatischer Polarisationsmessung, als Aktivierungsbehandlung zumindest eine Flussmittelbehandlung erfolgt und wobei bei einem elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht von mehr als $500 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, insbesondere bestimmt gemäß DIN EN ISO 17475 und/oder DIN 50918, insbesondere mittels potentiostatischer Polarisationsmessung, als Aktivierungsbehandlung zumindest zunächst eine Beizbehandlung und anschließend eine Flussmittelbehandlung erfolgt, insbesondere wobei nach der Beizbehandlung und vor der Flussmittelbehandlung ein Spülvorgang erfolgt, insbesondere durch Eintauchen in ein Wasserbad.

[0187] Gemäß der vorliegenden Erfindung kann es vorgesehen sein, dass vor der Ermittlung des elektrischen Widerstands die Zusammensetzung der Zinkschicht, insbesondere der Feuerverzinkungsschicht, ermittelt wird, insbesondere mittels laserinduzierter Plasmaspektroskopie (LIBS).

[0188] Die Ermittlung einer Zusammensetzung mittels laserinduzierter Plasmaspektroskopie (LIBS) ist dem Fachmann wohl bekannt und somit allgemeines Fachwissen. Auch ist dieses Vorgehen in der DE 10 2014 013 160 A1 oder bei Wikipedia, insbesondere auch in den dort angegebenen Sekundärquellen, beispielsweise eines entsprechenden Artikels der TU Clausthal oder auf der Internetseite der SECOPTA analytics GmbH, beschrieben. Diesbezüglich wird auf die entsprechenden Ausführungen in den vorgenannten Dokumenten bzw. Quellen vollumfänglich Bezug genommen, wobei diese hiermit ausdrücklich zum Gegenstand der vorliegenden Anmeldung gemacht werden.

[0189] Insbesondere kann/können die Messung und/oder die Messparameter des elektrischen Widerstands an die Zusammensetzung der Zinkschicht, insbesondere der Feuerverzinkungsschicht, angepasst werden.

[0190] Gemäß einer besonderen Ausführungsform kann das der Aktivierungsbehandlung unterzogene verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil einer Trocknungsbehandlung unterzogen werden.

[0191] Die Durchführung einer Trocknungsbehandlung nach der Aktivierungsbehandlung und insbesondere unmittelbar vor der Feuerverzinkung hat den Vorteil, dass keine Flüssigkeit in das Zinkbad geschleppt wird.

[0192] Dabei kann die Trocknungsbehandlung bei einer Temperatur im Bereich von 30°C bis 400°C , insbesondere im Bereich von 35°C bis 375°C , bevorzugt im Bereich von 40°C bis 350°C , besonders bevorzugt im Bereich von 50°C bis 325°C , erfolgen.

[0193] In diesem Zusammenhang hat es sich bewährt, wenn die Trocknungsbehandlung für eine Zeitdauer im Bereich von 0,1 Sekunden bis 60 min, insbesondere im Bereich von 1 Sekunden bis 45 min, bevorzugt im Bereich von 10 Sekunden bis 35 min, besonders bevorzugt im Bereich von 20 Sekunden bis 30 min, noch mehr bevorzugt im Bereich von 20 Sekunden bis 15 min, erfolgt.

[0194] Dabei kann die Trocknungsbehandlung in Gegenwart von und/oder mittels Luft erfolgen.

[0195] Typischerweise erfolgt in diesem Zusammenhang die Trocknungsbehandlung in mindestens einer Trocknungseinrichtung, insbesondere in mindestens einem Ofen.

[0196] Gemäß einer weiteren besonderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann es vorgesehen sein, dass das verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil, insbesondere das eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisende Eisen- oder Stahlbauteil, vor der Aktivierungsbehandlung einer Überprüfung unterzogen wird.

[0197] Gemäß einer wiederum weiteren besonderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann es vorgesehen sein, dass das verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil, insbesondere das eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisende Eisen- oder Stahlbauteil, vor der Aktivierungsbehandlung auf die Eignung zur Regeneration und/oder Wiederaufbereitung und/oder Wiederverwendung überprüft wird.

[0198] Insbesondere kann die Überprüfung durch optische und/oder mechanische und/oder induktive und/oder elektrische und/oder chemische Verfahren erfolgen.

[0199] Durch die vorherige Überprüfung des verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils auf Eignung zur Regeneration und/oder Wiederaufbereitung und/oder Wiederverwendung können Bauteile bereits aussortiert werden, welche auch nach einer erfindungsgemäßen Regeneration und/oder Wiederaufbereitung und/oder Wiederverwendung nicht mehr verwendet werden können.

[0200] Dabei kann es insbesondere vorgesehen sein, dass das verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil, insbesondere das eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisende Eisen- oder Stahlbauteil, in Bezug auf mindes-

tens eine spezifische Eigenschaft und/oder einen spezifischen Prüfparameter überprüft wird, insbesondere ausgewählt aus der Gruppe von: Zustand und/oder Art der vorhandenen Zinkschicht; Zusammensetzung und/oder Güte und/oder Stärke des Stahlteils; Korrosionsgrad und/oder Verschleiß des Stahlteils; optischer Zustand des Stahlteils; Deformation des Stahlteils gegenüber der ursprünglichen Ausgangsform; Grad der Verschmutzung der vorhandenen Zinkschicht; Art und/oder Konzentration von Oxidationsprodukten der Zinkschicht (Feuerverzinkungsschicht); Art und/oder Konzentration von Ablagerungen, insbesondere von Salzen, Oxiden, Hydroxiden und Fetten; Kennzeichnung des Stahlteils; Vorhandensein und/oder Zustand von Befestigungsmöglichkeiten, insbesondere Bohrungen, Gewinden und/oder Durchbrechungen; und Vorhandensein artfremder Beschichtungsstoffe.

[0201] Darüber hinaus kann es in diesem Zusammenhang auch vorgesehen sein, dass das verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil, insbesondere das eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisende Eisen- oder Stahlbauteil, in Abhängigkeit der Überprüfung vorbereitet wird, insbesondere durch Entfetten, Korrekturformen, Pressen, Walzen, Biegen, Bohren und/oder Schneiden.

[0202] Es ist somit möglich ein verzinktes Eisen- oder Stahlbauteil, welches bei der ersten Beurteilung nicht zur Regeneration und/oder Wiederaufbereitung und/oder Wiederverwendung geeignet ist, derart vorzubereiten, dass die Eignung hergestellt wird.

[0203] Weiterhin kann es im Rahmen der vorliegenden Erfindung auch vorgesehen sein, dass die Aktivierungsbehandlung, insbesondere die abrasive Behandlung, des verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere des eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, in Abhängigkeit der Überprüfung erfolgt, insbesondere derart, dass vorhandene Verschmutzungen, Ablagerungen und/oder Korrosionsprodukte entfernt werden.

[0204] Es ist somit möglich ein verzinktes Eisen- oder Stahlbauteil, welches bei der ersten Beurteilung nicht zur Regeneration und/oder Wiederaufbereitung und/oder Wiederverwendung geeignet ist, derart vorzubereiten, dass die Eignung hergestellt wird. Dazu können sowohl Verformungen ausgebessert werden als auch Verschmutzungen, Ablagerungen und/oder Korrosionsprodukte entfernt werden und somit die Oberfläche des verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils dem erfindungsgemäßen Verfahren zugänglich gemacht werden. Eine solche Vorbereitung ist jedoch nicht für jedes nicht geeignete Bauteil möglich; bei zu starken Verformungen oder einem zu hohen Anteil oder schlecht entfernbaren Verschmutzungen, Ablagerungen und/oder Korrosionsprodukten ist es möglich, dass auch im Rahmen der Vorbereitung die Oberfläche nicht derart zugänglich gemacht werden kann, dass ausreichende Korrosionsschutzeigenschaften im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens bereitgestellt werden. Auch ist es möglich, dass das Bauteil selbst bereits zu stark korrodiert ist, so dass das Bauteil selbst nicht mehr die für die entsprechende Verwendung notwendigen mechanischen Anforderungen erfüllt. In solchen Fällen kann das Bauteil beispielsweise einer herkömmlichen Rezyklierung zugeführt werden.

[0205] Gemäß einer besonderen Ausführungsform kann es vorgesehen sein, dass das Verfahren die folgenden Verfahrensschritten in der nachfolgend aufgeführten Reihenfolge umfasst:

(a) gegebenenfalls Überprüfen des verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils; dann

(b) gegebenenfalls Vorbereiten des gegebenenfalls in Verfahrensschritt (a) überprüften verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils; dann

(c) gegebenenfalls Messung des Widerstands des gegebenenfalls in Verfahrensschritt (a) überprüften und gegebenenfalls in Verfahrensschritt (b) vorbereiteten verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils; dann

(d) Aktivierung des gegebenenfalls in Verfahrensschritt (a) überprüften und gegebenenfalls in Verfahrensschritt (b) vorbereiteten verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils; dann

(e) gegebenenfalls Trocknungsbehandlung des in Verfahrensschritt (d) aktivierten verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils; dann

(f) Feuerverzinkung (Schmelztauchverzinkung) des in Verfahrensschritt (d) aktivierten und gegebenenfalls in Verfahrensschritt (e) getrockneten verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils; dann

(g) gegebenenfalls Abkühlbehandlung des in Verfahrensschritt (f) feuerverzinkten (schmelztauchverzinkten) Eisen- oder Stahlbauteils; dann

(h) gegebenenfalls Nachbearbeitung des in Verfahrensschritt (f) feuerverzinkten (schmelztauchverzinkten) und gegebenenfalls in Verfahrensschritt (g) abgekühlten Eisen- oder Stahlbauteils.

[0206] Im Ergebnis wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung also ein effizientes wie ökonomisches, ökologisches und nachhaltiges Verfahren zur Regeneration und/oder Wiederaufbereitung und/oder Wiederverwendung eines verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, bereitgestellt.

[0207] Weiterer Gegenstand - gemäß einem **zweiten** Aspekt der vorliegenden Erfindung - ist eine Anlage (System) zur Feuerverzinkung (Schmelztauchverzinkung) eines verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere eines eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere zur Regeneration und/oder Wiederaufbereitung und/oder Wiederverwendung eines verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere eine Anlage (System) zur Durchführung eines zuvor beschriebenen Verfahrens,

wobei die Anlage die folgenden Vorrichtungen in der nachfolgend aufgeführten Reihenfolge umfasst:

- eine Aktivierungsvorrichtung zur Aktivierung des verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere des eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils; nachgeschaltet und/oder im Verfahrensablauf stromabwärts hierzu angeordnet
- eine Feuerverzinkungsvorrichtung zur Feuerverzinkung des nach der ersten Feuerverzinkung erhaltenen Eisen- oder Stahlbauteils in einer Zinkschmelze;

wobei die Anlage außerdem mindestens eine Messvorrichtung zur Messung eines elektrischen Widerstands an der Oberfläche der Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, umfasst.

[0208] Gemäß einer besonderen Ausführungsform kann es vorgesehen sein, dass die Messvorrichtung zur Messung eines elektrischen Widerstands an der Oberfläche der Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, stromaufwärts von der Feuerverzinkungsvorrichtung angeordnet ist.

[0209] Gemäß einer weiteren besonderen Ausführungsform kann es vorgesehen sein, dass die Messvorrichtung zur Messung eines elektrischen Widerstands an der Oberfläche der Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, stromabwärts zu der Aktivierungsvorrichtung angeordnet ist.

[0210] Gemäß einer wiederum weiteren besonderen Ausführungsform kann es vorgesehen sein, dass die Messvorrichtung zur Messung eines elektrischen Widerstands an der Oberfläche der Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, stromaufwärts von der Feuerverzinkungsvorrichtung und stromabwärts zu der Aktivierungsvorrichtung angeordnet ist.

[0211] Insbesondere kann es im Rahmen der vorliegenden Erfindung somit vorgesehen sein, dass die Messvorrichtung zwischen der Feuerverzinkungsvorrichtung und der Aktivierungsvorrichtung angeordnet ist.

[0212] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann es insbesondere vorgesehen sein, dass die Messvorrichtung zur Messung eines elektrischen Widerstands an der Oberfläche der Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, zur Messung des Deckschichtwiderstands, insbesondere des Polarisationswiderstands der Deckschicht (Zinkschicht bzw. Feuerverzinkungsschicht), ausgebildet ist.

[0213] Der elektrische Widerstand an der Oberfläche kann beispielsweise unter Verwendung eines Gel-Elektrolyten ermittelt werden. Da der Gel-Elektrolyt weniger reaktiv als ein flüssiger Elektrolyt ist, liefern Messungen des elektrischen Widerstands an der Oberfläche der Zinkschicht unter Verwendung eines Gel-Elektrolyten - wie überraschend von der Anmelderin herausgefunden - zuverlässigere Ergebnisse.

[0214] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann, gemäß einer besonderen Ausführungsform, eine weitere Messvorrichtung zur Messung eines elektrischen Widerstands an der Oberfläche der Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, stromaufwärts zu der Aktivierungsvorrichtung angeordnet sein.

[0215] Insbesondere kann die weitere Messvorrichtung zur Messung eines elektrischen Widerstands an der Oberfläche der Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, zur Messung des Deckschichtwiderstands, insbesondere des Polarisationswiderstands der Deckschicht (Zinkschicht bzw. Feuerverzinkungsschicht), ausgebildet sein.

[0216] Es ist somit möglich, dass die erfindungsgemäße Anlage zwei oder mehr Messvorrichtungen zur Messung eines elektrischen Widerstands aufweist.

[0217] Darüber hinaus kann es im Rahmen der vorliegenden Erfindung vorgesehen sein, dass die Aktivierungsvorrichtung mindestens eine Flussmitteleinrichtung und/oder Beizeinrichtung und gegebenenfalls eine mechanische Aktivierungseinrichtung umfasst.

[0218] Insbesondere kann die Flussmitteleinrichtung stromabwärts zur Beizeinrichtung und die Beizeinrichtung stromabwärts zur mechanischen Aktivierungseinrichtung angeordnet sein.

[0219] Gemäß einer besonderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung betrifft die Erfindung auch eine Anlage (System) zur Feuerverzinkung (Schmelztauchverzinkung) eines verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere eines eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere zur Regeneration und/oder Wiederaufbereitung und/oder Wiederverwendung eines verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere eine Anlage (System) zur Durchführung eines wie zuvor beschriebenen Verfahrens, insbesondere eine wie

zuvor beschriebene Anlage,

wobei die Anlage die folgenden Vorrichtungen in der nachfolgend aufgeführten Reihenfolge umfasst:

- eine Aktivierungsvorrichtung zur Aktivierung des verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere des eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils; nachgeschaltet und/oder im Verfahrensablauf stromabwärts hierzu angeordnet
- eine Feuerverzinkungsvorrichtung zur Feuerverzinkung des nach der ersten Feuerverzinkung erhaltenen Eisen- oder Stahlbauteils in einer Zinkschmelze;

wobei die Anlage außerdem mindestens eine Messvorrichtung zur Messung eines elektrischen Widerstands an der Oberfläche der Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, umfasst,

wobei die Aktivierungsvorrichtung mindestens eine Flussmitteleinrichtung und/oder Beizeinrichtung und gegebenenfalls eine mechanische Aktivierungseinrichtung umfasst.

[0220] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann die Messvorrichtung zur Messung eines elektrischen Widerstands an der Oberfläche der Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, insbesondere stromaufwärts von der Feuerverzinkungsvorrichtung angeordnet sein.

[0221] Auch kann die Messvorrichtung zur Messung eines elektrischen Widerstands an der Oberfläche der Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, insbesondere stromabwärts zu der Aktivierungsvorrichtung angeordnet sein.

[0222] Darüber hinaus kann es auch vorgesehen sein, dass die Messvorrichtung zur Messung eines elektrischen Widerstands an der Oberfläche der Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, stromaufwärts von der Feuerverzinkungsvorrichtung und stromabwärts zu der Aktivierungsvorrichtung angeordnet ist.

[0223] Weiterhin kann es vorgesehen sein, dass die Messvorrichtung zur Messung eines elektrischen Widerstands an der Oberfläche der Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, zur Messung des Deckschichtwiderstands, insbesondere des Polarisationswiderstands der Deckschicht (Zinkschicht bzw. Feuerverzinkungsschicht), ausgebildet ist.

[0224] Gemäß einer besonderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann eine weitere Messvorrichtung zur Messung eines elektrischen Widerstands an der Oberfläche der Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, stromaufwärts zu der Aktivierungsvorrichtung angeordnet sein.

[0225] Insbesondere kann die weitere Messvorrichtung zur Messung eines elektrischen Widerstands an der Oberfläche der Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, zur Messung des Deckschichtwiderstands, insbesondere des Polarisationswiderstands der Deckschicht (Zinkschicht bzw. Feuerverzinkungsschicht), ausgebildet sein.

[0226] Die erfindungsgemäße Anlage kann somit gemäß einer besonderen Ausführungsform mehrere Messvorrichtungen zur Messung eines elektrischen Widerstands aufweisen.

[0227] Auch kann es im Rahmen der vorliegenden Erfindung vorgesehen sein, dass stromabwärts zur Feuerverzinkungsvorrichtung eine Abkühlvorrichtung angeordnet ist.

[0228] Die optionale Abkühlvorrichtung kann beispielsweise zur Abkühlung mittels Luft und/oder in Gegenwart von Luft ausgebildet sein, und zwar vorzugsweise zur Abkühlung bis auf Umgebungstemperatur. Durch das Abkühlen ist die anschließende Handhabung einfacher und die gebildete Feuerverzinkungsschicht wird verfestigt.

[0229] Darüber hinaus kann in der erfindungsgemäßen Anlage stromabwärts zur Feuerverzinkungsvorrichtung eine Nachbearbeitungsvorrichtung angeordnet sein.

[0230] Insbesondere kann die Nachbearbeitungsvorrichtung stromabwärts zu der Abkühlvorrichtung angeordnet sein.

[0231] Folglich kann es insbesondere vorgesehen sein, dass die Nachbearbeitungsvorrichtung nach und/oder im Verfahrensablauf nachgeschaltet zu der Feuerverzinkungsvorrichtung und nach und/oder im Verfahrensablauf nachgeschaltet zu der Abkühlvorrichtung angeordnet ist.

[0232] Die Nachbearbeitungsvorrichtung kann beispielsweise zum Entfernen von überschüssigen Zinkbadrückständen, insbesondere sogenannte Tropfnasen des an den Kanten erstarrenden Zinks sowie Oxid- oder Ascherückstände, welche an dem Bauteil anhaften, sowie zum Passivieren oder Versiegeln der Oberfläche ausgebildet sein. Eine Nachbearbeitung erhöht insbesondere die Qualität der Feuerverzinkungsschicht.

[0233] Gemäß einer weiteren besonderen Ausführungsform kann die erfindungsgemäße Anlage derart ausgestaltet sein, dass, insbesondere stromaufwärts zur Messvorrichtung und/oder zur weiteren Messvorrichtung, außerdem eine Spektroskopievorrichtung angeordnet ist.

[0234] Insbesondere kann die Spektroskopievorrichtung zur Durchführung einer Messung mittels laserinduzierter Plasmaspektroskopie (LIBS) ausgebildet sein.

[0235] In diesem Zusammenhang kann die Spektroskopievorrichtung mindestens einen Laser und mindestens einen

Detektor, insbesondere ein Spektrometer, umfassen.

[0236] Wie zuvor im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ausgeführt, kann die Ermittlung der Zusammensetzung der Zinkschicht mittels laserinduzierter Plasmaspektroskopie (LIBS) erfolgen, wobei anschließend die Messung und/oder die Messparameter des elektrischen Widerstands an die Zusammensetzung der Zinkschicht angepasst werden.

[0237] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann es darüber hinaus vorgesehen sein, dass stromabwärts zur Aktivierungsvorrichtung eine Trocknungseinrichtung, insbesondere ein Ofen angeordnet ist.

[0238] Gemäß einer wiederum weiteren besonderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann stromaufwärts zur Aktivierungsvorrichtung eine Überprüfungsvorrichtung angeordnet sein.

[0239] Insbesondere kann die Überprüfungsvorrichtung zur optischen und/oder mechanischen und/oder induktiven und/oder elektrischen und/oder chemischen Überprüfung des verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere des eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, ausgebildet sein.

[0240] Außerdem kann die Überprüfungsvorrichtung mindestens eine Einrichtung zur optischen und/oder mechanischen und/oder induktiven und/oder elektrischen und/oder chemischen Überprüfung des verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere des eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, umfassen.

[0241] Gemäß einer nochmals weiteren besonderen Ausführungsform kann die Anlage die folgenden Vorrichtungen und Einrichtungen in der nachfolgend aufgeführten Reihenfolge umfassen:

(ÜV) gegebenenfalls mindestens eine Überprüfungsvorrichtung; nachgeschaltet und/oder im Verfahrensablauf stromabwärts hierzu angeordnet

(SV) gegebenenfalls eine Spektroskopievorrichtung; nachgeschaltet und/oder im Verfahrensablauf stromabwärts hierzu angeordnet

(MV') gegebenenfalls eine weitere Messvorrichtung; nachgeschaltet und/oder im Verfahrensablauf stromabwärts hierzu angeordnet

(AV) mindestens eine Aktivierungsvorrichtung, insbesondere wobei die Aktivierungsvorrichtung mindestens eine Flussmitteleinrichtung und/oder Beizeinrichtung und gegebenenfalls eine mechanische Aktivierungseinrichtung umfasst, insbesondere wobei die Flussmitteleinrichtung stromabwärts zur Beizeinrichtung und die Beizeinrichtung stromabwärts zur mechanische Aktivierungseinrichtung angeordnet ist; nachgeschaltet und/oder im Verfahrensablauf stromabwärts hierzu angeordnet

(TE) gegebenenfalls mindestens eine Trocknungseinrichtung, insbesondere Ofen; nachgeschaltet und/oder im Verfahrensablauf stromabwärts hierzu angeordnet

(SV) gegebenenfalls eine Spektroskopievorrichtung; nachgeschaltet und/oder im Verfahrensablauf stromabwärts hierzu angeordnet

(MV) mindestens eine Messvorrichtung; nachgeschaltet und/oder im Verfahrensablauf stromabwärts hierzu angeordnet

(FZ) mindestens eine Feuerverzinkungsvorrichtung; nachgeschaltet und/oder im Verfahrensablauf stromabwärts hierzu angeordnet

(AK) gegebenenfalls mindestens eine Abkühlvorrichtung; nachgeschaltet und/oder im Verfahrensablauf stromabwärts hierzu angeordnet

(NV) gegebenenfalls mindestens eine Nachbearbeitungsvorrichtung.

[0242] Für weitergehende Einzelheiten zu der erfindungsgemäßen Anlage gemäß dem zweiten Erfindungsaspekt kann auf die obigen Ausführungen in Bezug auf den ersten Erfindungsaspekt verwiesen werden, welche in entsprechender Weise auch für die erfindungsgemäße Anlage gemäß dem zweiten Erfindungsaspekt gelten.

[0243] Des Weiteren betrifft die vorliegende Erfindung - gemäß einem **dritten** Aspekt der vorliegenden Erfindung - ein feuerverzinktes (schmelztauchverzinktes) Eisen- oder Stahlbauteil, erhältlich nach einem zuvor beschriebenen Verfahren und/oder erhältlich in einer zuvor beschriebenen Anlage.

[0244] Auch betrifft die vorliegende Erfindung ein feuerverzinktes (schmelztauchverzinktes) Eisen- oder Stahlbauteil,

insbesondere ein wie zuvor beschriebenes feuerverzinktes Eisen- oder Stahlbauteil,

wobei das feuerverzinkte Eisen- oder Stahlbauteil dadurch erhältlich ist, dass ein verzinktes Eisen- oder Stahlbauteil, insbesondere ein eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisendes Eisen- oder Stahlbauteil, einer Aktivierungsbehandlung, insbesondere einer chemischen und/oder mechanischen Behandlung umfassenden Aktivierungsbehandlung, vorzugsweise einer mindestens eine chemische und gegebenenfalls (zusätzlich) eine mechanische Behandlung umfassenden Aktivierungsbehandlung, unterzogen worden ist derart und/oder mit der Maßgabe, dass das der Aktivierungsbehandlung unterzogene verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil einen elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht von höchstens $500 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, insbesondere bestimmt gemäß DIN EN ISO 17475 und/oder DIN 50918, insbesondere mittels potentiostatischer Polarisationsmessung, aufweist, und

wobei nachfolgend das der Aktivierungsbehandlung unterzogene verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil einer Feuerverzinkung unterzogen worden ist.

[0245] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann es insbesondere vorgesehen sein, dass das feuerverzinkte Eisen- oder Stahlbauteil eine (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht aufweist.

[0246] Dabei kann vorgesehen sein, dass das feuerverzinkte Eisen- oder Stahlbauteil auf dem Grundmaterial des Eisen- oder Stahlbauteils eine mehrphasige und/oder mehrschichtige, insbesondere mehrphasige, (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht aufweist.

[0247] Folglich liegt erfindungsgemäß typischerweise kein einheitlicher Feuerverzinkungsüberzug vor. Insbesondere sind mehrere Schichten bzw. intermetallischen Phasen in diesem Überzug enthalten. Insbesondere ist darunter im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung zu verstehen, dass keine einheitliche Zusammensetzung innerhalb dieses Überzugs besteht, sondern verschiedene Bereiche (d.h. Schichten oder Phasen) mit unterschiedlichen Zusammensetzungen, insbesondere unterschiedlichen Mengen der einzelnen Bestandteile (d.h. unterschiedliche Mengen an Zink, Aluminium, Eisen und gegebenenfalls weiteren Metallen), enthalten sind.

[0248] Auch kann in diesem Zusammenhang vorgesehen sein, dass das feuerverzinkte Eisen- oder Stahlbauteil eine zumindest teilweise mehrphasige und/oder zumindest teilweise geschichtete Feuerverzinkungsschicht mit Zn/Al/Fe-Phasen aufweist. Diese Zn/Al/Fe-Phasen können insbesondere Zn-, ZnAl-, ZnFe- und/oder AlFe-Phasen umfassen; dies ist insbesondere der Fall, wenn die entsprechende Feuerverzinkung unter Verwendung einer aluminiumlegierten bzw. aluminiumhaltigen Zinkschmelze durchgeführt wird.

[0249] Sofern bei der Herstellung von einer nicht-aluminiumlegierten bzw. nicht-aluminiumhaltigen Zinkschmelze bei der Feuerverzinkung ausgegangen wird, wird eine mehrphasige und/oder zumindest teilweise geschichtete (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht bereitgestellt, welche aus Zn- und ZnFe-Phasen besteht.

[0250] Die durch das erfindungsgemäße Verfahren erhältliche Feuerverzinkungsschicht weist hohe Korrosionsschutzeigenschaften und eine hohe Duktilität auf. Hinzu kommt, dass diese Feuerverzinkungsschicht sehr hell und somit optisch besonders hochwertig ist.

[0251] Weiterhin kann in diesem Zusammenhang vorgesehen sein, dass das feuerverzinkte Eisen- oder Stahlbauteil eine (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht mit einem Aluminium-Konzentrationsgradienten aufweist.

[0252] Des Weiteren kann in diesem Zusammenhang vorgesehen sein, dass die mehrphasige und/oder mehrschichtige, insbesondere mehrphasige, (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht einen Aluminium-Konzentrationsgradienten aufweist.

[0253] In diesem Zusammenhang ist unter dem erfindungsgemäß verwendeten Begriff des Aluminium-Konzentrationsgradienten insbesondere zu verstehen, dass die Konzentration an Aluminium in der (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht unregelmäßig verteilt ist bzw. nicht überall gleich ist, und zwar insbesondere derart, dass insbesondere außen eine besonders hohe Menge an Aluminium enthalten ist und darüber hinaus auch direkt bzw. unmittelbar am Grundmaterial eine erhöhte Aluminiummenge vorliegt. Insbesondere die erhöhte Aluminiummenge am Grundmaterial ist darauf zurückzuführen - ohne sich auf diese Theorie beschränken zu wollen -, dass eine hohe Affinität zwischen dem Aluminium und dem Eisen besteht, so dass ein Teil des Aluminiums zum Grundmaterial diffundiert. Mit anderen Worten ist daher die Aluminiumkonzentration insbesondere im Inneren bzw. in der "Mitte" der (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht verhältnismäßig gering.

[0254] Die (Gesamt-)Schichtdicke der (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht des feuerverzinkten Eisen- oder Stahlbauteils kann in weiteren Bereichen variieren:

Insbesondere kann das feuerverzinkte Eisen- oder Stahlbauteil eine (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht mit einer Gesamtschichtdicke von mindestens $30 \mu\text{m}$, insbesondere mindestens $35 \mu\text{m}$, bevorzugt mindestens $40 \mu\text{m}$, besonders bevorzugt mindestens $45 \mu\text{m}$, aufweisen.

[0255] Darüber hinaus kann das feuerverzinkte Eisen- oder Stahlbauteil eine (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht mit einer Gesamtschichtdicke von höchstens $500 \mu\text{m}$, insbesondere höchstens $450 \mu\text{m}$, bevorzugt höchstens $400 \mu\text{m}$,

besonders bevorzugt höchstens 300 µm, aufweisen.

[0256] Weiterhin kann das feuerverzinkte Eisen- oder Stahlbauteil eine (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht mit einer Gesamtschichtdicke im Bereich von 30 µm bis 500 µm, insbesondere im Bereich von 35 µm bis 450 µm, bevorzugt im Bereich von 40 µm bis 400 µm, besonders bevorzugt im Bereich von 45 µm bis 300 µm, aufweisen.

[0257] Gemäß einer besonderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann das feuerverzinkte Eisen- oder Stahlbauteil zumindest im Wesentlichen ohne Beeinträchtigung der Korrosionsschutzleistung 90°-biegbar ausgebildet sein.

[0258] Insbesondere ist darunter zu verstehen, dass die Korrosionsschutzleistung durch eine 90°-Biegung des feuerverzinkten Bauteils nicht bzw. zumindest im Wesentlichen nicht nachlässt. Insbesondere weist das feuerverzinkte Bauteil auch nach 90°-Biegung eine sehr hohe Korrosionsschutzleistung auf.

[0259] Gemäß einer weiteren besonderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung weist das feuerverzinkte Eisen- oder Stahlbauteil, insbesondere bei einer Grundmaterialdicke des Eisen- oder Stahlbauteils von mindestens 2 mm und einer Gesamtschichtdicke der (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht von mindestens 30 µm, nach 90°-Biegung bei einer Verweilzeit von mindestens 1.000 h, insbesondere mindestens 1.250 h, bevorzugt mindestens 1.500 h, besonders bevorzugt mindestens 1.750 h, ganz besonders bevorzugt mindestens 2.000 h, im Salzsprühnebeltest, insbesondere gemäß DIN EN ISO 9227, zumindest im Wesentlichen keine Rotrostbildung, bevorzugt keine Rotrostbildung, auf.

[0260] Im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung zeigt eine zuvor genannte Verweilzeit im Salzsprühnebeltest ohne Rotrostbildung eine hohe Korrosionsschutzleistung.

[0261] Bei Rotrost handelt es sich insbesondere um die Korrosionsprodukte des Eisens und Stahls (Eisenoxide) und zeigt eine Schädigung des durch die Feuerverzinkungsschicht originär zu schützenden Substrats an. Rotrost wird somit bei mangelndem Korrosionsschutz gebildet.

[0262] Insbesondere weist das feuerverzinkte Eisen- oder Stahlbauteil, insbesondere bei einer Gesamtfeuerverzinkungsschicht von mindestens 350 g/m², bei einer Verweilzeit von mindestens 1.000 h, insbesondere mindestens 2.000 h, bevorzugt mindestens 5.000 h, besonders bevorzugt mindestens 8.000 h, ganz besonders bevorzugt mindestens 10.000 h, im Salzsprühnebeltest, insbesondere gemäß DIN EN ISO 9227, zumindest im Wesentlichen keine Rotrostbildung, bevorzugt keine Rotrostbildung, auf.

[0263] Im Vergleich hierzu können feuerverzinkte Eisen- oder Stahlbauteile des Standes der Technik nur etwa 800 h im Salzsprühnebeltest gemäß DIN EN ISO 9227 verbleiben ohne Rotrostbildung bei einer Feuerverzinkungsschicht von sogar 550 g/m². Somit können die erfindungsgemäßen feuerverzinkte Eisen- oder Stahlbauteile eine längere Zeit im Salzsprühnebeltest gemäß DIN EN ISO 9227 verbleiben ohne Rotrostbildung und das sogar mit einer geringeren Schichtdicke der Feuerverzinkungsschicht.

[0264] Ohne sich auf diese Theorie beschränken zu wollen ist diese Verbesserung der Korrosionsschutzleistung auf den besonderen mehrschichtigen bzw. mehrphasigen Aufbau der (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht des erfindungsgemäßen feuerverzinkten Eisen- oder Stahlbauteils zurückzuführen, insbesondere auf das Vorliegen einer zumindest teilweise mehrphasige und/oder zumindest teilweise geschichtete Feuerverzinkungsschicht mit Zn/Al/Fe-Phasen.

[0265] Auch das erfindungsgemäße feuerverzinkte Eisen- oder Stahlbauteil ist mit einer Vielzahl von vollkommen unerwarteten Vorteilen, Besonderheiten und überraschenden technischen Effekten verbunden, deren nachfolgende Schilderung keinerlei Anspruch auf Vollständigkeit erhebt, aber den erfinderischen Charakter der vorliegenden Erfindung veranschaulicht:

Denn, wie die Anmelderin nun vollkommen überraschend herausgefunden hat, weist das feuerverzinkte Eisen- oder Stahlbauteil gemäß der Erfindung einen höheren Korrosionsschutz bei gleicher Dicke der Feuerverzinkungsschicht im Vergleich zu einer üblichen Reinzinkschicht auf.

[0266] Insbesondere weist das erfindungsgemäße feuerverzinkte Eisen- oder Stahlbauteil eine zumindest teilweise mehrphasige und/oder zumindest teilweise geschichtete (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht auf, welche aus Zn/Al/Fe-Phasen besteht. Die Feuerverzinkungsschicht weist hohe Korrosionsschutzeigenschaften und eine hohe Duktilität auf. Hinzu kommt, dass die Feuerverzinkungsschicht sehr hell und somit optisch besonders hochwertig ist.

[0267] Diese Zn/Al/Fe-Phasen können insbesondere Zn-, ZnAl-, ZnFe- und/oder AlFe-Phasen umfassen; dies ist insbesondere der Fall, wenn die Feuerverzinkung unter Verwendung einer aluminiumlegierten bzw. aluminiumhaltigen Zinkschmelze durchgeführt wird.

[0268] Sofern von einer nicht-aluminiumlegierten bzw. nicht-aluminiumhaltigen Zinkschmelze bei der Feuerverzinkung ausgegangen wird, wird eine mehrphasige und/oder zumindest teilweise geschichtete (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht bereitgestellt, welche aus Zn- und ZnFe-Phasen besteht.

[0269] Die durch das erfindungsgemäße Feuerverzinkungsschicht weist hohe Korrosionsschutzeigenschaften und eine hohe Duktilität auf. Hinzu kommt, dass diese Feuerverzinkungsschicht sehr hell und somit optisch besonders hochwertig ist.

[0270] Überraschenderweise ist die Zn/Al/Fe-Phasen enthaltende Feuerverzinkungsschicht des erfindungsgemäßen feuerverzinkten Bauteils nicht durch bekannte Verfahren erhältlich. Die Feuerverzinkungsschicht des erfindungsgemäßen feuerverzinkten Bauteils stellt somit andere und durch bekannte in einstufigen Verfahren erhältliche Feuerver-

zinkungsschichten nicht erreichbare Eigenschaften bereit.

[0271] Insbesondere ist die Feuerverzinkungsschicht des erfindungsgemäßen feuerverzinkten Bauteils duktiler und somit weniger spröde, als eine Reinzinkschicht und kann daher umgeformt bzw. kaltgeformt, beispielsweise um 90° gebogen werden, ohne dass die Korrosionsschutzeigenschaften verloren gehen oder signifikant beeinträchtigt werden.

Gleichzeitig kann die Feuerverzinkungsschicht des erfindungsgemäßen feuerverzinkten Bauteils mit einer höheren Schichtdicke bereitgestellt werden als eine konventionelle aluminiumhaltige bzw. aluminiumlegierte Zinkschicht (d. h. eine aluminiumhaltige bzw. aluminiumlegierte Zinkschicht, welche direkt bzw. unmittelbar auf ein Bauteil ohne vorhandene Zinkschicht aufgebracht wird), insbesondere da die Feuerverzinkungsschicht des erfindungsgemäßen feuerverzinkten Bauteils nicht durch eine maximal erreichbare Schichtdicke begrenzt ist (wie im Fall einer im Stand der Technik üblichen aluminiumhaltigen bzw. aluminiumlegierten Feuerverzinkungsschicht durch die Bildung einer Fe/Al-Sperrschicht).

[0272] Insbesondere ist die Schichtdicke der Feuerverzinkungsschicht des erfindungsgemäßen feuerverzinkten Bauteils im Wesentlichen nicht begrenzt, wie im Fall einer im Stand der Technik üblichen und durch eine einstufige Feuerverzinkung erhältlichen aluminiumhaltigen bzw. aluminiumlegierten Feuerverzinkungsschicht. Es können somit insbesondere auch Feuerverzinkungsschichten mit hoher Aluminiumanreicherung mit einer Dicke von deutlich über 25 µm bereitgestellt werden. Gleichzeitig weist die Feuerverzinkungsschicht des erfindungsgemäßen feuerverzinkten Bauteils auch die Vorteile einer aluminiumhaltigen bzw. aluminiumlegierten Feuerverzinkungsschicht auf, wie beispielsweise Glanz, Duktilität und hohe Korrosionsschutzeigenschaften.

[0273] Für weitergehende Einzelheiten zu dem erfindungsgemäßen feuerverzinkten Eisen- oder Stahlbauteil gemäß dem dritten Erfindungsaspekt kann auf die obigen Ausführungen in Bezug auf den ersten und zweiten Erfindungsaspekt verwiesen werden, welche in entsprechender Weise auch für das erfindungsgemäße feuerverzinkten Eisen- oder Stahlbauteil gemäß dem dritten Erfindungsaspekt gelten.

[0274] Schließlich sind weiterer Gegenstand der vorliegenden Erfindung - gemäß einem vierten Aspekt der vorliegenden Erfindung - die Verwendungen im Zusammenhang mit einem Feuerverzinkungsverfahren nach der vorliegenden Erfindung.

[0275] Insbesondere ist Gegenstand der vorliegenden Erfindung gemäß diesem Aspekt die Verwendung eines Feuerverzinkungsverfahrens zur Regeneration und/oder Wiederaufbereitung und/oder Wiederverwendung eines verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils,

wobei das verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil, insbesondere das eine Zinkschicht aufweisende Eisen- oder Stahlbauteil, vor der Feuerverzinkung einer Aktivierungsbehandlung, insbesondere einer chemischen und/oder mechanischen Behandlung umfassenden Aktivierungsbehandlung, vorzugsweise einer mindestens eine chemische und gegebenenfalls (zusätzlich) eine mechanische Behandlung umfassenden Aktivierungsbehandlung, unterzogen wird derart und/oder mit der Maßgabe, dass das der Aktivierungsbehandlung unterzogene verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil einen elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht von höchstens 500 kΩ • cm², insbesondere bestimmt gemäß DIN EN ISO 17475 und/oder DIN 50918, insbesondere mittels potentiostatischer Polarisationsmessung, aufweist, und

wobei nachfolgend das der Aktivierungsbehandlung unterzogene verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil einer Feuerverzinkung unterzogen wird.

[0276] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann somit ein verzinktes Eisen- oder Stahlbauteil regeneriert bzw. wiederaufbereitet bzw. wiederverwendet werden, insbesondere ohne dass die vorhandene Zinkschicht vollständig abgetragen werden muss. Dieses Vorgehen ist insbesondere, wie zuvor ausgeführt, besonders wirtschaftlich, ökologisch, ökonomisch, materialschonend, ressourcenschonend und mit einem geringen Aufwand verbunden.

[0277] Außerdem ist Gegenstand der vorliegenden Erfindung gemäß diesem Aspekt der vorliegenden Erfindung die Verwendung des elektrischen Widerstands an der Oberfläche einer Zinkschicht eines verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere eines Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, zur Einstellung einer Aktivierungsbehandlung, insbesondere einer chemischen und/oder mechanischen Behandlung umfassenden Aktivierungsbehandlung, vorzugsweise einer mindestens eine chemische und gegebenenfalls (zusätzlich) eine mechanische Behandlung umfassenden Aktivierungsbehandlung, zur Vorbereitung des verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere des eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, auf eine Feuerverzinkung,

insbesondere wobei die Art und/oder Dauer und/oder Intensität der Aktivierungsbehandlung in Abhängigkeit vom elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht des verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere des eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, erfolgt.

[0278] Insbesondere kann es vorgesehen sein, dass bei einem elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht von höchstens 500 kΩ • cm², insbesondere bestimmt gemäß DIN EN ISO 17475 und/oder DIN 50918,

insbesondere mittels potentiostatischer Polarisationsmessung, als Aktivierungsbehandlung zumindest eine Flussmittelbehandlung erfolgt.

[0279] Auch kann es vorgesehen sein, dass bei einem elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht von mehr als $500 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, insbesondere bestimmt gemäß DIN EN ISO 17475 und/oder DIN 50918, insbesondere mittels potentiostatischer Polarisationsmessung, als Aktivierungsbehandlung zumindest zunächst eine Beizbehandlung und anschließend eine Flussmittelbehandlung erfolgt, insbesondere wobei nach der Beizbehandlung und vor der Flussmittelbehandlung ein Spülvorgang erfolgt, insbesondere durch Eintauchen in ein Wasserbad.

[0280] Durch die Einstellung der Aktivierungsbehandlung anhand des elektrischen Widerstands der Oberfläche der Zinkschicht kann das Verfahren insgesamt besonders nachhaltig gestaltet werden. In diesem Zusammenhang ist der elektrische Widerstand insbesondere ein Maß der Güte der Zinkschicht und somit ein Maß des notwendigen Umfangs der Aktivierungsbehandlung.

[0281] Nochmals weiterer Gegenstand der vorliegenden Erfindung gemäß diesem Aspekt der vorliegenden Erfindung ist die Verwendung des elektrischen Widerstands an der Oberfläche einer Zinkschicht eines verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere einer Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, zur Bestimmung des Zustands und/oder der Güte der Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, für die Regeneration und/oder Wiederaufbereitung und/oder Wiederverwendung der Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils mittels nachfolgender Feuerverzinkung (Schmelztauchverzinkung).

[0282] In diesem Zusammenhang kann es vorgesehen sein, dass das verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil zur Vorbereitung auf die Feuerverzinkung einer Aktivierungsbehandlung, insbesondere einer chemischen und/oder mechanischen Behandlung umfassenden Aktivierungsbehandlung, vorzugsweise einer mindestens einer chemischen und gegebenenfalls (zusätzlich) einer mechanischen Behandlung umfassenden Aktivierungsbehandlung, unterzogen wird, wobei der elektrische Widerstand an der Oberfläche einer Zinkschicht zur Einstellung der Aktivierungsbehandlung verwendet und/oder herangezogen wird.

[0283] Insbesondere kann die Art und/oder Dauer und/oder Intensität der Aktivierungsbehandlung in Abhängigkeit vom elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht des verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere der Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, erfolgen.

[0284] Es hat sich insbesondere als vorteilhaft herausgestellt, wenn bei einem elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht von höchstens $500 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, insbesondere bestimmt gemäß DIN EN ISO 17475 und/oder DIN 50918, insbesondere mittels potentiostatischer Polarisationsmessung, als Aktivierungsbehandlung zumindest eine Flussmittelbehandlung erfolgt.

[0285] Darüber hinaus hat es sich auch als vorteilhaft herausgestellt, wenn bei einem elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht von mehr als $500 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, insbesondere bestimmt gemäß DIN EN ISO 17475 und/oder DIN 50918, insbesondere mittels potentiostatischer Polarisationsmessung, als Aktivierungsbehandlung zumindest zunächst eine Beizbehandlung und anschließend eine Flussmittelbehandlung erfolgt, insbesondere wobei nach der Beizbehandlung und vor der Flussmittelbehandlung ein Spülvorgang erfolgt, insbesondere durch Eintauchen in ein Wasserbad.

[0286] Für weitergehende Einzelheiten zu den erfindungsgemäßen Verwendungen gemäß dem vierten Erfindungsaspekt kann auf die obigen Ausführungen in Bezug auf die vorangehenden Erfindungsaspekte verwiesen werden, welche in entsprechender Weise auch für die erfindungsgemäßen Verwendungen gemäß dem vierten Erfindungsaspekt gelten.

[0287] Weitere Merkmale, Vorteile und Anwendungsmöglichkeiten der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen anhand von Zeichnungen und den Zeichnungen selbst. Dabei bilden alle beschriebenen und/oder bildlich dargestellten Merkmale für sich oder in beliebiger Kombination den Gegenstand der vorliegenden Erfindung, unabhängig von ihrer Zusammenfassung in den Ansprüchen und deren Rückbeziehungen.

[0288] Es zeigt:

Fig. 1 ein erfindungsgemäßes feuerverzinktes Eisen- oder Stahlbauteil gemäß einer besonderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung,

Fig. 2 eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Anlage gemäß einer besonderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0289] In Fig. 1 ist ein feuerverzinktes Eisen- oder Stahlbauteil 1 gemäß einer besonderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung dargestellt, wobei das Eisen- oder Stahlbauteil 1 eine auf dem Grundmaterial des Eisen- oder Stahlbauteils 2 aufgebrachte mehrschichtige (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht 3 aufweist. Die mehrschichtige bzw. mehrphasige Feuerverzinkungsschicht 3 umfasst eine zumindest teilweise mehrphasige und/oder zumindest teilweise geschichtete Feuerverzinkungsschicht mit Zn/Al/Fe-Phasen. Für weitergehende Einzelheiten kann auf die obigen Ausführungen verwiesen werden.

[0290] Fig. 2 zeigt eine Anlage zur Feuerverzinkung AZ gemäß einer besonderen Ausführungsform, wobei die

Vorrichtungen in der entsprechenden Reihenfolge bzw. Abfolge der durchzuführenden Verfahrensschritte (d.h. in der Reihenfolge bzw. Abfolge der Prozessrichtung) abgebildet sind: Die Anlage zur Feuerverzinkung AZ umfasst zunächst eine Überprüfungsvorrichtung ÜV, nachgeschaltet und/oder im Verfahrensablauf stromabwärts hierzu angeordnet eine Spektroskopievorrichtung SV, nachgeschaltet und/oder im Verfahrensablauf stromabwärts hierzu angeordnet eine weitere Messvorrichtung MV', nachgeschaltet und/oder im Verfahrensablauf stromabwärts hierzu angeordnet eine Aktivierungsvorrichtung AV, nachgeschaltet und/oder im Verfahrensablauf stromabwärts hierzu angeordnet eine Trocknungseinrichtung TE, nachgeschaltet und/oder im Verfahrensablauf stromabwärts hierzu angeordnet eine Spektroskopievorrichtung SV, nachgeschaltet und/oder im Verfahrensablauf stromabwärts hierzu angeordnet eine Messvorrichtung MV, nachgeschaltet und/oder im Verfahrensablauf stromabwärts hierzu angeordnet eine Feuerverzinkungsvorrichtung FZ, nachgeschaltet und/oder im Verfahrensablauf stromabwärts hierzu angeordnet eine Abkühlvorrichtung AK, nachgeschaltet und/oder im Verfahrensablauf stromabwärts hierzu angeordnet eine Nachbearbeitungsvorrichtung AV. Für weitergehende Einzelheiten kann auf die obigen Ausführungen verwiesen werden.

[0291] Weitere Ausgestaltungen, Abwandlungen und Variationen der vorliegenden Erfindung sind für den Fachmann beim Lesen der Beschreibung ohne Weiteres erkennbar und realisierbar, ohne dass er dabei den Rahmen der vorliegenden Erfindung verlässt.

[0292] Die vorliegende Erfindung wird anhand der nachfolgenden Ausführungsbeispiele veranschaulicht, welche die vorliegende Erfindung jedoch keinesfalls beschränken sollen, sondern lediglich beispielhafte und nicht limitierende Durchführungsweisen und Ausgestaltungen erläutern sollen.

AUSFÜHRUNGSBEISPIELE

Beispiel 1: Einfluss der Aktivierungsbehandlung auf die Zinkschichtdicke

[0293] Zur Untersuchung des Einflusses der Aktivierungsbehandlung auf die Zinkschichtdicke werden feuerverzinkte Stahlbleche mit der Größe 100 mm x 200 mm x 2 mm unterschiedlichen Aktivierungsbehandlungen ausgesetzt. Insbesondere wird der Abtrag der Zinkschicht untersucht.

[0294] Die feuerverzinkten Stahlbleche wurden in einem sogenannten Reinzinkbad gemäß DIN EN ISO 1461 und DASt-Richtlinie 022 verzinkt.

[0295] Anschließend erfolgt eine Aktivierungsbehandlung in einem der nachfolgenden Bäder A bis C und die Zinkschichtdicke über die Zeit wird ermittelt.

Tabelle 1: Verwendete Aktivierungsbäder

Inhaltsstoffe	Bad A	Bad B	Bad C
HCl [g/l]	30,6	13,5	42,3
HCl [%]	3,0	1,4	4,2
Fe [g/l]	3,42	1,73	13,4
Zn [g/l]	34,3	14,1	1,1

[0296] Bad A entspricht einem üblichen Entzinkungsbad mit niedriger Säure- und hoher Zinkkonzentration. Zur Ermittlung der Abtragsrate werden in einem Reinzinkbad verzinkte Stahlbleche in Bad A getaucht und die Schichtdicke wird in Zeitintervallen gemessen. Die entsprechenden Ergebnisse sind in Tabelle 2 dargestellt:

Tabelle 2: Zinkschichtdicke in Abhängigkeit der Zeit bei Tauchen in Bad A

Zeit [min]	Schichtdicke [μm]
0	76,34
3	74,76
6	73,14
9	69,86
12	68,00

[0297] Bad B entspricht einer abgeschwächten Variante von Bad A. Zur Ermittlung der Abtragsrate werden in einem Reinzinkbad verzinkten Stahlbleche in Bad B getaucht und die Schichtdicke wird in Zeitintervallen gemessen. Die

entsprechenden Ergebnisse sind in Tabelle 3 dargestellt:

Tabelle 3: Zinkschichtdicke in Abhängigkeit der Zeit bei Tauchen in Bad B

Zeit [min]	Schichtdicke [μm]
0	73,90
3	72,22
6	71,66
9	69,86
12	68,02

[0298] Bad C entspricht einer in üblichen Verzinkungsprozessen verwendeten Beize (d. h. hoher Eisen- und niedriger Zink-Gehalt). Zur Ermittlung der Abtragsrate werden in einem Reinzinkbad verzinkten Stahlbleche in Bad C getaucht und die Schichtdicke wird in Zeitintervallen gemessen. Die entsprechenden Ergebnisse sind in Tabelle 4 dargestellt:

Tabelle 4: Zinkschichtdicke in Abhängigkeit der Zeit bei Tauchen in Bad C

Zeit [min]	Schichtdicke [μm]
0	56,21
1	52,56
2	51,90
3	50,94
4	48,86

[0299] Insgesamt lassen sich aus den durchgeführten Versuchen die folgenden Abtragsraten ermitteln:

Tabelle 5: Abtragsraten

	Bad A	Bad B	Bad C
Abtragsrate [$\mu\text{m}/\text{min}$]	0,695	0,49	1,825

[0300] Insgesamt ist durch die Bäder A und B ein genaues bzw. gezieltes An- bzw. Abbeizen von verzinkten Komponenten gut möglich. Bei der Verwendung von Bad C ist ein genaues bzw. gezieltes An- bzw. Abbeizen von verzinkten Komponenten schwieriger. Jedoch ist es möglich mit Bad C größere Mengen an Verunreinigungen in kürzerer Zeit zu entfernen.

Beispiel 2: Abhängigkeit des Verzinkungsergebnisses vom elektrischen Widerstand

[0301] Der Zusammenhang zwischen dem elektrischen Widerstand der Oberfläche der Zinkschicht und dem Verzinkungsergebnis sowohl einer Feuerverzinkung in einem Reinzinkbad gemäß DIN 1461 als auch in einem aluminiumhaltigen bzw. aluminiumlegierten Zinkbad gemäß DIN 50997 werden untersucht.

[0302] Dazu werden Stahlbleche mit der Größe 150 mm x 200 mm x 2 mm in einem Reinzinkbad gemäß DIN 1461 verzinkt. Die Stahlbleche werden anschließend oxidativen Bedingungen und gegebenenfalls korrosiven Bedingungen ausgesetzt. Vor einer zweiten Verzinkung entweder in einem Reinzinkbad gemäß DIN 1461 oder in einem aluminiumhaltigen bzw. aluminiumlegierten Zinkbad gemäß DIN 50997 wird der Deckschichtwiderstand gemäß DIN EN ISO 17475 und DIN 50918 mittels potentiostatischer Polarisationsmessung und Verwendung eines Gel-Elektrolyten ermittelt und eine Aktivierungsbehandlung durchgeführt.

[0303] Als Aktivierungsbehandlung erfolgt entweder nur eine Flussmittelbehandlung oder eine Flussmittelbehandlung und eine Beizbehandlung mit zwischengeschaltetem Spülgang. Das im Rahmen der Flussmittelbehandlung verwendete Flussmittel ist wässrig basiert und weist die folgenden Inhaltsstoffe auf (Gewichtsangaben bezogen auf das Trockengewicht): 60 Gew.-% Zinkchlorid und 40 Gew.-% Ammoniumchlorid, wobei das Flussmittelbad einen pH-Wert von weniger als 5 aufweist. Die Beizbehandlung erfolgt mit einer salzsäurehaltigen Beize mit einem pH-Wert von weniger als 5.

[0304] Anschließend wird die erhaltene Zinkschicht auf Mängel bewertet, insbesondere ob die Zinkschicht gleichmäßig

und fehlerfrei ist.

Tabelle 6: Verzinkungsergebnisse

Versuch	Widerstand [$k\Omega cm^2$]	Aktivierungsbehandlung	Verzinkungsbad	Zinkschicht
V1	44,53	Flussmittel	Reinzink DIN 1461	ohne Mängel
V2	81,08	Flussmittel	Reinzink DIN 1461	ohne Mängel
V3	131,553	Flussmittel	Reinzink DIN 1461	ohne Mängel
V4	30,98	Flussmittel	Zn/Al DIN 50997	ohne Mängel
V5	105,06	Flussmittel	Zn/Al DIN 50997	ohne Mängel
V6	178,117	Flussmittel	Zn/Al DIN 50997	ohne Mängel
V7	504,53	Beize und Flussmittel	Reinzink DIN 1461	ohne Mängel
V8	581,08	Beize und Flussmittel	Reinzink DIN 1461	ohne Mängel
V9	631,553	Beize und Flussmittel	Zn/Al DIN 50997	ohne Mängel
V10	530,98	Beize und Flussmittel	Zn/Al DIN 50997	ohne Mängel
V11	605,06	Beize und Flussmittel	Zn/Al DIN 50997	ohne Mängel
V12	678,117	Beize und Flussmittel	Zn/Al DIN 50997	ohne Mängel
V13	504,53	Flussmittel	Reinzink DIN 1461	mangelhaft
V14	581,08	Flussmittel	Reinzink DIN 1461	mangelhaft
V15	631,553	Flussmittel	Zn/Al DIN 50997	mangelhaft
V16	530,98	Flussmittel	Zn/Al DIN 50997	mangelhaft
V17	605,06	Flussmittel	Zn/Al DIN 50997	mangelhaft
V18	678,117	Flussmittel	Zn/Al DIN 50997	mangelhaft

[0305] Eine mangelfreie Verzinkung sowohl in einem Reinzinkbad gemäß DIN 1461 oder in einem aluminiumhaltigen bzw. aluminiumlegierten Zinkbad gemäß DIN 50997 mit ausschließlich einer Flussmittelbehandlung als Aktivierungsbehandlung ist nur bei einem Deckschichtwiderstand gemäß DIN EN ISO 17475 und DIN 50918 von unter $500 k\Omega \cdot cm^2$ möglich. Bei einem Deckschichtwiderstand gemäß DIN EN ISO 17475 und DIN 50918 über $500 k\Omega \cdot cm^2$ ist eine Beizbehandlung und eine Flussmittelbehandlung notwendig, um eine Zinkschicht ohne Mängel zu erhalten.

Beispiel 2: Korrosionsschutzleistung

[0306] Zur Überprüfung der Korrosionsschutzleistung der gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren erhältlichen Feuerverzinkungsschichten werden mit einem Reinzinkbad gemäß DIN 1461 feuerverzinkte Stahlbleche mit der Größe $100 mm \times 200 mm \times 2 mm$ nach Lagerung bei oxidativen Bedingungen für 48 h gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren unter Verwendung eines aluminiumhaltigen bzw. aluminiumlegierten Zinkbads gemäß DIN 50997 feuerverzinkt. Da die Stahlbleche jeweils einen elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht von höchstens $500 k\Omega \cdot cm^2$, bestimmt gemäß DIN EN ISO 17475 und DIN 50918, aufweisen, erfolgt vor der Feuerverzinkung nur eine Flussmittelbehandlung. Das im Rahmen der Flussmittelbehandlung verwendete Flussmittel ist wässrig basiert und weist die folgenden Inhaltsstoffe auf (Gewichtsangaben bezogen auf das Trockengewicht): 60 Gew.-% Zinkchlorid und 40 Gew.-% Ammoniumchlorid, wobei das Flussmittelbad einen pH-Wert von weniger als 5 aufweist.

[0307] Mikroskopische Analysen zeigen, dass auf den gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren regenerierten bzw. wiederaufbereiteten Stahlblechen nicht zwei unterschiedliche bzw. separate Feuerverzinkungsschichten übereinander vorliegen, sondern vielmehr, dass die aluminiumhaltige bzw. aluminiumlegierte Zinkschmelze in die aus bereits vorhandene Feuerverzinkung Zinkschicht hineindiffundiert. Insgesamt liegt somit eine mehrschichtige (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht auf dem Grundmaterial des Eisen- oder Stahlbauteils vor, wobei eine zumindest teilweise zumindest teilweise mehrphasige und/oder zumindest teilweise geschichtete Feuerverzinkungsschicht mit Zn/Al/Fe-Phasen vorliegt und ein Aluminium-Gradient vorliegt.

[0308] Darüber hinaus werden neue (d. h. keine Zinkschicht aufweisende) Stahlbleche der Größe $100 mm \times 200 mm \times 2 mm$ gemäß üblichem Vorgehen in einem Reinzinkbad gemäß DIN 1461 oder in einem aluminiumhaltigen bzw. aluminiumlegierten Zinkbad gemäß DIN 50997 feuerverzinkt. Zuvor werden die Stahlbleche gemäß dem üblichen Vorgehen

entfettet, gespült, gebeizt, gespült, mit einem Flussmittel behandelt und getrocknet.

[0309] Anschließend werden alle Zinkbleche mit einer ZINQ® duropass-Passivierung behandelt (Passivierung mit Chrom(III)).

[0310] Zur Überprüfung der Korrosionsschutzleistung werden die Stahlbleche in gerader bzw. nicht bearbeiteter Form einerseits und nach dem Biegen um 90° (d.h. nach Kaltformung) andererseits jeweils im Salzsprühnebeltest gemäß DIN EN ISO 9227 für 1008 h geprüft. Ermittelt wird anschließend die Menge an auf der Oberfläche gebildetem Weißrost und Rotrost, wobei der Anteil der Oberfläche angegeben ist, welcher Weißrost bzw. Rotrost aufweist.

Tabelle 7: Ergebnisse der geraden Bleche

Verfahren	Regeneration der Zinkschicht (erfindungsgemäß)	Zn-Schmelze (DIN 1461)	Zn/Al-Schmelze (DIN 50997)
Schichtdicke	76,5 µm	68,6 µm	6,9 µm
Weißrost	40 - 50 %	90 - 95 %	5 - 10 %
Rotrost	0 %	0,5 - 1 %	≤ 0,5 %

Tabelle 8: Ergebnisse der um 90° gebogenen Bleche

Verfahren	Regeneration der Zinkschicht (erfindungsgemäß)	Zn-Schmelze (DIN 1461)	Zn/Al-Schmelze (DIN 50997)
Schichtdicke	46,2 µm	68,2 µm	6,8 µm
Weißrost	20 %	90 - 95 %	5 - 10 %
Rotrost	0 %	1 - 2,5 %	5%

[0311] Bei dem gebildeten Weißrost handelt es sich um die Korrosionsprodukte des Zinks (Zinkoxid, Zinkhydroxid, Zinkcarbonat und dergleichen), dieser wirkt sich nur auf den optischen Eindruck aus; es handelt sich somit um keinen Materialschaden, da das Grundmaterial unversehrt bzw. unkorrodiert verbleibt. Bei dem gebildeten Rotrost hingegen handelt es sich um die Korrosionsprodukte des eisen- bzw. stahlbasierten Grundmaterials bzw. Bauteils (nämlich um Eisenoxide), was einen Materialschaden anzeigt; Rotrost wird somit nur bei mangelndem Korrosionsschutz gebildet.

[0312] Wie aus den Ergebnissen in den Tabellen 7 und 8 ersichtlich, weisen weder die geraden noch die umgeformten mit dem erfindungsgemäßen Feuerverzinkungsverfahren regenerierten bzw. wiederaufbereiteten Bauteile Rotrost nach 1.008 h im Salzsprühnebeltest auf. Dagegen bildet sich auf der Oberfläche sowohl der in der Zn-Schmelze als auch der in der Zn/Al-Schmelze feuerverzinkten Bauteilen Rotrost sowohl bei den geraden als auch bei den umgeformten Bauteilen aus. Dies ist - ohne sich auf diese Theorie beschränken zu wollen - auf den speziellen zuvor beschriebenen Schichtaufbau zurückzuführen.

Aspekte der vorliegenden Erfindung:

[0313] Die vorliegende Erfindung wird durch die nachfolgenden Aspekte 1 bis 73 weiterführend beschrieben und charakterisiert:

1. Verfahren zur Feuerverzinkung (Schmelztauchverzinkung) eines verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere eines eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere zur Regeneration und/oder Wiederaufbereitung und/oder Wiederverwendung eines verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils,

wobei das verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil, insbesondere das eine Zinkschicht aufweisende Eisen- oder Stahlbauteil, vor der Feuerverzinkung einer Aktivierungsbehandlung, insbesondere einer chemischen und/oder mechanischen Behandlung umfassenden Aktivierungsbehandlung, vorzugsweise einer mindestens eine chemische und gegebenenfalls (zusätzlich) eine mechanische Behandlung umfassenden Aktivierungsbehandlung, unterzogen wird derart und/oder mit der Maßgabe, dass das der Aktivierungsbehandlung unterzogene verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil einen elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht von höchstens 500 kΩ • cm², insbesondere bestimmt gemäß DIN EN ISO 17475 und/oder DIN 50918, insbesondere mittels potentiostatischer Polarisationsmessung, aufweist, und

wobei nachfolgend das der Aktivierungsbehandlung unterzogene verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil, insbesondere das eine Zinkschicht aufweisende Eisen- oder Stahlbauteil, einer Feuerverzinkung unterzogen wird.

2. Verfahren nach Aspekt 1,

wobei die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze, bezogen auf die Zinkschmelze, höchstens 98 Gew.-%, insbesondere höchstens 97 Gew.-%, bevorzugt höchstens 96 Gew.-%, Zink enthält; und/oder wobei die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze, bezogen auf die Zinkschmelze, Zink in Mengen im Bereich von 55 Gew.-% bis 98 Gew.-%, insbesondere im Bereich von 65 Gew.-% bis 97 Gew.-%, bevorzugt im Bereich von 75 Gew.-% bis 96 Gew.-%, enthält.

3. Verfahren nach Aspekt 1 oder Aspekt 2,

wobei die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze eine aluminiumlegierte und/oder aluminiumhaltige Zinkschmelze ("Zn/Al-Schmelze") ist;

insbesondere wobei die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze, insbesondere die aluminiumlegierte und/oder aluminiumhaltige Zinkschmelze ("Zn/Al-Schmelze"), bezogen auf die Zinkschmelze, mindestens 2 Gew.-%, insbesondere mindestens 3 Gew.-%, bevorzugt mindestens 4 Gew.-%, Aluminium enthält; und/oder

insbesondere wobei die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze, insbesondere die aluminiumlegierte und/oder aluminiumhaltige Zinkschmelze ("Zn/Al-Schmelze"), bezogen auf die Zinkschmelze, höchstens 45 Gew.-%, insbesondere höchstens 25 Gew.-%, bevorzugt höchstens 8 Gew.-%, besonders bevorzugt höchstens 6 Gew.-%, Aluminium enthält; und/oder

insbesondere wobei die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze, insbesondere die aluminiumlegierte und/oder aluminiumhaltige Zinkschmelze ("Zn/Al-Schmelze"), bezogen auf die Zinkschmelze, Aluminium in Mengen im Bereich von 2 Gew.-% bis 45 Gew.-%, insbesondere im Bereich von 2 Gew.-% bis 25 Gew.-%, bevorzugt im Bereich von 3 Gew.-% bis 8 Gew.-%, besonders bevorzugt im Bereich von 4 Gew.-% bis 6 Gew.-%, enthält.

4. Verfahren nach einem der vorangehenden Aspekte,

wobei die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze, bezogen auf die Zinkschmelze, höchstens 98 Gew.-% Zink und mindestens 2 Gew.-% Aluminium enthält.

5. Verfahren nach einem der vorangehenden Aspekte,

wobei die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze, bezogen auf die Zinkschmelze, höchstens 98 Gew.-%, insbesondere höchstens 97 Gew.-%, bevorzugt höchstens 96 Gew.-%, Zink enthält und

wobei die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze, bezogen auf die Zinkschmelze, mindestens 2 Gew.-%, insbesondere mindestens 3 Gew.-%, bevorzugt mindestens 4 Gew.-%, Aluminium enthält.

6. Verfahren nach einem der vorangehenden Aspekte,

wobei die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze, bezogen auf die Zinkschmelze, Zink in Mengen im Bereich von 55 Gew.-% bis 98 Gew.-% und Aluminium in Mengen im Bereich von 2 Gew.-% bis 45 Gew.-% enthält.

7. Verfahren nach einem der vorangehenden Aspekte,

wobei die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze, bezogen auf die Zinkschmelze, Zink in Mengen im Bereich von 55 Gew.-% bis 98 Gew.-%, insbesondere im Bereich von 65 Gew.-% bis 97 Gew.-%, bevorzugt im Bereich von 75 Gew.-% bis 96 Gew.-%, enthält und

wobei die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze, bezogen auf die Zinkschmelze, Aluminium in Mengen im Bereich von 2 Gew.-% bis 45 Gew.-%, insbesondere im Bereich von 2 Gew.-% bis 25 Gew.-%, bevorzugt im Bereich von 3 Gew.-% bis 8 Gew.-%, besonders bevorzugt im Bereich von 4 Gew.-% bis 6 Gew.-%, enthält.

8. Verfahren zur Feuerverzinkung (Schmelztauchverzinkung) eines verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere eines eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere zur Regeneration und/oder Wiederaufbereitung und/oder Wiederverwendung eines verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere Verfahren nach einem der vorangehenden Aspekte,

wobei das verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil, insbesondere das eine Zinkschicht aufweisende Eisen- oder Stahlbauteil, vor der Feuerverzinkung einer Aktivierungsbehandlung, insbesondere einer chemischen und/oder mechanischen Behandlung umfassenden Aktivierungsbehandlung, vorzugsweise einer mindestens eine chemische und gegebenenfalls (zusätzlich) eine mechanische Behandlung umfassenden Aktivierungsbehandlung, unterzogen wird, und

wobei nachfolgend das der Aktivierungsbehandlung unterzogene verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil, insbesondere das eine Zinkschicht aufweisende Eisen- oder Stahlbauteil, einer Feuerverzinkung unterzogen wird, wobei die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze, bezogen auf die Zinkschmelze, höchstens 98 Gew.-% Zink und gegebenenfalls mindestens 2 Gew.-% Aluminium enthält.

9. Verfahren nach Aspekt 8,

wobei die Aktivierungsbehandlung durchgeführt wird derart und/oder mit der Maßgabe, dass das der Aktivierungsbehandlung unterzogene verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil einen elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht von höchstens $500 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, insbesondere bestimmt gemäß DIN EN ISO 17475 und/oder DIN 50918, insbesondere mittels potentiostatischer Polarisationsmessung, aufweist.

10. Verfahren zur Feuerverzinkung (Schmelztauchverzinkung) eines verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere eines eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere zur Regeneration und/oder Wiederaufbereitung und/oder Wiederverwendung eines verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere Verfahren nach einem der vorangehenden Aspekte,

wobei das verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil einer Feuerverzinkung unterzogen wird, wobei die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze, bezogen auf die Zinkschmelze, höchstens 98 Gew.-% Zink und gegebenenfalls mindestens 2 Gew.-% Aluminium enthält.

11. Verfahren nach Aspekt 10,

wobei das verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil, insbesondere das eine Zinkschicht aufweisende Eisen- oder Stahlbauteil, vor der Feuerverzinkung einer Aktivierungsbehandlung, insbesondere einer chemischen und/oder mechanischen Behandlung umfassenden Aktivierungsbehandlung, vorzugsweise einer mindestens eine chemische und gegebenenfalls (zusätzlich) eine mechanische Behandlung umfassenden Aktivierungsbehandlung, unterzogen wird, insbesondere derart und/oder mit der Maßgabe, dass das der Aktivierungsbehandlung unterzogene verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil einen elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht von höchstens $500 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, insbesondere bestimmt gemäß DIN EN ISO 17475 und/oder DIN 50918, insbesondere mittels potentiostatischer Polarisationsmessung, aufweist.

12. Verfahren zur Feuerverzinkung (Schmelztauchverzinkung) eines verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere eines eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere zur Regeneration und/oder Wiederaufbereitung und/oder Wiederverwendung eines verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere Verfahren nach einem der vorangehenden Aspekte,

wobei das verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil, insbesondere das eine Zinkschicht aufweisende Eisen- oder Stahlbauteil, vor der Feuerverzinkung einer Aktivierungsbehandlung, insbesondere einer chemischen und/oder mechanischen Behandlung umfassenden Aktivierungsbehandlung, vorzugsweise einer mindestens eine chemische und gegebenenfalls (zusätzlich) eine mechanische Behandlung umfassenden Aktivierungsbehandlung, unterzogen wird derart und/oder mit der Maßgabe, dass das der Aktivierungsbehandlung unterzogene verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil einen elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht von höchstens $500 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, insbesondere bestimmt gemäß DIN EN ISO 17475 und/oder DIN 50918, insbesondere mittels potentiostatischer Polarisationsmessung, aufweist, und

wobei nachfolgend das der Aktivierungsbehandlung unterzogene verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil einer Feuerverzinkung unterzogen wird, wobei die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze, bezogen auf die Zinkschmelze, höchstens 98 Gew.-% Zink und gegebenenfalls mindestens 2 Gew.-% Aluminium enthält.

13. Verfahren nach einem der Aspekte 8 bis 12,

wobei die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze, bezogen auf die Zinkschmelze, höchstens 98 Gew.-%, insbesondere höchstens 97 Gew.-%, bevorzugt höchstens 96 Gew.-%, Zink enthält; und/oder
wobei die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze, bezogen auf die Zinkschmelze, Zink in Mengen im Bereich von 55 Gew.-% bis 98 Gew.-%, insbesondere im Bereich von 65 Gew.-% bis 97 Gew.-%, bevorzugt im Bereich von 75 Gew.-% bis 96 Gew.-%, enthält.

14. Verfahren nach einem der Aspekte 8 bis 13,

wobei die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze eine aluminiumlegierte und/oder aluminiumhaltige Zinkschmelze ("Zn/Al-Schmelze") ist;

insbesondere wobei die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze, insbesondere die aluminiumlegierte und/oder aluminiumhaltige Zinkschmelze ("Zn/Al-Schmelze"), bezogen auf die Zinkschmelze, mindestens 2 Gew.-%, insbesondere mindestens 3 Gew.-%, bevorzugt mindestens 4 Gew.-%, Aluminium enthält; und/oder

insbesondere wobei die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze, insbesondere die aluminiumlegierte und/oder aluminiumhaltige Zinkschmelze ("Zn/Al-Schmelze"), bezogen auf die Zinkschmelze, höchstens 45 Gew.-%, insbesondere höchstens 25 Gew.-%, bevorzugt höchstens 8 Gew.-%, besonders bevorzugt höchstens 6 Gew.-%, Aluminium enthält; und/oder

insbesondere wobei die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze, insbesondere die aluminiumlegierte und/oder aluminiumhaltige Zinkschmelze ("Zn/Al-Schmelze"), bezogen auf die Zinkschmelze, Aluminium in Mengen im Bereich von 2 Gew.-% bis 45 Gew.-%, insbesondere im Bereich von 2 Gew.-% bis 25 Gew.-%, bevorzugt im Bereich von 3 Gew.-% bis 8 Gew.-%, besonders bevorzugt im Bereich von 4 Gew.-% bis 6 Gew.-%, enthält.

15. Verfahren nach einem der Aspekte 8 bis 14,

wobei die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze, bezogen auf die Zinkschmelze, höchstens 98 Gew.-% Zink und mindestens 2 Gew.-% Aluminium enthält.

16. Verfahren nach einem der Aspekte 8 bis 15,

wobei die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze, bezogen auf die Zinkschmelze, höchstens 98 Gew.-%, insbesondere höchstens 97 Gew.-%, bevorzugt höchstens 96 Gew.-%, Zink enthält und

wobei die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze, bezogen auf die Zinkschmelze, mindestens 2 Gew.-%, insbesondere mindestens 3 Gew.-%, bevorzugt mindestens 4 Gew.-%, Aluminium enthält.

17. Verfahren nach einem der Aspekte 8 bis 16,

wobei die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze, bezogen auf die Zinkschmelze, Zink in Mengen im Bereich von 55 Gew.-% bis 98 Gew.-% und Aluminium in Mengen im Bereich von 2 Gew.-% bis 45 Gew.-% enthält.

18. Verfahren nach einem der Aspekte 8 bis 17,

wobei die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze, bezogen auf die Zinkschmelze, Zink in Mengen im Bereich von 55 Gew.-% bis 98 Gew.-%, insbesondere im Bereich von 65 Gew.-% bis 97 Gew.-%, bevorzugt im Bereich von 75 Gew.-% bis 96 Gew.-%, enthält und

wobei die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze, bezogen auf die Zinkschmelze, Aluminium in Mengen im Bereich von 2 Gew.-% bis 45 Gew.-%, insbesondere im Bereich von 2 Gew.-% bis 25 Gew.-%, bevorzugt im Bereich von 3 Gew.-% bis 8 Gew.-%, besonders bevorzugt im Bereich von 4 Gew.-% bis 6 Gew.-%, enthält.

19. Verfahren nach einem der vorangehenden Aspekte,

wobei die in der Feuerverzinkung eingesetzte aluminiumlegierte und/oder aluminiumhaltige Zinkschmelze ("Zn/Al-Schmelze") die folgende Zusammensetzung aufweist, wobei alle nachfolgend genannten Mengenangaben auf die

aluminiumlegierte und/oder aluminiumhaltige Zinkschmelze ("Zn/Al-Schmelze") bezogen sind und derart auszuwählen sind, dass insgesamt 100 Gew.-% resultieren:

- (i) Zink (Zn), insbesondere in Mengen im Bereich von 55 Gew.-% bis 98 Gew.-%, insbesondere im Bereich von 65 Gew.-% bis 97 Gew.-%, bevorzugt im Bereich von 75 Gew.-% bis 96 Gew.-%,
- (ii) Aluminium (Al), insbesondere in Mengen im Bereich von 2 Gew.-% bis 45 Gew.-%, insbesondere im Bereich von 3 Gew.-% bis 8 Gew.-%, bevorzugt im Bereich von 4 Gew.-% bis 6 Gew.-%,
- (iii) gegebenenfalls Magnesium (Mg), insbesondere in Mengen im Bereich von 0,1 Gew.-% bis 10 Gew.-%, insbesondere im Bereich von 0,1 Gew.-% bis 3 Gew.-%, bevorzugt im Bereich von 0,1 Gew.-% bis 2 Gew.-%;
- (iii) gegebenenfalls mindestens ein weiteres Metall, insbesondere in (Gesamt-)Mengen von bis zu 10 Gew.-% und/oder insbesondere ausgewählt aus der Gruppe von Bismut (Bi), Blei (Pb), Zinn (Sn), Nickel (Ni), Silizium (Si) sowie deren Kombinationen.

20. Verfahren nach einem der vorangehenden Aspekte,

wobei die in der Feuerverzinkung eingesetzte aluminiumlegierte und/oder aluminiumhaltige Zinkschmelze ("Zn/Al-Schmelze") eine Temperatur im Bereich von 330 °C bis 750 °C, insbesondere im Bereich von 340 °C bis 600 °C, bevorzugt im Bereich von 350 °C bis 465 °C, besonders bevorzugt im Bereich von 415 °C bis 455 °C, aufweist.

21. Verfahren nach einem der vorangehenden Aspekte,

wobei das verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil in die in der Feuerverzinkung eingesetzte aluminiumlegierte und/oder aluminiumhaltige Zinkschmelze ("Zn/Al-Schmelze") getaucht, insbesondere hierin getaucht und bewegt, wird, insbesondere für eine Zeitdauer, welche ausreichend ist, um eine wirksame Feuerverzinkung (Schmelztauchverzinkung), zu gewährleisten, insbesondere für eine Zeitdauer im Bereich von 0,0001 bis 60 Minuten, insbesondere im Bereich von 0,001 bis 45 Minuten, bevorzugt im Bereich von 0,5 bis 30 Minuten, besonders bevorzugt im Bereich von 4 bis 8 Minuten; und/oder

wobei das verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil in die in der Feuerverzinkung eingesetzte aluminiumlegierte und/oder aluminiumhaltige Zinkschmelze ("Zn/Al-Schmelze") getaucht, insbesondere hierin getaucht und bewegt, wird, insbesondere für eine Zeitdauer, welche ausreichend ist, um eine wirksame Feuerverzinkung (Schmelztauchverzinkung), insbesondere für eine Zeitdauer von mindestens 0,0001 Minuten, insbesondere mindestens 0,001 Minuten, bevorzugt mindestens 0,5 Minuten, besonders bevorzugt mindestens 4 Minuten; und/oder

wobei das verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil in die in der Feuerverzinkung eingesetzte aluminiumlegierte und/oder aluminiumhaltige Zinkschmelze ("Zn/Al-Schmelze") getaucht, insbesondere hierin getaucht und bewegt, wird, insbesondere für eine Zeitdauer, welche ausreichend ist, um eine wirksame Feuerverzinkung (Schmelztauchverzinkung), insbesondere für eine Zeitdauer von höchstens 60 Minuten, insbesondere höchstens 45 Minuten, bevorzugt höchstens 30 Minuten, besonders bevorzugt höchstens 8 Minuten.

22. Verfahren nach einem der vorangehenden Aspekte,

wobei nach der Feuerverzinkung eine (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht vorliegt;

insbesondere wobei bei der Feuerverzinkung eine mehrphasige und/oder mehrschichtige, insbesondere mehrphasige, (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht auf dem Grundmaterial des Eisen- oder Stahlbauteils gebildet wird; und/oder

insbesondere wobei bei der Feuerverzinkung eine zumindest teilweise mehrphasige und/oder zumindest teilweise geschichtete Feuerverzinkungsschicht mit Zn/Al/Fe-Phasen gebildet wird; und/oder

insbesondere wobei die Feuerverzinkung derart und/oder mit der Maßgabe durchgeführt wird, dass die aluminiumhaltige und/oder aluminiumlegierte Zinkschmelze ("Zn/Al-Schmelze") zumindest teilweise in die bereits vorhandene Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, des Bauteils hineindiffundiert; und/oder

insbesondere wobei die Feuerverzinkung mit der Maßgabe und/oder derart durchgeführt wird, dass eine (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht mit einem Aluminium-Konzentrationsgradienten gebildet wird.

23. Verfahren nach einem der vorangehenden Aspekte,

wobei die Gesamtschichtdicke der nach Durchführung des Verfahrens resultierenden (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht mindestens 30 μm , insbesondere mindestens 35 μm , bevorzugt mindestens 40 μm , besonders bevorzugt mindestens 45 μm , beträgt; und/oder

wobei die Gesamtschichtdicke der nach Durchführung des Verfahrens resultierenden (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht höchstens 500 μm , insbesondere höchstens 450 μm , bevorzugt höchstens 400 μm , besonders bevorzugt höchstens 300 μm , beträgt; und/oder

wobei die Gesamtschichtdicke der nach Durchführung des Verfahrens resultierenden (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht im Bereich von 30 μm bis 500 μm , insbesondere im Bereich von 35 μm bis 450 μm , bevorzugt im Bereich von 40 μm bis 400 μm , besonders bevorzugt im Bereich von 45 μm bis 300 μm , liegt; und/oder

wobei die Feuerverzinkung derart und/oder mit der Maßgabe durchgeführt wird, dass die Gesamtschichtdicke der nach Durchführung des Verfahrens resultierenden (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht im Bereich von 30 μm bis 500 μm , insbesondere im Bereich von 35 μm bis 450 μm , bevorzugt im Bereich von 40 μm bis 400 μm , besonders bevorzugt im Bereich von 45 μm bis 300 μm , liegt.

24. Verfahren nach einem der vorangehenden Aspekte,

wobei nach der Feuerverzinkung eine Abkühlbehandlung erfolgt; und/oder

wobei das nach der Feuerverzinkung erhaltene Eisen- oder Stahlbauteil einer Abkühlbehandlung unterzogen wird; und/oder

wobei nach der Feuerverzinkung eine Nachbearbeitungsbehandlung erfolgt; und/oder

wobei das nach der Feuerverzinkung erhaltene Eisen- oder Stahlbauteil einer Nachbearbeitungsbehandlung unterzogen wird.

25. Verfahren nach einem der vorangehenden Aspekte,

wobei das der Aktivierungsbehandlung unterzogene verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil einen elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht von höchstens 500 $\text{k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, insbesondere höchstens 300 $\text{k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, bevorzugt höchstens 250 $\text{k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, besonders bevorzugt höchstens 200 $\text{k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, insbesondere bestimmt gemäß DIN EN ISO 17475 und/oder DIN 50918, insbesondere mittels potentiostatischer Polarisationsmessung, aufweist; und/oder

wobei das der Aktivierungsbehandlung unterzogene verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil einen elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht im Bereich von 0,0001 $\text{k}\Omega \cdot \text{cm}^2$ bis 500 $\text{k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, insbesondere im Bereich von 0,0001 $\text{k}\Omega \cdot \text{cm}^2$ bis 300 $\text{k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, bevorzugt im Bereich von 0,0001 $\text{k}\Omega \cdot \text{cm}^2$ bis 250 $\text{k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, besonders bevorzugt im Bereich von 0,0001 $\text{k}\Omega \cdot \text{cm}^2$ bis 200 $\text{k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, insbesondere bestimmt gemäß DIN EN ISO 17475 und/oder DIN 50918, insbesondere mittels potentiostatischer Polarisationsmessung, aufweist.

26. Verfahren nach einem der vorangehenden Aspekte,

wobei der elektrische Widerstand der Deckschichtwiderstand, insbesondere der Polarisationswiderstand der Deckschicht (Zinkschicht bzw. Feuerverzinkungsschicht), ist.

27. Verfahren nach einem der vorangehenden Aspekte,

wobei das verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil, insbesondere das eine Zinkschicht aufweisende Eisen- oder Stahlbauteil, an mindestens einer Oberfläche zumindest teilweise, insbesondere vollständig, verzinkt ist, insbesondere eine Zinkschicht aufweist.

28. Verfahren nach einem der vorangehenden Aspekte,

wobei die Aktivierungsbehandlung mindestens eine chemische und gegebenenfalls (zusätzlich) eine mechanische Behandlung umfasst;

insbesondere wobei die chemische Behandlung mindestens eine Beizbehandlung und/oder Flussmittelbehandlung umfasst; und/oder

insbesondere wobei die chemische Behandlung durch eine wässrige salzhaltige Lösung erfolgt, insbesondere mit einem pH-Wert von weniger als 5; und/oder

insbesondere wobei die chemische Behandlung für eine Zeitdauer im Bereich von 1 Sekunde bis 60 min, insbesondere im Bereich von 5 Sekunden bis 45 min, bevorzugt im Bereich von 10 Sekunden bis 30 min, erfolgt.

29. Verfahren nach einem der vorangehenden Aspekte,

wobei die chemische Behandlung mittels Flussmittelbehandlung in einer Flussmittelzusammensetzung in einem Flussmittelbad erfolgt;

insbesondere wobei das Flussmittelbad der chemischen Behandlung eine wässrige und/oder alkoholische, insbesondere wässrige, flüssige Phase umfasst, wobei die flüssige Phase des Flussmittelbads die Flussmittelzusammensetzung enthält, insbesondere in gelöster oder dispergierter Form, vorzugsweise in gelöster Form, und/oder

insbesondere wobei die Flussmittelzusammensetzung der chemischen Behandlung als Inhaltsstoffe Salze und gegebenenfalls Netzmittel umfasst, insbesondere wobei die Salze ausgewählt sind aus der Gruppe von Chloriden, vorzugsweise aus der Gruppe von Zinkchlorid (ZnCl_2), Ammoniumchlorid (NH_4Cl), Alkali- und/oder Erdalkalichloriden, insbesondere Kaliumchlorid (KCl) und/oder Natriumchlorid (NaCl), Aluminiumchlorid (AlCl_3), Silberchlorid (AgCl), Bleichlorid (PbCl_2), Nickelchlorid (NiCl_2), Bismutchlorid (BiCl_3), Zinnchlorid (SnCl_2), Manganchlorid (MnCl_2), Cobaltchlorid (CoCl_2) sowie deren Kombinationen; und/oder

insbesondere wobei die Flussmittelzusammensetzung der chemischen Behandlung als Inhaltsstoffe Zinkchlorid (ZnCl_2) und gegebenenfalls mindestens ein Alkali- und/oder Erdalkalichlorid, insbesondere Kaliumchlorid (KCl) und/oder Natriumchlorid (NaCl), sowie gegebenenfalls Netzmittel und gegebenenfalls mindestens ein weiteres, von den vorgenannten Verbindungen verschiedenes Salz, ausgewählt aus der Gruppe von Chloriden, vorzugsweise aus der Gruppe von Ammoniumchlorid (NH_4Cl), Aluminiumchlorid (AlCl_3), Silberchlorid (AgCl), Bleichlorid (PbCl_2), Nickelchlorid (NiCl_2), Bismutchlorid (BiCl_3), Zinnchlorid (SnCl_2), Manganchlorid (MnCl_2), Cobaltchlorid (CoCl_2) sowie deren Kombinationen, umfasst; und/oder

insbesondere wobei die Flussmittelzusammensetzung der chemischen Behandlung als Inhaltsstoffe Salze und gegebenenfalls Netzmittel umfasst, insbesondere wobei die Flussmittelzusammensetzung wenigstens Zinkchlorid (ZnCl_2) und mindestens ein Alkali- und/oder Erdalkalichlorid, insbesondere Kaliumchlorid (KCl) und/oder Natriumchlorid (NaCl), umfasst; und/oder

insbesondere wobei die Flussmittelzusammensetzung der chemischen Behandlung frei von Ammoniumchlorid (NH_4Cl) ist; und/oder insbesondere wobei die Flussmittelzusammensetzung der chemischen Behandlung zumindest im Wesentlichen kein Ammoniumchlorid (NH_4Cl) enthält; und/oder

insbesondere wobei das Flussmittelbad der chemischen Behandlung einen Salzgehalt von mindestens 20 Gew.-%, insbesondere von mindestens 30 Gew.-%, bevorzugt von mindestens 50 Gew.-%, besonders bevorzugt von mindestens 60 Gew.-%, bezogen auf das Flussmittelbad, aufweist; und/oder

insbesondere wobei das Flussmittelbad der chemischen Behandlung einen Salzgehalt von höchstens 90 Gew.-%, insbesondere von höchstens 85 Gew.-%, bevorzugt von höchstens 80 Gew.-%, besonders bevorzugt von höchstens 75 Gew.-%, bezogen auf das Flussmittelbad, aufweist; und/oder

insbesondere wobei das Flussmittelbad der chemischen Behandlung einen Salzgehalt im Bereich von 20 Gew.-% bis 90 Gew.-%, insbesondere im Bereich von 30 Gew.-% bis 85 Gew.-%, bevorzugt im Bereich von 50 Gew.-% bis 80 Gew.-%, besonders bevorzugt im Bereich von 60 Gew.-% bis 75 Gew.-%, bezogen auf das Flussmittelbad, aufweist; und/oder

insbesondere wobei das Flussmittelbad der chemischen Behandlung einen Salzgehalt im Bereich von 100 g/l bis 800 g/l, insbesondere im Bereich von 140 g/l bis 720 g/l, bevorzugt im Bereich von 170 g/l bis 670 g/l, besonders

bevorzugt im Bereich von 200 g/l bis 600 g/l, aufweist.

30. Verfahren nach Aspekt 29,

wobei die Flussmittelzusammensetzung der chemischen Behandlung die folgenden Inhaltsstoffe aufweist, wobei alle nachfolgend genannten Mengenangaben auf die Flussmittelzusammensetzung bezogen sind und derart auszuwählen sind, dass insgesamt 100 Gew.-% resultieren:

(i) Zinkchlorid (ZnCl_2), insbesondere in Mengen im Bereich von 50 bis 95 Gew.-%, insbesondere im Bereich von 50 bis 90 Gew.-%, bevorzugt im Bereich von 60 bis 85 Gew.-%, besonders bevorzugt im Bereich von 65 bis 82,5 Gew.-%, noch mehr bevorzugt im Bereich von 70 bis 82 Gew.-%,

(ii) Ammoniumchlorid (NH_4Cl), insbesondere in Mengen im Bereich von 0 bis 50 Gew.-%, insbesondere im Bereich von 6 bis 40 Gew.-%, bevorzugt im Bereich von 7 bis 35 Gew.-%, besonders bevorzugt im Bereich von 8 bis 25 Gew.-%, noch mehr bevorzugt im Bereich von 10 bis 20 Gew.-%,

(iii) Natriumchlorid (NaCl), insbesondere in Mengen im Bereich von 0,1 bis 20 Gew.-%, insbesondere im Bereich von 0,5 bis 15 Gew.-%, bevorzugt im Bereich von 1 bis 12,5 Gew.-%, besonders bevorzugt im Bereich von 2 bis 10 Gew.-%, noch mehr bevorzugt im Bereich von 4 bis 8 Gew.-%, und

(iv) Kaliumchlorid (KCl), insbesondere in Mengen im Bereich von 0,1 bis 15 Gew.-%, vorzugsweise im Bereich von 0,2 bis 12,5 Gew.-%, bevorzugt im Bereich von 0,4 bis 10 Gew.-%, besonders bevorzugt im Bereich von 0,5 bis 8 Gew.-%, noch mehr bevorzugt im Bereich von 0,8 bis 6 Gew.-%.

31. Verfahren nach einem der vorangehenden Aspekte,

wobei die chemische Behandlung mittels Beizbehandlung in einem Beizbehandlungsmittel erfolgt;

insbesondere wobei die Beizbehandlung der chemischen Behandlung mit einem salzsäurehaltigen (HCl -haltigen) und/oder salzsäurebasierten (HCl -basierten) Beizbehandlungsmittel erfolgt, insbesondere wobei das Beizbehandlungsmittel einen pH-Wert von weniger als 5 aufweist; und/oder

insbesondere wobei die Beizbehandlung der chemischen Behandlung mit einem sauren Beizbehandlungsmittel, insbesondere mit einem Beizbehandlungsmittel mit einem pH-Wert von weniger als 5, erfolgt; und/oder

insbesondere wobei das Beizbehandlungsmittel Eisen enthält, insbesondere in Form von zwei- und/oder dreiwertigen Eisenionen; und/oder

insbesondere wobei das Beizbehandlungsmittel Zink mit einem Gehalt von mindestens 10 g/l enthält; und/oder

insbesondere wobei das Beizbehandlungsmittel Zink mit einem Gehalt von mindestens 10 g/l enthält und einem Eisengehalt in Höhe von höchstens 20 % des Zinkgehalts aufweist; und/oder

insbesondere wobei das Beizbehandlungsmittel mindestens ein Additiv, insbesondere mindestens ein Beizadditiv, enthält, insbesondere ausgewählt aus der Gruppe von Korrosionsinhibitoren, Beizreinigern, Beizbeschleunigern und Beizverstärkern sowie deren Kombinationen.

32. Verfahren nach einem der vorangehenden Aspekte,

wobei das Beizbehandlungsmittel und/oder das Flussmittelbad der chemischen Behandlung mindestens ein Netzmittel und/oder Tensid, insbesondere mindestens ein ionisches oder nichtionisches Netzmittel und/oder Tensid, bevorzugt mindestens ein nichtionisches Netzmittel und/oder Tensid, enthält und/oder enthalten;

insbesondere wobei das Beizbehandlungsmittel und/oder das Flussmittelbad der chemischen Behandlung das mindestens eine Netzmittel und/oder Tensid in Mengen von 0,0001 bis 15 Gew.-%, vorzugsweise in Mengen von 0,001 bis 10 Gew.-%, bevorzugt in Mengen von 0,01 bis 8 Gew.-%, noch mehr bevorzugt in Mengen von 0,01 bis 6 Gew.-%, ganz besonders bevorzugt in Mengen von 0,05 bis 3 Gew.-%, noch mehr bevorzugt in Mengen von 0,1 bis 2 Gew.-%, bezogen auf das Beizbehandlungsmittel und/oder Flussmittelbad, enthält und/oder enthalten.

33. Verfahren nach einem der vorangehenden Aspekte,

wobei die chemische Behandlung mittels einer Beizbehandlung und einer Flussmittelbehandlung erfolgt;

insbesondere wobei die Beizbehandlung der chemischen Behandlung und die Flussmittelbehandlung der chemischen Behandlung jeweils für eine Zeitdauer im Bereich von 1 Sekunden bis 60 min, insbesondere im Bereich von 5 Sekunden bis 45 min, bevorzugt im Bereich von 10 Sekunden bis 30 min, erfolgen; und/oder

insbesondere wobei zunächst die Beizbehandlung und anschließend die Flussmittelbehandlung erfolgt, wobei nach der Beizbehandlung und vor der Flussmittelbehandlung ein Spülvorgang erfolgt, insbesondere durch Eintauchen in ein Wasserbad.

34. Verfahren nach einem der vorangehenden Aspekte 28 bis 33,

wobei die chemische Behandlung, insbesondere die Flussmittelbehandlung und/oder die Beizbehandlung, bei erhöhter Temperatur erfolgt;

insbesondere wobei die Flussmittelbehandlung und/oder die Beizbehandlung bei einer Temperatur im Bereich von 20 °C bis 90 °C, insbesondere im Bereich von 25 °C bis 80 °C, erfolgt.

35. Verfahren nach einem der vorangehenden Aspekte,

wobei die mechanische Behandlung eine abrasive Behandlung umfasst;
insbesondere wobei die abrasive Behandlung ausgewählt ist aus der Gruppe von Strahlen, insbesondere Sandstrahlen, Wasserstrahlen und/oder Trockeneisstrahlen, Abschleifen, Abbürsten, Lasern sowie deren Kombinationen.

36. Verfahren nach einem der vorangehenden Aspekte,

wobei der elektrische Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht des verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere des eine Zinkschicht aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, vor der Aktivierungsbehandlung ermittelt wird;

insbesondere wobei die Art und/oder Dauer und/oder Intensität der Aktivierungsbehandlung in Abhängigkeit vom elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht des verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere des eine Zinkschicht aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, erfolgt; und/oder

insbesondere wobei die Aktivierungsbehandlung in Abhängigkeit vom elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht des verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere des eine Zinkschicht aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, nur eine Flussmittelbehandlung oder aber eine Beizbehandlung und eine Flussmittelbehandlung umfasst.

37. Verfahren nach Aspekt 36,

wobei bei einem elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht von höchstens 500 k Ω • cm², insbesondere bestimmt gemäß DIN EN ISO 17475 und/oder DIN 50918, insbesondere mittels potentiostatischer Polarisationsmessung, als Aktivierungsbehandlung zumindest eine Flussmittelbehandlung erfolgt; und/oder wobei bei einem elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht von mehr als 500 k Ω • cm², insbesondere bestimmt gemäß DIN EN ISO 17475 und/oder DIN 50918, insbesondere mittels potentiostatischer Polarisationsmessung, als Aktivierungsbehandlung zumindest zunächst eine Beizbehandlung und anschließend eine Flussmittelbehandlung erfolgt, insbesondere wobei nach der Beizbehandlung und vor der Flussmittelbehandlung ein Spülvorgang erfolgt, insbesondere durch Eintauchen in ein Wasserbad.

38. Verfahren zur Feuerverzinkung (Schmelztauchverzinkung) eines verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere eines eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere zur Regeneration und/oder Wiederaufbereitung und/oder Wiederverwendung eines verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere Verfahren nach einem der vorangehenden Aspekte,

wobei das verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil, insbesondere das eine Zinkschicht aufweisende Eisen- oder Stahlbauteil, vor der Feuerverzinkung einer Aktivierungsbehandlung, insbesondere einer mindestens eine chemische und gegebenenfalls (zusätzlich) eine mechanische Behandlung umfassenden Aktivierungsbehandlung, unterzogen wird derart und/oder mit der Maßgabe, dass das der Aktivierungsbehandlung unterzogene

verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil einen elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht von höchstens $500 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, insbesondere höchstens $300 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, bevorzugt höchstens $250 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, besonders bevorzugt höchstens $200 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, insbesondere bestimmt gemäß DIN EN ISO 17475 und/oder DIN 50918, insbesondere mittels potentiostatischer Polarisationsmessung, aufweist, und

wobei das der Aktivierungsbehandlung unterzogene verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil einen elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht von höchstens $500 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, insbesondere höchstens $300 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, bevorzugt höchstens $250 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, besonders bevorzugt höchstens $200 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, insbesondere bestimmt gemäß DIN EN ISO 17475 und/oder DIN 50918, insbesondere mittels potentiostatischer Polarisationsmessung, aufweist,

wobei nachfolgend das der Aktivierungsbehandlung unterzogene verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil einer Feuerverzinkung unterzogen wird,

wobei der elektrische Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht des verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere des eine Zinkschicht aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, vor der Aktivierungsbehandlung ermittelt wird,

wobei die Aktivierungsbehandlung in Abhängigkeit vom elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht des verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere des eine Zinkschicht aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, nur eine Flussmittelbehandlung oder aber eine Beizbehandlung und eine Flussmittelbehandlung umfasst.

39. Verfahren zur Feuerverzinkung (Schmelztauchverzinkung) eines verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere eines eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere zur Regeneration und/oder Wiederaufbereitung und/oder Wiederverwendung eines verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere Verfahren nach einem der vorangehenden Aspekte,

wobei das verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil, insbesondere das eine Zinkschicht aufweisende Eisen- oder Stahlbauteil, vor der Feuerverzinkung einer Aktivierungsbehandlung, insbesondere einer eine chemische und/oder mechanische Behandlung umfassenden Aktivierungsbehandlung, vorzugsweise einer mindestens eine chemische und gegebenenfalls (zusätzlich) eine mechanische Behandlung umfassenden Aktivierungsbehandlung, unterzogen wird derart und/oder mit der Maßgabe, dass das der Aktivierungsbehandlung unterzogene verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil einen elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht von höchstens $500 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, insbesondere höchstens $300 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, bevorzugt höchstens $250 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, besonders bevorzugt höchstens $200 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, insbesondere bestimmt gemäß DIN EN ISO 17475 und/oder DIN 50918, insbesondere mittels potentiostatischer Polarisationsmessung, aufweist,

wobei nachfolgend das der Aktivierungsbehandlung unterzogene verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil einer Feuerverzinkung unterzogen wird,

wobei der elektrische Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht des verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere des eine Zinkschicht aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, vor der Aktivierungsbehandlung ermittelt wird,

wobei die Aktivierungsbehandlung in Abhängigkeit vom elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht des verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere des eine Zinkschicht aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, nur eine Flussmittelbehandlung oder aber eine Beizbehandlung und eine Flussmittelbehandlung umfasst,

wobei bei einem elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht von höchstens $500 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, insbesondere bestimmt gemäß DIN EN ISO 17475 und/oder DIN 50918, insbesondere mittels potentiostatischer Polarisationsmessung, als Aktivierungsbehandlung zumindest eine Flussmittelbehandlung erfolgt und wobei bei einem elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht von mehr als $500 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, insbesondere bestimmt gemäß DIN EN ISO 17475 und/oder DIN 50918, insbesondere mittels potentiostatischer Polarisationsmessung, als Aktivierungsbehandlung zumindest zunächst eine Beizbehandlung und anschließend eine Flussmittelbehandlung erfolgt, insbesondere wobei nach der Beizbehandlung und vor der Flussmittelbehandlung ein Spülvorgang erfolgt, insbesondere durch Eintauchen in ein Wasserbad.

40. Verfahren nach einem der vorangehenden Aspekte,

wobei vor der Ermittlung des elektrischen Widerstands die Zusammensetzung der Zinkschicht, insbesondere der Feuerverzinkungsschicht, ermittelt wird, insbesondere mittels laserinduzierter Plasmaspektroskopie (LIBS);
insbesondere wobei die Messung und/oder Messparameter des elektrischen Widerstands an die Zusammensetzung der Zinkschicht, insbesondere der Feuerverzinkungsschicht, angepasst wird.

41. Verfahren nach einem der vorangehenden Aspekte,

wobei das der Aktivierungsbehandlung unterzogene verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil einer Trocknungsbehandlung unterzogen wird;

insbesondere wobei die Trocknungsbehandlung bei einer Temperatur im Bereich von 30 °C bis 400 °C, insbesondere im Bereich von 35 °C bis 375 °C, bevorzugt im Bereich von 40 °C bis 350 °C, besonders bevorzugt im Bereich von 50 °C bis 325 °C, erfolgt; und/oder

insbesondere wobei die Trocknungsbehandlung für eine Zeitdauer im Bereich von 0,1 Sekunden bis 60 min, insbesondere im Bereich von 1 Sekunden bis 45 min, bevorzugt im Bereich von 10 Sekunden bis 35 min, besonders bevorzugt im Bereich von 20 Sekunden bis 30 min, noch mehr bevorzugt im Bereich von 20 Sekunden bis 15 min, erfolgt; und/oder

insbesondere wobei die Trocknungsbehandlung in Gegenwart von und/oder mittels Luft erfolgt; und/oder

insbesondere wobei die Trocknungsbehandlung in mindestens einer Trocknungseinrichtung, insbesondere in mindestens einem Ofen, erfolgt.

42. Verfahren nach einem der vorangehenden Aspekte,

wobei das verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil, insbesondere das eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisende Eisen- oder Stahlbauteil, vor der Aktivierungsbehandlung einer Überprüfung unterzogen wird; und/oder

wobei das verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil, insbesondere das eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisende Eisen- oder Stahlbauteil, vor der Aktivierungsbehandlung auf die Eignung zur Regeneration und/oder Wiederaufbereitung und/oder Wiederverwendung überprüft wird;

insbesondere wobei die Überprüfung durch optische und/oder mechanische und/oder induktive und/oder elektrische und/oder chemische Verfahren erfolgt.

43. Verfahren nach Aspekt 42,

wobei das verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil, insbesondere das eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisende Eisen- oder Stahlbauteil, in Bezug auf mindestens eine spezifische Eigenschaft und/oder einen spezifischen Prüfparameter überprüft wird, insbesondere ausgewählt aus der Gruppe von: Zustand und/oder Art der vorhandenen Zinkschicht; Zusammensetzung und/oder Güte und/oder Stärke des Stahlteils; Korrosionsgrad und/oder Verschleiß des Stahlteils; optischer Zustand des Stahlteils; Deformation des Stahlteils gegenüber der ursprünglichen Ausgangsform; Grad der Verschmutzung der vorhandenen Zinkschicht; Art und/oder Konzentration von Oxidationsprodukten der Zinkschicht (Feuerverzinkungsschicht); Art und/oder Konzentration von Ablagerungen, insbesondere von Salzen, Oxiden, Hydroxiden und Fetten; Kennzeichnung des Stahlteils; Vorhandensein und/oder Zustand von Befestigungsmöglichkeiten, insbesondere Bohrungen, Gewinden und/oder Durchbrechungen; und Vorhandensein artfremder Beschichtungsstoffe.

44. Verfahren nach Aspekt 42 oder Aspekt 43,

wobei das verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil, insbesondere das eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisende Eisen- oder Stahlbauteil, in Abhängigkeit der Überprüfung vorbereitet wird, insbesondere durch Entfetten, Korrekturformen, Pressen, Walzen, Biegen, Bohren und/oder Schneiden; und/oder

wobei die Aktivierungsbehandlung, insbesondere die abrasive Behandlung, des verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere des eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, in Abhängigkeit der Überprüfung erfolgt, insbesondere derart, dass vorhandene Verschmutzungen, Ablagerungen und/oder Korrosionsprodukte entfernt werden.

45. Verfahren nach einem der vorangehenden Aspekte, wobei das Verfahren die folgenden Verfahrensschritten in der nachfolgend aufgeführten Reihenfolge umfasst:

(a) gegebenenfalls Überprüfen des verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils; dann

(b) gegebenenfalls Vorbereiten des gegebenenfalls in Verfahrensschritt (a) überprüften verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils; dann

(c) gegebenenfalls Messung des Widerstands des gegebenenfalls in Verfahrensschritt (a) überprüften und gegebenenfalls in Verfahrensschritt (b) vorbereiteten verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils; dann

(d) Aktivierung des in Verfahrensschritt (a) begutachteten und gegebenenfalls in Verfahrensschritt (b) vorbereiteten verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils; dann

(e) gegebenenfalls Trocknungsbehandlung des in Verfahrensschritt (d) aktivierten verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils; dann

(f) Feuerverzinkung (Schmelztauchverzinkung) des in Verfahrensschritt (d) aktivierten und gegebenenfalls in Verfahrensschritt (e) getrockneten verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils; dann

(g) gegebenenfalls Abkühlbehandlung des in Verfahrensschritt (f) feuerverzinkten (schmelztauchverzinkten) Eisen- oder Stahlbauteils; dann

(h) gegebenenfalls Nachbearbeitung des in Verfahrensschritt (f) feuerverzinkten (schmelztauchverzinkten) und gegebenenfalls in Verfahrensschritt (g) abgekühlten Eisen- oder Stahlbauteils.

46. Anlage (System) (AF) zur Feuerverzinkung (Schmelztauchverzinkung) eines verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere eines eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere zur Regeneration und/oder Wiederaufbereitung und/oder Wiederverwendung eines verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere Anlage (System) (AF) zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der vorangehenden Aspekte,

wobei die Anlage die folgenden Vorrichtungen in der nachfolgend aufgeführten Reihenfolge umfasst:

- eine Aktivierungsvorrichtung (AV) zur Aktivierung des verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere des eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils; nachgeschaltet und/oder im Verfahrensablauf stromabwärts hierzu angeordnet

- eine Feuerverzinkungsvorrichtung (FZ) zur Feuerverzinkung des nach der ersten Feuerverzinkung erhaltenen Eisen- oder Stahlbauteils in einer Zinkschmelze;

wobei die Anlage außerdem mindestens eine Messvorrichtung (MV) zur Messung eines elektrischen Widerstands an der Oberfläche der Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, umfasst.

47. Anlage nach Aspekt 46,

wobei die Messvorrichtung (MV) zur Messung eines elektrischen Widerstands an der Oberfläche der Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, stromaufwärts von der Feuerverzinkungsvorrichtung (FZ) angeordnet ist; und/oder

wobei die Messvorrichtung (MV) zur Messung eines elektrischen Widerstands an der Oberfläche der Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, stromabwärts zu der Aktivierungsvorrichtung (AV) angeordnet ist; und/oder

wobei die Messvorrichtung (MV) zur Messung eines elektrischen Widerstands an der Oberfläche der Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, stromaufwärts von der Feuerverzinkungsvorrichtung (FZ) und stromabwärts zu der Aktivierungsvorrichtung (AV) angeordnet ist; und/oder

wobei die Messvorrichtung (MV) zur Messung eines elektrischen Widerstands an der Oberfläche der Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, zur Messung des Deckschichtwiderstands, insbesondere des Polarisationswiderstands der Deckschicht (Zinkschicht bzw. Feuerverzinkungsschicht), ausgebildet ist.

48. Anlage nach Aspekt 46 oder Aspekt 47,

wobei eine weitere Messvorrichtung (MV') zur Messung eines elektrischen Widerstands an der Oberfläche der Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, stromaufwärts zu der Aktivierungsvorrichtung (AV) angeordnet ist;

insbesondere wobei die weitere Messvorrichtung (MV') zur Messung eines elektrischen Widerstands an der Oberfläche der Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, zur Messung des Deckschichtwiderstands, insbesondere des Polarisationswiderstands der Deckschicht (Zinkschicht bzw. Feuerverzinkungsschicht), ausgebildet ist.

49. Anlage nach einem der vorangehenden Aspekte,

wobei die Aktivierungsvorrichtung (AV) mindestens eine Flussmitteleinrichtung (FE) und/oder Beizeinrichtung (BE) und gegebenenfalls eine mechanische Aktivierungseinrichtung (MA) umfasst;

insbesondere wobei die Flussmitteleinrichtung (FE) stromabwärts zur Beizeinrichtung (BE) und die Beizeinrichtung (BE) stromabwärts zur mechanischen Aktivierungseinrichtung (MA) angeordnet ist.

50. Anlage (System) (AF) zur Feuerverzinkung (Schmelztauchverzinkung) eines verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere eines eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere zur Regeneration und/oder Wiederaufbereitung und/oder Wiederverwendung eines verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere Anlage (System) (AF) zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der vorangehenden Aspekte, insbesondere eine Anlage nach einem der vorangehenden Aspekte,

wobei die Anlage die folgenden Vorrichtungen in der nachfolgend aufgeführten Reihenfolge umfasst:

- eine Aktivierungsvorrichtung (AV) zur Aktivierung des verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere des eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils; nachgeschaltet und/oder im Verfahrensablauf stromabwärts hierzu angeordnet
- eine Feuerverzinkungsvorrichtung (FZ) zur Feuerverzinkung des nach der ersten Feuerverzinkung erhaltenen Eisen- oder Stahlbauteils in einer Zinkschmelze;

wobei die Anlage außerdem mindestens eine Messvorrichtung (MV) zur Messung eines elektrischen Widerstands an der Oberfläche der Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, umfasst,

wobei die Aktivierungsvorrichtung (AV) mindestens eine Flussmitteleinrichtung (FE) und/oder Beizeinrichtung (BE) und gegebenenfalls eine mechanische Aktivierungseinrichtung (MA) umfasst.

51. Anlage nach Aspekt 50,

wobei die Messvorrichtung (MV) zur Messung eines elektrischen Widerstands an der Oberfläche der Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, stromaufwärts von der Feuerverzinkungsvorrichtung (FZ) angeordnet ist; und/oder

wobei die Messvorrichtung (MV) zur Messung eines elektrischen Widerstands an der Oberfläche der Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, stromabwärts zu der Aktivierungsvorrichtung (AV) angeordnet ist; und/oder

wobei die Messvorrichtung (MV) zur Messung eines elektrischen Widerstands an der Oberfläche der Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, stromaufwärts von der Feuerverzinkungsvorrichtung (FZ) und stromabwärts zu der Aktivierungsvorrichtung (AV) angeordnet ist; und/oder

wobei die Messvorrichtung (MV) zur Messung eines elektrischen Widerstands an der Oberfläche der Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, zur Messung des Deckschichtwiderstands, insbesondere des Polarisationswiderstands der Deckschicht (Zinkschicht bzw. Feuerverzinkungsschicht), ausgebildet ist.

52. Anlage nach Aspekt 49 oder Aspekt 51,

wobei eine weitere Messvorrichtung (MV') zur Messung eines elektrischen Widerstands an der Oberfläche der Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, stromaufwärts zu der Aktivierungsvorrichtung (AV) angeordnet ist;

insbesondere wobei die weitere Messvorrichtung (MV') zur Messung eines elektrischen Widerstands an der Oberfläche der Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, zur Messung des Deckschichtwiderstands, insbesondere des Polarisationswiderstands der Deckschicht (Zinkschicht bzw. Feuerverzinkungsschicht), ausgebildet ist.

53. Anlage nach einem der vorangehenden Aspekte, wobei stromabwärts zur Feuerverzinkungsvorrichtung (FZ) eine Abkühlvorrichtung (AK) angeordnet ist.

54. Anlage nach einem der vorangehenden Aspekte,

wobei stromabwärts zur Feuerverzinkungsvorrichtung (FZ) eine Nachbearbeitungsvorrichtung (NV) angeordnet ist;

insbesondere wobei die Nachbearbeitungsvorrichtung (NV) stromabwärts zu der Abkühlvorrichtung (AK) angeordnet ist.

55. Anlage nach einem der vorangehenden Aspekte,

wobei, insbesondere stromaufwärts zur Messvorrichtung (MV) und/oder zur weiteren Messvorrichtung (MV'), außerdem eine Spektroskopievorrichtung (SV) angeordnet ist;

insbesondere wobei die Spektroskopievorrichtung (SV) zur Durchführung einer Messung mittels laserinduzierter Plasmaspektroskopie (LIBS) ausgebildet ist; und/oder

insbesondere wobei die Spektroskopievorrichtung (SV) mindestens einen Laser und mindestens einen Detektor, insbesondere ein Spektrometer, umfasst.

56. Anlage nach einem der vorangehenden Aspekte, wobei stromabwärts zur Aktivierungsvorrichtung (AV) eine Trocknungseinrichtung (TE), insbesondere ein Ofen angeordnet ist.

57. Anlage nach einem der vorangehenden Aspekte,

wobei stromaufwärts zur Aktivierungsvorrichtung (AV) eine Überprüfungsvorrichtung (ÜV) angeordnet ist;

insbesondere wobei die Überprüfungsvorrichtung (ÜV) zur optischen und/oder mechanischen und/oder induktiven und/oder elektrischen und/oder chemischen Überprüfung des verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere des eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, ausgebildet ist; und/oder

insbesondere wobei die Überprüfungsvorrichtung (ÜV) mindestens eine Einrichtung zur optischen und/oder mechanischen und/oder induktiven und/oder elektrischen und/oder chemischen Überprüfung des verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere des eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, umfasst.

58. Anlage nach einem der vorangehenden Aspekte,
wobei die Anlage die folgenden Vorrichtungen und Einrichtungen in der nachfolgend aufgeführten Reihenfolge umfasst:

(ÜV) gegebenenfalls mindestens eine Überprüfungsvorrichtung (ÜV); nachgeschaltet und/oder im Verfahrensablauf stromabwärts hierzu angeordnet

(SV) gegebenenfalls eine Spektroskopievorrichtung (SV); nachgeschaltet und/oder im Verfahrensablauf stromabwärts hierzu angeordnet

(MV') gegebenenfalls eine weitere Messvorrichtung (MV'); nachgeschaltet und/oder im Verfahrensablauf stromabwärts hierzu angeordnet

(AV) mindestens eine Aktivierungsvorrichtung (AV), insbesondere wobei die Aktivierungsvorrichtung (AV) mindestens eine Flussmitteleinrichtung (FE) und/oder Beizeinrichtung (BE) und gegebenenfalls eine mechanische Aktivierungseinrichtung (MA) umfasst, insbesondere wobei die Flussmitteleinrichtung (FE) stromabwärts zur Beizeinrichtung (BE) und die Beizeinrichtung (BE) stromabwärts zur mechanischen Aktivierungseinrichtung (MA) angeordnet ist; nachgeschaltet und/oder im Verfahrensablauf stromabwärts hierzu angeordnet

(TE) gegebenenfalls mindestens eine Trocknungseinrichtung (TE), insbesondere Ofen; nachgeschaltet und/oder im Verfahrensablauf stromabwärts hierzu angeordnet

(SV) gegebenenfalls eine Spektroskopievorrichtung (SV); nachgeschaltet und/oder im Verfahrensablauf stromabwärts hierzu angeordnet

(MV) mindestens eine Messvorrichtung (MV); nachgeschaltet und/oder im Verfahrensablauf stromabwärts hierzu angeordnet

(FZ) mindestens eine Feuerverzinkungsvorrichtung (FZ); nachgeschaltet und/oder im Verfahrensablauf stromabwärts hierzu angeordnet

(AK) gegebenenfalls mindestens eine Abkühlvorrichtung (AK); nachgeschaltet und/oder im Verfahrensablauf stromabwärts hierzu angeordnet

(NV) gegebenenfalls mindestens eine Nachbearbeitungsvorrichtung (AV).

59. Anlage nach einem der vorangehenden Aspekte,
jeweils gekennzeichnet durch eines oder mehrere der Merkmale der Aspekte 1 bis 45.

60. Feuerverzinktes (schmelztauchverzinktes) Eisen- oder Stahlbauteil (1), erhältlich nach einem Verfahren gemäß einem der vorangehenden Aspekte und/oder erhältlich in einer Anlage gemäß einem der vorangehenden Aspekte.

61. Feuerverzinktes (schmelztauchverzinktes) Eisen- oder Stahlbauteil (1), insbesondere feuerverzinktes Eisen- oder Stahlbauteil nach Aspekt 60,

wobei das feuerverzinkte Eisen- oder Stahlbauteil (1) dadurch erhältlich ist, dass ein verzinktes Eisen- oder Stahlbauteil, insbesondere ein eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisendes Eisen- oder Stahlbauteil, einer Aktivierungsbehandlung, insbesondere einer chemischen und/oder mechanischen Behandlung umfassenden Aktivierungsbehandlung, vorzugsweise einer mindestens eine chemische und gegebenenfalls (zusätzlich) eine mechanische Behandlung umfassenden Aktivierungsbehandlung, unterzogen worden ist derart und/oder mit der Maßgabe, dass das der Aktivierungsbehandlung unterzogene verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil einen elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht von höchstens $500 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, insbesondere bestimmt gemäß DIN EN ISO 17475 und/oder DIN 50918, insbesondere mittels potentiostatischer Polarisationsmessung, aufweist, und

wobei nachfolgend das der Aktivierungsbehandlung unterzogene verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil einer Feuerverzinkung unterzogen worden ist.

62. Feuerverzinktes Eisen- oder Stahlbauteil nach Aspekt 61 oder Aspekt 62,

wobei das feuerverzinkte Eisen- oder Stahlbauteil (1) eine (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht (3) aufweist;

insbesondere wobei das feuerverzinkte Eisen- oder Stahlbauteil (1) auf dem Grundmaterial des Eisen- oder Stahlbauteils (2) eine mehrphasige und/oder mehrschichtige, insbesondere mehrphasige, (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht (3) aufweist; und/oder

insbesondere wobei das feuerverzinkte Eisen- oder Stahlbauteil (1) eine zumindest teilweise mehrphasige und/oder zumindest teilweise geschichtete Feuerverzinkungsschicht (3) mit Zn/Al/Fe-Phasen aufweist; und/oder

insbesondere wobei das feuerverzinkte Eisen- oder Stahlbauteil (1) eine (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht (3) mit einem Aluminium-Konzentrationsgradienten aufweist; und/oder

insbesondere wobei die mehrphasige und/oder mehrschichtige, insbesondere mehrphasige, (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht (3) einen Aluminium-Konzentrationsgradienten aufweist.

63. Feuerverzinktes Eisen- oder Stahlbauteil nach einem der vorangehenden Aspekte,

wobei das feuerverzinkte Eisen- oder Stahlbauteil (1) eine (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht mit einer Gesamtschichtdicke von mindestens 30 μm , insbesondere mindestens 35 μm , bevorzugt mindestens 40 μm , besonders bevorzugt mindestens 45 μm , aufweist; und/oder

wobei das feuerverzinkte Eisen- oder Stahlbauteil (1) eine (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht mit einer Gesamtschichtdicke von höchstens 500 μm , insbesondere höchstens 450 μm , bevorzugt höchstens 400 μm , besonders bevorzugt höchstens 300 μm , aufweist; und/oder

wobei das feuerverzinkte Eisen- oder Stahlbauteil (1) eine (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht mit einer Gesamtschichtdicke im Bereich von 30 μm bis 500 μm , insbesondere im Bereich von 35 μm bis 450 μm , bevorzugt im Bereich von 40 μm bis 400 μm , besonders bevorzugt im Bereich von 45 μm bis 300 μm , aufweist.

64. Feuerverzinktes Eisen- oder Stahlbauteil nach einem der vorangehenden Aspekte,

wobei das feuerverzinkte Eisen- oder Stahlbauteil (1) zumindest im Wesentlichen ohne Beeinträchtigung der Korrosionsschutzleistung 90°-biegbar ausgebildet ist; und/oder

wobei das feuerverzinkte Eisen- oder Stahlbauteil (1), insbesondere bei einer Grundmaterialdicke des Eisen- oder Stahlbauteils von mindestens 2 mm und einer Gesamtschichtdicke der (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht von mindestens 30 μm , nach 90°-Biegung bei einer Verweilzeit von mindestens 1.000 h, insbesondere mindestens 1.250 h, bevorzugt mindestens 1.500 h, besonders bevorzugt mindestens 1.750 h, ganz besonders bevorzugt mindestens 2.000 h, im Salzsprühnebeltest, insbesondere gemäß DIN EN ISO 9227, zumindest im Wesentlichen keine Rotrostbildung, bevorzugt keine Rotrostbildung, aufweist.

65. Feuerverzinktes Eisen- oder Stahlbauteil nach einem der vorangehenden Aspekte,

wobei das feuerverzinkte Eisen- oder Stahlbauteil (1), insbesondere bei einer Gesamtfeuerverzinkungsschicht von mindestens 350 g/m², bei einer Verweilzeit von mindestens 1.000 h, insbesondere mindestens 2.000 h, bevorzugt mindestens 5.000 h, besonders bevorzugt mindestens 8.000 h, ganz besonders bevorzugt mindestens 10.000 h, im Salzsprühnebeltest, insbesondere gemäß DIN EN ISO 9227, zumindest im Wesentlichen keine Rotrostbildung, bevorzugt keine Rotrostbildung, aufweist.

66. Feuerverzinktes Eisen- oder Stahlbauteil nach einem der vorangehenden Aspekte, jeweils gekennzeichnet durch eines oder mehrere der Merkmale der Aspekte 1 bis 59.

67. Verwendung eines Feuerverzinkungsverfahrens zur Regeneration und/oder Wiederaufbereitung und/oder Wiederverwendung eines verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils,

wobei das verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil, insbesondere das eine Zinkschicht aufweisende Eisen- oder Stahlbauteil, vor der Feuerverzinkung einer Aktivierungsbehandlung, insbesondere einer mindestens eine chemische und gegebenenfalls (zusätzlich) eine mechanische Behandlung umfassenden Aktivierungsbehand-

lung, unterzogen wird derart und/oder mit der Maßgabe, dass das der Aktivierungsbehandlung unterzogene verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil einen elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht von höchstens $500 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, insbesondere bestimmt gemäß DIN EN ISO 17475 und/oder DIN 50918, insbesondere mittels potentiostatischer Polarisationsmessung, aufweist, und
 5 wobei nachfolgend das der Aktivierungsbehandlung unterzogene verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil einer Feuerverzinkung unterzogen wird.

68. Verwendung des elektrischen Widerstands an der Oberfläche einer Zinkschicht eines verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere eines eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, zur Einstellung einer Aktivierungsbehandlung, insbesondere einer chemischen und/oder mechanischen Behandlung umfassenden Aktivierungsbehandlung, vorzugsweise einer mindestens eine chemische und gegebenenfalls (zusätzlich) eine mechanische Behandlung umfassenden Aktivierungsbehandlung, zur Vorbereitung des verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere des eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, auf eine Feuerverzinkung,
 10
 15 insbesondere wobei die Art und/oder Dauer und/oder Intensität der Aktivierungsbehandlung in Abhängigkeit vom elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht des verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere des eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, erfolgt.

69. Verwendung nach Aspekt 68,

20 wobei bei einem elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht von höchstens $500 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, insbesondere bestimmt gemäß DIN EN ISO 17475 und/oder DIN 50918, insbesondere mittels potentiostatischer Polarisationsmessung, als Aktivierungsbehandlung zumindest eine Flussmittelbehandlung erfolgt; und/oder wobei bei einem elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht von mehr als $500 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$,
 25 insbesondere bestimmt gemäß DIN EN ISO 17475 und/oder DIN 50918, insbesondere mittels potentiostatischer Polarisationsmessung, als Aktivierungsbehandlung zumindest zunächst eine Beizbehandlung und anschließend eine Flussmittelbehandlung erfolgt, insbesondere wobei nach der Beizbehandlung und vor der Flussmittelbehandlung ein Spülvorgang erfolgt, insbesondere durch Eintauchen in ein Wasserbad.

70. Verwendung des elektrischen Widerstands an der Oberfläche einer Zinkschicht eines verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere eines eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, zur Bestimmung des Zustands und/oder der Güte der Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, für die Regeneration und/oder Wiederaufbereitung und/oder Wiederverwendung des die Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils mittels nachfolgender Feuerverzinkung (Schmelztauchverzinkung).
 30
 35

71. Verwendung nach Aspekt 70,

40 wobei das verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil zur Vorbereitung auf die Feuerverzinkung einer Aktivierungsbehandlung, insbesondere einer chemischen und/oder mechanischen Behandlung umfassenden Aktivierungsbehandlung, vorzugsweise einer mindestens eine chemische und gegebenenfalls (zusätzlich) eine mechanische Behandlung umfassenden Aktivierungsbehandlung, unterzogen wird, wobei der elektrische Widerstand an der Oberfläche einer Zinkschicht zur Einstellung der Aktivierungsbehandlung verwendet und/oder herangezogen wird;

45 insbesondere wobei die Art und/oder Dauer und/oder Intensität der Aktivierungsbehandlung in Abhängigkeit vom elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht des verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere des eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, erfolgt.
 50

72. Verwendung nach Aspekt 70 oder Aspekt 71,

55 wobei bei einem elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht von höchstens $500 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, insbesondere bestimmt gemäß DIN EN ISO 17475 und/oder DIN 50918, insbesondere mittels potentiostatischer Polarisationsmessung, als Aktivierungsbehandlung zumindest eine Flussmittelbehandlung erfolgt; und/oder wobei bei einem elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht von mehr als $500 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, insbesondere bestimmt gemäß DIN EN ISO 17475 und/oder DIN 50918, insbesondere mittels potentiostatischer Polarisationsmessung, als Aktivierungsbehandlung zumindest zunächst eine Beizbehandlung und anschlie-

ßend eine Flussmittelbehandlung erfolgt, insbesondere wobei nach der Beizbehandlung und vor der Flussmittelbehandlung ein Spülvorgang erfolgt, insbesondere durch Eintauchen in ein Wasserbad.

73. Verwendung nach einem der vorangehenden Aspekte,

jeweils gekennzeichnet durch eines oder mehrere der Merkmale der Aspekte 1 bis 66.

Patentansprüche

1. Feuerverzinktes (schmelztauchverzinktes) Eisen- oder Stahlbauteil (1),

wobei das feuerverzinkte Eisen- oder Stahlbauteil (1) dadurch erhältlich ist, dass ein verzinktes Eisen- oder Stahlbauteil, insbesondere ein eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisendes Eisen- oder Stahlbauteil, einer Aktivierungsbehandlung, insbesondere einer chemischen und/oder mechanischen Behandlung umfassenden Aktivierungsbehandlung, vorzugsweise einer mindestens eine chemische und gegebenenfalls (zusätzlich) eine mechanische Behandlung umfassenden Aktivierungsbehandlung, unterzogen worden ist derart und/oder mit der Maßgabe, dass das der Aktivierungsbehandlung unterzogene verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil einen elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht von höchstens $500 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, insbesondere bestimmt gemäß DIN EN ISO 17475 und/oder DIN 50918, insbesondere mittels potentiostatischer Polarisationsmessung, aufweist, und wobei nachfolgend das der Aktivierungsbehandlung unterzogene verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil einer Feuerverzinkung unterzogen worden ist.

2. Feuerverzinktes Eisen- oder Stahlbauteil (1) nach Anspruch 1,

wobei das feuerverzinkte Eisen- oder Stahlbauteil (1) eine (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht (3) aufweist; insbesondere wobei das feuerverzinkte Eisen- oder Stahlbauteil (1) auf dem Grundmaterial des Eisen- oder Stahlbauteils (2) eine mehrphasige und/oder mehrschichtige, insbesondere mehrphasige, (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht (3) aufweist; und/oder insbesondere wobei das feuerverzinkte Eisen- oder Stahlbauteil (1) eine zumindest teilweise mehrphasige und/oder zumindest teilweise geschichtete Feuerverzinkungsschicht (3) mit Zn/Al/Fe-Phasen aufweist; und/oder insbesondere wobei das feuerverzinkte Eisen- oder Stahlbauteil (1) eine (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht (3) mit einem Aluminium-Konzentrationsgradienten aufweist; und/oder insbesondere wobei die mehrphasige und/oder mehrschichtige, insbesondere mehrphasige, (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht (3) einen Aluminium-Konzentrationsgradienten aufweist.

3. Feuerverzinktes Eisen- oder Stahlbauteil (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche,

wobei das feuerverzinkte Eisen- oder Stahlbauteil (1) eine (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht mit einer Gesamtschichtdicke von mindestens $30 \text{ }\mu\text{m}$, insbesondere mindestens $35 \text{ }\mu\text{m}$, bevorzugt mindestens $40 \text{ }\mu\text{m}$, besonders bevorzugt mindestens $45 \text{ }\mu\text{m}$, aufweist; und/oder wobei das feuerverzinkte Eisen- oder Stahlbauteil (1) eine (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht mit einer Gesamtschichtdicke von höchstens $500 \text{ }\mu\text{m}$, insbesondere höchstens $450 \text{ }\mu\text{m}$, bevorzugt höchstens $400 \text{ }\mu\text{m}$, besonders bevorzugt höchstens $300 \text{ }\mu\text{m}$, aufweist; und/oder wobei das feuerverzinkte Eisen- oder Stahlbauteil (1) eine (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht mit einer Gesamtschichtdicke im Bereich von $30 \text{ }\mu\text{m}$ bis $500 \text{ }\mu\text{m}$, insbesondere im Bereich von $35 \text{ }\mu\text{m}$ bis $450 \text{ }\mu\text{m}$, bevorzugt im Bereich von $40 \text{ }\mu\text{m}$ bis $400 \text{ }\mu\text{m}$, besonders bevorzugt im Bereich von $45 \text{ }\mu\text{m}$ bis $300 \text{ }\mu\text{m}$, aufweist.

4. Feuerverzinktes Eisen- oder Stahlbauteil (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche,

wobei das feuerverzinkte Eisen- oder Stahlbauteil (1) zumindest im Wesentlichen ohne Beeinträchtigung der Korrosionsschutzleistung 90° -biegbar ausgebildet ist; und/oder wobei das feuerverzinkte Eisen- oder Stahlbauteil (1), insbesondere bei einer Grundmaterialdicke des Eisen- oder Stahlbauteils von mindestens 2 mm und einer Gesamtschichtdicke der (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht von mindestens $30 \text{ }\mu\text{m}$, nach 90° -Biegung bei einer Verweilzeit von mindestens 1.000 h , insbesondere mindestens 1.250 h , bevorzugt mindestens 1.500 h , besonders bevorzugt mindestens 1.750 h , ganz besonders bevorzugt mindestens 2.000 h , im Salzsprühnebeltest, insbesondere gemäß DIN EN ISO 9227, zumindest

im Wesentlichen keine Rotrostbildung, bevorzugt keine Rotrostbildung, aufweist.

5. Feuerverzinktes Eisen- oder Stahlbauteil (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das feuerverzinkte Eisen- oder Stahlbauteil (1), insbesondere bei einer (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht von mindestens 350 g/m², bei einer Verweilzeit von mindestens 1.000 h, insbesondere mindestens 2.000 h, bevorzugt mindestens 5.000 h, besonders bevorzugt mindestens 8.000 h, ganz besonders bevorzugt mindestens 10.000 h, im Salzsprühnebeltest, insbesondere gemäß DIN EN ISO 9227, zumindest im Wesentlichen keine Rotrostbildung, bevorzugt keine Rotrostbildung, aufweist.

6. Feuerverzinktes Eisen- oder Stahlbauteil (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das feuerverzinkte Eisen- oder Stahlbauteil (1) eine (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht (3) aufweist; wobei das feuerverzinkte Eisen- oder Stahlbauteil (1) auf dem Grundmaterial des Eisen- oder Stahlbauteils (2) eine mehrphasige und/oder mehrschichtige, insbesondere mehrphasige, (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht (3) mit einem Aluminium-Konzentrationsgradienten und mit Zn/Al/Fe-Phasen aufweist, wobei das feuerverzinkte Eisen- oder Stahlbauteil (1) eine (Gesamt-)Feuerverzinkungsschicht mit einer Gesamtschichtdicke im Bereich von 30 µm bis 500 µm, insbesondere im Bereich von 35 µm bis 450 µm, bevorzugt im Bereich von 40 µm bis 400 µm, besonders bevorzugt im Bereich von 45 µm bis 300 µm, aufweist.

7. Feuerverzinktes (schmelztauchverzinktes) Eisen- oder Stahlbauteil (1), insbesondere feuerverzinktes Eisen- oder Stahlbauteil (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, erhältlich nach einem Verfahren zur Feuerverzinkung eines Eisen- oder Stahlbauteils, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, als Deckschicht aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils,

wobei das verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil, insbesondere das eine Zinkschicht aufweisende Eisen- oder Stahlbauteil, vor der Feuerverzinkung einer mindestens eine chemische und gegebenenfalls zusätzlich eine mechanische Behandlung umfassenden Aktivierungsbehandlung unterzogen wird derart und/oder mit der Maßgabe, dass das der Aktivierungsbehandlung unterzogene verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil einen elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht von höchstens 500 kΩ • cm², bestimmt gemäß DIN EN ISO 17475 und/oder DIN 50918 mittels potentiostatischer Polarisationsmessung, aufweist, wobei der elektrische Widerstand der Polarisationswiderstand der Deckschicht ist, wobei die chemische Behandlung mindestens eine Beizbehandlung und/oder Flussmittelbehandlung umfasst, wobei die chemische Behandlung für eine Zeitdauer im Bereich von 1 Sekunde bis 60 min erfolgt und wobei die Flussmittelbehandlung und/oder die Beizbehandlung bei einer Temperatur im Bereich von 20 °C bis 90 °C erfolgt, und wobei nachfolgend das der Aktivierungsbehandlung unterzogene verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil, insbesondere das eine Zinkschicht aufweisende Eisen- oder Stahlbauteil, einer Feuerverzinkung unterzogen wird, wobei die in der Feuerverzinkung eingesetzte Zinkschmelze eine aluminiumlegierte und/oder aluminiumhaltige Zinkschmelze ist, wobei die in der Feuerverzinkung eingesetzte aluminiumlegierte und/oder aluminiumhaltige Zinkschmelze die folgende Zusammensetzung aufweist, wobei alle nachfolgend genannten Mengenangaben auf die aluminiumlegierte und/oder aluminiumhaltige Zinkschmelze bezogen sind und derart auszuwählen sind, dass insgesamt 100 Gew.-% resultieren:

- (i) Zink (Zn) in Mengen im Bereich von 55 Gew.-% bis 98 Gew.-%,
- (ii) Aluminium (Al) in Mengen im Bereich von 2 Gew.-% bis 45 Gew.-%,
- (iii) gegebenenfalls Magnesium (Mg), insbesondere in Mengen im Bereich von 0,1 Gew.-% bis 10 Gew.-%,
- (iv) gegebenenfalls mindestens ein weiteres Metall, insbesondere in Gesamtmengen von bis zu 10 Gew.-% und ausgewählt aus der Gruppe von Bismut (Bi), Blei (Pb), Zinn (Sn), Nickel (Ni), Silizium (Si) sowie deren Kombinationen;

wobei die in der Feuerverzinkung eingesetzte aluminiumlegierte und/oder aluminiumhaltige Zinkschmelze eine Temperatur im Bereich von 330 °C bis 750 °C aufweist und wobei das verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil in die in der Feuerverzinkung eingesetzte aluminiumlegierte und/oder aluminiumhaltige Zinkschmelze getaucht wird für eine Zeitdauer im Bereich von 0,0001 bis 60 Minuten.

8. Feuerverzinktes Eisen- oder Stahlbauteil (1) nach Anspruch 7, wobei das verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil, insbesondere das eine Zinkschicht aufweisende Eisen- oder Stahl-

bauteil, an mindestens einer Oberfläche zumindest teilweise, insbesondere vollständig, verzinkt ist, insbesondere eine Zinkschicht aufweist.

9. Feuerverzinktes Eisen- oder Stahlbauteil (1) nach Anspruch 7 oder Anspruch 8,

wobei die chemische Behandlung mittels Flussmittelbehandlung in einer Flussmittelzusammensetzung in einem Flussmittelbad erfolgt;

insbesondere wobei das Flussmittelbad der chemischen Behandlung eine wässrige und/oder alkoholische, insbesondere wässrige, flüssige Phase umfasst, wobei die flüssige Phase des Flussmittelbads die Flussmittelzusammensetzung enthält, insbesondere in gelöster oder dispergierter Form, vorzugsweise in gelöster Form, und/oder

insbesondere wobei die Flussmittelzusammensetzung der chemischen Behandlung als Inhaltsstoffe Salze und gegebenenfalls Netzmittel umfasst, insbesondere wobei die Salze ausgewählt sind aus der Gruppe von Chloriden, vorzugsweise aus der Gruppe von Zinkchlorid (ZnCl_2), Ammoniumchlorid (NH_4Cl), Alkali- und/oder Erdalkalichloriden, insbesondere Kaliumchlorid (KCl) und/oder Natriumchlorid (NaCl), Aluminiumchlorid (AlCl_3), Silberchlorid (AgCl), Bleichlorid (PbCl_2), Nickelchlorid (NiCl_2), Bismutchlorid (BiCl_3), Zinnchlorid (SnCl_2), Manganchlorid (MnCl_2), Cobaltchlorid (CoCl_2) sowie deren Kombinationen; und/oder

insbesondere wobei die Flussmittelzusammensetzung der chemischen Behandlung als Inhaltsstoffe Zinkchlorid (ZnCl_2) und gegebenenfalls mindestens ein Alkali- und/oder Erdalkalichlorid, insbesondere Kaliumchlorid (KCl) und/oder Natriumchlorid (NaCl), sowie gegebenenfalls Netzmittel und gegebenenfalls mindestens ein weiteres, von den vorgenannten Verbindungen verschiedenes Salz, ausgewählt aus der Gruppe von Chloriden, vorzugsweise aus der Gruppe von Ammoniumchlorid (NH_4Cl), Aluminiumchlorid (AlCl_3), Silberchlorid (AgCl), Bleichlorid (PbCl_2), Nickelchlorid (NiCl_2), Bismutchlorid (BiCl_3), Zinnchlorid (SnCl_2), Manganchlorid (MnCl_2), Cobaltchlorid (CoCl_2) sowie deren Kombinationen, umfasst; und/oder

insbesondere wobei die Flussmittelzusammensetzung der chemischen Behandlung als Inhaltsstoffe Salze und gegebenenfalls Netzmittel umfasst, insbesondere wobei die Flussmittelzusammensetzung wenigstens Zinkchlorid (ZnCl_2) und mindestens ein Alkali- und/oder Erdalkalichlorid, insbesondere Kaliumchlorid (KCl) und/oder Natriumchlorid (NaCl), umfasst; und/oder

insbesondere wobei die Flussmittelzusammensetzung der chemischen Behandlung frei von Ammoniumchlorid (NH_4Cl) ist; und/oder insbesondere wobei die Flussmittelzusammensetzung der chemischen Behandlung zumindest im Wesentlichen kein Ammoniumchlorid (NH_4Cl) enthält; und/oder

insbesondere wobei das Flussmittelbad der chemischen Behandlung einen Salzgehalt von mindestens 20 Gew.-%, insbesondere von mindestens 30 Gew.-%, bevorzugt von mindestens 50 Gew.-%, besonders bevorzugt von mindestens 60 Gew.-%, bezogen auf das Flussmittelbad, aufweist; und/oder

insbesondere wobei das Flussmittelbad der chemischen Behandlung einen Salzgehalt von höchstens 90 Gew.-%, insbesondere von höchstens 85 Gew.-%, bevorzugt von höchstens 80 Gew.-%, besonders bevorzugt von höchstens 75 Gew.-%, bezogen auf das Flussmittelbad, aufweist; und/oder

insbesondere wobei das Flussmittelbad der chemischen Behandlung einen Salzgehalt im Bereich von 20 Gew.-% bis 90 Gew.-%, insbesondere im Bereich von 30 Gew.-% bis 85 Gew.-%, bevorzugt im Bereich von 50 Gew.-% bis 80 Gew.-%, besonders bevorzugt im Bereich von 60 Gew.-% bis 75 Gew.-%, bezogen auf das Flussmittelbad, aufweist; und/oder

insbesondere wobei das Flussmittelbad der chemischen Behandlung einen Salzgehalt im Bereich von 100 g/l bis 800 g/l, insbesondere im Bereich von 140 g/l bis 720 g/l, bevorzugt im Bereich von 170 g/l bis 670 g/l, besonders bevorzugt im Bereich von 200 g/l bis 600 g/l, aufweist; und/oder

insbesondere wobei die Flussmittelzusammensetzung der chemischen Behandlung die folgenden Inhaltsstoffe aufweist, wobei alle nachfolgend genannten Mengenangaben auf die Flussmittelzusammensetzung bezogen sind und derart auszuwählen sind, dass insgesamt 100 Gew.-% resultieren:

(i) Zinkchlorid (ZnCl_2), insbesondere in Mengen im Bereich von 50 bis 95 Gew.-%, insbesondere im Bereich von 50 bis 90 Gew.-%, bevorzugt im Bereich von 60 bis 85 Gew.-%, besonders bevorzugt im Bereich von 65 bis 82,5 Gew.-%, noch mehr bevorzugt im Bereich von 70 bis 82 Gew.-%,

(ii) Ammoniumchlorid (NH_4Cl), insbesondere in Mengen im Bereich von 0 bis 50 Gew.-%, insbesondere im Bereich von 6 bis 40 Gew.-%, bevorzugt im Bereich von 7 bis 35 Gew.-%, besonders bevorzugt im Bereich von 8 bis 25 Gew.-%, noch mehr bevorzugt im Bereich von 10 bis 20 Gew.-%,

(iii) Natriumchlorid (NaCl), insbesondere in Mengen im Bereich von 0,1 bis 20 Gew.-%, insbesondere im Bereich von 0,5 bis 15 Gew.-%, bevorzugt im Bereich von 1 bis 12,5 Gew.-%, besonders bevorzugt im Bereich von 2 bis 10 Gew.-%, noch mehr bevorzugt im Bereich von 4 bis 8 Gew.-%, und

(iv) Kaliumchlorid (KCl), insbesondere in Mengen im Bereich von 0,1 bis 15 Gew.-%, vorzugsweise im

Bereich von 0,2 bis 12,5 Gew.-%, bevorzugt im Bereich von 0,4 bis 10 Gew.-%, besonders bevorzugt im Bereich von 0,5 bis 8 Gew.-%, noch mehr bevorzugt im Bereich von 0,8 bis 6 Gew.-%.

10. Feuerverzinktes Eisen- oder Stahlbauteil (1) nach einem der Ansprüche 7 bis 9,

wobei die chemische Behandlung mittels Beizbehandlung in einem Beizbehandlungsmittel erfolgt; insbesondere wobei die Beizbehandlung der chemischen Behandlung mit einem salzsäurehaltigen und/oder salzsäurebasierten Beizbehandlungsmittel erfolgt, insbesondere wobei das Beizbehandlungsmittel einen pH-Wert von weniger als 5 aufweist; und/oder insbesondere wobei die Beizbehandlung der chemischen Behandlung mit einem sauren Beizbehandlungsmittel, insbesondere mit einem Beizbehandlungsmittel mit einem pH-Wert von weniger als 5, erfolgt; und/oder insbesondere wobei das Beizbehandlungsmittel Eisen enthält, insbesondere in Form von zwei- und/oder dreiwertigen Eisenionen; und/oder insbesondere wobei das Beizbehandlungsmittel Zink mit einem Gehalt von mindestens 10 g/l enthält; und/oder insbesondere wobei das Beizbehandlungsmittel Zink mit einem Gehalt von mindestens 10 g/l enthält und einem Eisengehalt in Höhe von höchstens 20 % des Zinkgehalts aufweist; und/oder insbesondere wobei das Beizbehandlungsmittel mindestens ein Additiv, insbesondere mindestens ein Beizadditiv, enthält, insbesondere ausgewählt aus der Gruppe von Korrosionsinhibitoren, Beizreinigern, Beizbeschleunigern und Beizverstärkern sowie deren Kombinationen.

11. Feuerverzinktes Eisen- oder Stahlbauteil (1) nach einem der Ansprüche 7 bis 10,

wobei die mechanische Behandlung eine abrasive Behandlung umfasst; insbesondere wobei die abrasive Behandlung ausgewählt ist aus der Gruppe von Strahlen, insbesondere Sandstrahlen, Wasserstrahlen und/oder Trockeneisstrahlen, Abschleifen, Abbürsten, Lasern sowie deren Kombinationen.

12. Feuerverzinktes Eisen- oder Stahlbauteil (1) nach einem der Ansprüche 7 bis 11,

wobei der elektrische Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht des verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere des eine Zinkschicht aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, vor der Aktivierungsbehandlung ermittelt wird; insbesondere wobei die Art und/oder Dauer und/oder Intensität der Aktivierungsbehandlung in Abhängigkeit vom elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht des verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere des eine Zinkschicht aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, erfolgt; und/oder insbesondere wobei die Aktivierungsbehandlung in Abhängigkeit vom elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht des verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere des eine Zinkschicht aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, nur eine Flussmittelbehandlung oder aber eine Beizbehandlung und eine Flussmittelbehandlung umfasst;

13. Feuerverzinktes Eisen- oder Stahlbauteil (1) nach Anspruch 12,

wobei bei einem elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht von höchstens $500 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, insbesondere bestimmt gemäß DIN EN ISO 17475 und/oder DIN 50918, insbesondere mittels potentiostatischer Polarisationsmessung, als Aktivierungsbehandlung zumindest eine Flussmittelbehandlung erfolgt; und/oder wobei bei einem elektrischen Widerstand an der Oberfläche der Zinkschicht von mehr als $500 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$, insbesondere bestimmt gemäß DIN EN ISO 17475 und/oder DIN 50918, insbesondere mittels potentiostatischer Polarisationsmessung, als Aktivierungsbehandlung zumindest zunächst eine Beizbehandlung und anschließend eine Flussmittelbehandlung erfolgt, insbesondere wobei nach der Beizbehandlung und vor der Flussmittelbehandlung ein Spülvorgang erfolgt, insbesondere durch Eintauchen in ein Wasserbad.

14. Feuerverzinktes Eisen- oder Stahlbauteil (1) nach einem der Ansprüche 7 bis 13,

wobei vor der Ermittlung des elektrischen Widerstands die Zusammensetzung der Zinkschicht, insbesondere der Feuerverzinkungsschicht, ermittelt wird, insbesondere mittels laserinduzierter Plasmaspektroskopie; insbesondere wobei die Messung und/oder Messparameter des elektrischen Widerstands an die Zusammensetzung der Zinkschicht, insbesondere der Feuerverzinkungsschicht, angepasst wird.

15. Feuerverzinktes Eisen- oder Stahlbauteil (1) nach einem der Ansprüche 7 bis 14,

wobei das verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil, insbesondere das eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisende Eisen- oder Stahlbauteil, vor der Aktivierungsbehandlung einer Überprüfung unterzogen wird; und/oder

wobei das verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil, insbesondere das eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisende Eisen- oder Stahlbauteil, vor der Aktivierungsbehandlung auf die Eignung zur Regeneration und/oder Wiederaufbereitung und/oder Wiederverwendung überprüft wird;

insbesondere wobei die Überprüfung durch optische und/oder mechanische und/oder induktive und/oder elektrische und/oder chemische Verfahren erfolgt; und/oder

insbesondere wobei das verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil, insbesondere das eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisende Eisen- oder Stahlbauteil, in Bezug auf mindestens eine spezifische Eigenschaft und/oder einen spezifischen Prüfparameter überprüft wird, insbesondere ausgewählt aus der Gruppe von: Zustand und/oder Art der vorhandenen Zinkschicht; Zusammensetzung und/oder Güte und/oder

Stärke des Stahlteils; Korrosionsgrad und/oder Verschleiß des Stahlteils; optischer Zustand des Stahlteils; Deformation des Stahlteils gegenüber der ursprünglichen Ausgangsform; Grad der Verschmutzung der vorhandenen Zinkschicht; Art und/oder Konzentration von Oxidationsprodukten der Zinkschicht; Art und/oder Konzentration von Ablagerungen, insbesondere von Salzen, Oxiden, Hydroxiden und Fetten; Kennzeichnung des Stahlteils; Vorhandensein und/oder Zustand von Befestigungsmöglichkeiten, insbesondere Bohrungen, Gewinden und/oder Durchbrechungen; und Vorhandensein artfremder Beschichtungsstoffe; und/oder

insbesondere wobei das verzinkte Eisen- oder Stahlbauteil, insbesondere das eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisende Eisen- oder Stahlbauteil, in Abhängigkeit der Überprüfung vorbereitet wird, insbesondere durch Entfetten, Korrekturformen, Pressen, Walzen, Biegen, Bohren und/oder Schneiden; und/oder

insbesondere wobei die Aktivierungsbehandlung, insbesondere die abrasive Behandlung, des verzinkten Eisen- oder Stahlbauteils, insbesondere des eine Zinkschicht, vorzugsweise Feuerverzinkungsschicht, aufweisenden Eisen- oder Stahlbauteils, in Abhängigkeit der Überprüfung erfolgt, insbesondere derart, dass vorhandene Verschmutzungen, Ablagerungen und/oder Korrosionsprodukte entfernt werden.

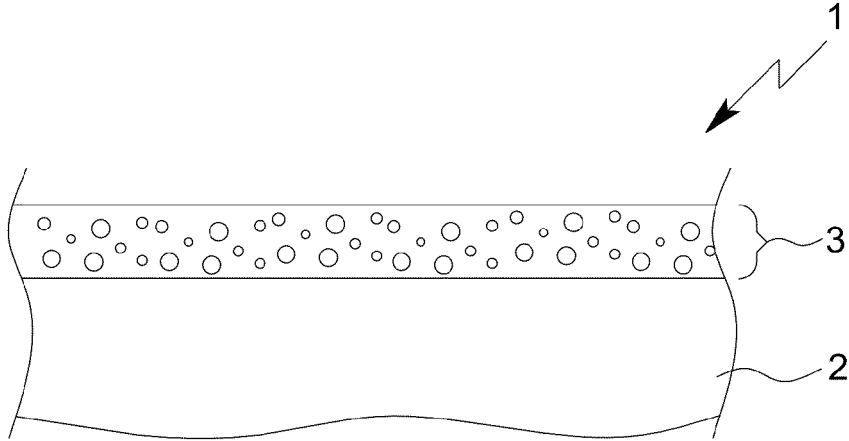


Fig. 1

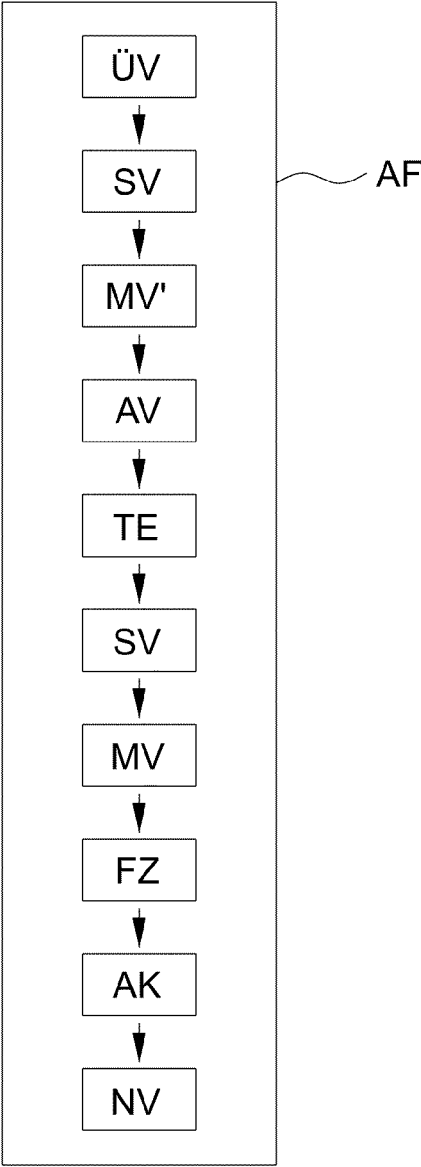


Fig. 2

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- WO 2002042512 A1 **[0023]**
- EP 1352100 B1 **[0023]**
- DE 60124767 T2 **[0023]**
- US 20030219543 A1 **[0023]**
- DE 102014013160 A1 **[0188]**