



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT  
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑪ CH 692 297 A5

⑤① Int. Cl.<sup>7</sup>: C 04 B 041/00  
C 23 F 015/00

**Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein**

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ **PATENTSCHRIFT A5**

⑳ Gesuchsnummer: 01259/96

㉔ Anmeldungsdatum: 19.05.1996

㉔ Patent erteilt: 30.04.2002

④⑤ Patentschrift  
veröffentlicht: 30.04.2002

㉔ Inhaber:  
Dipl.-Ing. Hans-Joachim Badzong, Wydlerweg 23,  
8047 Zürich (CH)

㉔ Erfinder:  
Dipl.-Ing. Hans-Joachim Badzong, Wydlerweg 23,  
8047 Zürich (CH)

㉔ Vertreter:  
Isler & Pedrazzini AG, Gotthardstrasse 53,  
8023 Zürich (CH)

⑤④ **Calciumhydroxid-Realkalisierverfahren.**

⑤⑦ Es wird ein Verfahren vorgestellt zur Wiederherstellung des alkalischen Milieus in karbonatisierten Betonoberschichten durch Aktivierung des betoneigenen Calciumhydroxids (CH). In Anlehnung an beobachtete Naturvorgänge wird ein elektrochemisches Verfahren beschrieben, das unter Anwendung von Trocken-/Nass-Zyklen eine Realkalisierung der karbonatisierten Oberschicht und eine Repassivierung der nicht mehr alkalisch vor Korrosion geschützten Bewehrungsstähe anstrebt. Der alkalische Zementstein mit pH-Wert 11 bis 13 wird unter Einfluss von CO<sub>2</sub> aus der Luft von der Betonoberfläche in die Tiefe zeitabhängig chemisch verändert zu karbonatisiertem Zementstein mit pH-Wert unter 9 bis 10. Dieser bietet im Gegensatz zum alkalischen Zementstein keinen Korrosionsschutz mehr für die bei Stahlbetonbauwerken in den Beton eingelegten Bewehrungsstähe. Ein frühzeitiges Erkennen des Problems und Wiederherstellen der vor Korrosion schützenden alkalischen Umgebungsbedingungen der Bewehrung im Beton tragen dazu bei, die Dauerhaftigkeit der Bausubstanz zu erhalten.



## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Realkalisierung karbonatisierter Betonoberschichten und Repassivierung korrosionsgefährdeter Bewehrungsstähe.

Elektrochemische Verfahren können zur Erhaltung von Betonbauwerken eingesetzt werden. Die Grundlagen elektrochemischer Realkalisierungsverfahren sind in einer Vielzahl von Veröffentlichungen enthalten. Daher ist das Vorgehen an sich als bekannt vorauszusetzen. Eine korrosionsschutztechnische Problemdarlegung findet sich unter anderem in «Korrosion und Korrosionsschutz (Teil 5), elektrochemische Schutzverfahren für Stahlbetonbauwerke» Dokumentation D065 des Schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereins Zürich.

Der Alkalitätszustand in bestehenden Stahlbetonkonstruktionen. Der Zementstein im fertig hergestellten Beton enthält unter Gebrauchsbedingungen je nach Wasserzementwert WZ (Verhältnis von Zugabewasser/Zementgehalt) 10 bis 15 Vol-% Calciumhydroxid  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (Gelwasser). Daraus folgt, dass Beton mit einem üblichen Zementgehalt von  $300 \text{ kg/m}^3$  einen Gelwassererhalt von 30 bis 45 Litern hat. Bei Karbonatisierungstiefen um 20 Millimeter (Karbonatisierung:  $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ) fehlen dem Beton in der Oberschicht somit etwa 0,5 bis 1 Liter je  $\text{m}^2$  Oberfläche.

Die Aufgabe des Calciumhydroxid-Realkalisierungsverfahrens besteht darin, diesen Mangel aus dem Reservoir des Kernbetons wieder auszugleichen.

Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

Das Verfahren ist charakterisiert durch das Nutzen von Erkenntnissen aus einem in der Natur beobachteten Realkalisierungsphänomen und Nachstellen dieses Phänomens mittels zyklischer Sättigungs- und Austrocknungsphasen.

Dabei ist es in Übereinstimmung mit dem Anspruch 1 durch die Merkmale gekennzeichnet, dass ein elektrisches Feld angelegt wird, welches eine bereits bekannte Methode mit der Bewehrung im alkalischen Betonbereich als ein Element und eine auf die Betonoberfläche im elektrolytischen Medium aufgelegte Gewebematte als externe Elektrode, die hier auf Betonbauwerke angewendet wird, deren Bewehrungsanordnung ein Produzieren, Lösen und Transportieren von  $\text{OH}^-$ -Ionen zulässt.

Bei einer vorteilhaften Ausgestaltung ist das Verfahren gekennzeichnet durch den im elektrischen Feld ausgelösten elektrokinetischen Ionen-transport bis in den karbonatisierten Betonbereich durch ein Abbremsen der  $\text{OH}^-$ -Ionen durch gesteuerte Wasserdampfphasen als Massnahme gegen das Austreten und Entweichen ins elektrolytische Medium.

Ein Verfahren zur Wiederherstellung des alkalischen Milieus in karbonatisierten Betonoberschichten geschieht durch Aktivierung des betoneigenen Calciumhydroxids. In Anlehnung an beobachtete Naturvorgänge wird ein elektrochemisches Verfahren beschrieben, das unter Anwendung von Trocken-/Nasszyklen eine Realkalisierung der karbonatisierten Oberschicht und eine Repassivierung der

nicht mehr alkalisch vor Korrosion geschützten Bewehrungsstähe anstrebt.

In der nachfolgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels wird insbesondere auch auf die Figuren Bezug genommen. Diese zeigen:

Fig. 1 ein Diagramm einer Abfolge von Belüftungszyklen gegen die Wassersättigung,

Fig. 2 eine schematische Darstellung einer Betonrandzone einer Wandfassade mit Bewehrung und karbonatisierter Betonoberschicht, und

Fig. 3 eine vergrösserte Darstellung des Bereiches Bewehrung-Anodenmatte im Kreis III aus Fig. 2.

Dieses Verfahren setzt Bauteile aus üblichem Beton mit den Komponenten Zementstein, Gesteinszuschlag und Kapillarporen voraus. Der alkalische Zementstein mit pH-Wert 11–13 wird unter dem Einfluss von  $\text{CO}_2$  aus der Luft von der Betonoberfläche in die Tiefe zeitabhängig zunehmend chemisch verändert zu karbonatisiertem Zementstein mit pH-Wert unter 9–10. Dieser bietet im Gegensatz zum alkalischen Zementstein keinen Korrosionsschutz mehr für die bei Stahlbetonbauwerken in den Beton eingelagerten Bewehrungsstähe. Zunehmende Korrosionsrisiken für Bauwerke im Hoch-, Tief-, Brücken- und Industriebau sind die Folge. Ein frühzeitiges Erkennen des Problems und Wiederherstellen der vor Korrosion schützenden alkalischen Umgebungsbedingungen der Bewehrung im Beton tragen dazu bei, die Dauerhaftigkeit der Bausubstanz zu erhalten.

Das Verfahren unterscheidet sich vom Stand der Technik dadurch, dass bekannte Realkalisierungsverfahren mit auf die Betonoberfläche applizierter und in die Betonoberschicht penetrierter Fremdstoffe, die mittels elektrochemischer oder anderer Verfahren eine Realkalisierung des karbonatisierten Betons bzw. Repassivierung des Bewehrungsstahls von aussen nach innen anstreben.

Demgegenüber arbeitet das hier beschriebene Verfahren mit betoneigenen Stoffen aus dem Calciumhydroxid des alkalischen Zementsteins zur Realkalisierung des karbonisierten Betons bzw. Repassivierung des Bewehrungsstahls unter Einsatz von Trocken/Nasszyklen mit elektrokinetischem Transport von  $\text{OH}^-$ -Ionen von innen nach aussen.

Zu den Verfahrensgrundsätzen gehört die Betonkarbonatisierung und Realkalisierung in der Natur. Der Karbonatisierungsbereich der Betonrandzone (3 bis 5 Zentimeter Betonoberschicht mit Bewehrungslage) wird als Streubereich in einer Tiefe bis ca. 30 Millimeter angetroffen. Grössere Karbonatisierungstiefen sind selten und mehr als 40 bis 50 Millimeter werden praktisch nie erreicht. Horizontal verlaufende Betonoberflächen haben hingegen selten eine grössere Karbonatisierungstiefe als 3 bis 7 Millimeter. Der Grund liegt im Feuchte- und Austrocknungsverhalten solcher Betonrandzonen unter natürlicher Bewitterung. Es resultieren feuchteabhängige Ionentransporte und Diffusionserscheinungen in der Betonrandzone unter Bildung von mehr oder weniger ausgeprägten Dichtzonen in der unmittelbaren Betonoberschicht. Dieses Verhalten führt in

Nasszeiten zu einem steten natürlichen Realkalisierungsvorgang, unterbrochen durch Karbonatisierung in Trockenzeiten.

Aus dem Naturvorgang ist das hier verwandte Verfahren ableitbar. Das Calciumhydroxid-Realkalisierungsverfahren bezweckt eine zeitlich geraffte Ableitung der in der Natur beobachteten Realkalisierungsvorgänge und Wiederherstellung der alkalischen Milieus im Bewehrungsbereich und im bereits karbonisierten Zementstein. Mittels elektrochemisch unterstützter Nass-/Trockenzyklen wird das Verhalten in der Natur im Zeitrafferverfahren simuliert und der karbonisierte Randzonenbereich wieder in alkalischen Zustand versetzt (realkalisiert). Zusätzlich kann die Oberfläche zur dauerhaften Erhaltung der Realkalisierung mit einer Versiegelung oder anderen Mitteln versehen werden.

Die Durchführung des Verfahrens geschieht beispielsweise wie folgt in Zyklen. Die freie Beweglichkeit des Gelwassers im kristallinen Nadelnetz des Zementsteins ist grundlegend durch Adsorptionskräfte der inneren Baustofffläche behindert. Die Überwindung dieser Kräfte durch geeignete Dimensionierung des elektrischen Feldes (E-Feld), die Dauer der Verfahrensanwendung und Anzahl von Verfahrenszyklen mit abwechselnder (zyklischer) Wasser-/Trocknungsbehandlung ist Gegenstand des Verfahrens.

Die Anwendung von Nass-/Trockenzyklen im Wechsel von elektrochemischen Ionentransport- und Luft-Wassertransportphasen führt zur stufenweisen Alkalitäts-Anreicherung in der Betonoberfläche ohne Entweichen der OH<sup>-</sup>-Ionen. Es wird ein gesteuerter Ionentransport erreicht und verhindert, dass eine ungewollte OH<sup>-</sup>-Anreicherung an der Betonoberfläche bzw. im Elektrolyt stattfindet.

Der Ablauf der Nass-/Trockenzyklen und die Beendigung der Verfahrensanwendung erfolgt nach Massgabe der erfolgten Ladung und wird anhand der durchflossenen Anzahl Coulomb gesteuert. Eine permanente Überwachung des E-Feldes ist unerlässlich.

Die Fig. 1 zeigt die Wassersättigung 11 in Volumenprozent gegen die Zeit 12, in der eine Abfolge von Belüftungszyklen dargestellt ist. Somit ist die Angabe der Zyklenfolge im zeitlichen Ablauf der Verfahrensdurchführung dargestellt. Es sind drei Zyklen 1, 2 und 3 dargestellt. Bei einem Einzelzyklus wird zuerst eine Aufsättigung über 95 bis 97 Vol-% durchgeführt. Die zugehörige Zeitdauer 4 ist objektabhängig zu bestimmen. Dann folgt eine Phase des Einschaltens des E-Feldes mit Ionentransport. Auch hier gilt wieder, dass zugehörige Zeitdauer 5 objektabhängig zu bestimmen ist. Schliesslich folgt eine Luft-/Wasserdampfphase mit objektabhängiger Dauer 6.

Die Wirksamkeit der dargestellten Leistungskomponenten und ihr Zusammenwirken ist von Bauwerk zu Bauwerk verschieden. Daher ist durch diagnostische Voruntersuchungen zu klären, welche Kapillarporosität (Prüfung nach SIA 162/1), Anordnung und statistische Tiefenverteilung der Bewehrung (Prüfung mit Betondeckungsmessgerät) und der Karbonatisierungsstreubereich (Prüfung mit Phenolphthaleintest) vorliegen.

Zu den Anwendungseinzelheiten und -mechanismen kann ausgeführt werden. Bei der Verfahrensanwendung werden Anodenmatten in Form von Flutungskassetten oder gesättigten wasserhaltenden porösen Matten mit eingelegtem elektrisch leitendem Gewebe in flächenabhängig unterschiedlicher Grösse an der Betonoberfläche befestigt und Anschlüsse zur Bewehrung als Kathode hergestellt. Zur Verringerung des Zeitbedarfs für die Realkalisierung werden dem Wasser in der Anodenmatte leitfähigkeitsverbessernde Stoffe zugegeben (z.B. Kaliumkarbonat). Das elektrische Feld (E-Feld) wird aufgebaut mit Gleichstrom-Treibspannungen von 10–50 Volt, bei einer Stromstärke von objektabhängig 3 bis 5 A/m<sup>2</sup> Betonfläche (ca. 2 A/m<sup>2</sup> Bewehrung). Die E-Felder sind den Bauwerksgegebenheiten und Erfordernissen der Betonoberfläche unter Beachtung der Bauwerksintegrität anzupassen.

Die Anordnung der Massnahmen am Bauwerk, die Funktionsabläufe und weitere Angaben zu den ablaufenden Vorgängen und Mechanismen sind in der Fig. 2 ersichtlich. Die Fig. 2 zeigt die Betonrandzone einer Wandfassade mit Bewehrung und karbonisierter Betonoberfläche. Mit dem Bezugszeichen 20 ist die Wandoberfläche bezeichnet, an den sich der Fassadenbeton 21 anschliesst. Die Bewehrung 22 (Kathode) verfügt über einen Bewehrungsanschluss 23, der mit einem Gleichrichter 24 verbunden ist. Der Gleichrichter 24 ist mit einer Anodenmatte 25 verbunden, die aus dem Material Schaumstoff bestehen kann. Das Medium der Anodenmatte 25 ist wassergesättigt. Im Fassadenbeton 21 ist eine Zone von alkalischem Zementstein 26 mit einem pH-Wert im Bereich von 11 bis 13. Mit dem Bezugszeichen 27 wird auf die Pfeile hingedeutet, die die Wanderung der OH<sup>-</sup>-Ionen in Richtung Anode andeuten. Damit wird die karbonisierte Betonrandzone mit OH<sup>-</sup>-Ionen angereichert, was zu einer Repassivierung der Bewehrung durch OH<sup>-</sup>-Anreicherung führt.

Es werden also in der Fig. 2 die Anordnung des E-Feldes mit Anodenmatte, Gleichrichter und Bewehrungsanschluss sowie die dabei ablaufenden Ionenwanderungen mit Repassivierung der Bewehrungsfläche und Reaktionen dargestellt und die ablaufenden Mechanismen angegeben.

Der Bereich des strichlinierten Kreises III ist dann in der Fig. 3 vergrössert dargestellt. Gleiche Merkmale sind mit gleichen Bezugszeichen versehen. Die Karbonatisierung ist dem Bereich nach durch das Bezugszeichen 28 gekennzeichnet. Eine Passivschicht 29 am Stahl der Bewehrung 22 geschieht durch die Kathodenreaktion:  $O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4(OH)^-$ . Mit dem Bezugszeichen 30 ist der Kapillarporenraum bezeichnet.

Beim ablaufenden Realkalisierungsvorgang im E-Feld sind zwei verschiedene Mechanismen zu unterscheiden. Durch Ionenmigration wandern OH<sup>-</sup>-Ionen (Hydroxyl-Ionen) aus dem alkalischen Kernbeton des Kathodenbereichs (Bewehrung) in Richtung Betonoberfläche. Zum anderen wird die Umgebung der Bewehrungsstäbe im karbonisierten Bereich durch elektrochemischen Stoffumsatz alkalisch angereichert und repassiviert.

In der Wassertransportphase werden OH<sup>-</sup>-Ionen

huckepackartig gegen die Oberfläche transportiert. Dieser Transport endet am Wasserdampffilter, der mit der Trocknungsbehandlung wenige Millimeter unter der Betonoberfläche hergestellt wird. Hier werden die OH<sup>-</sup>-Ionen zurückgehalten, wodurch bei zunehmender Konzentration der Aufbau einer Alkalitätszone erfolgt.

5

Der Wirkungsnachweis der Realkalisierung erfolgt durch Kontrolle der neuen Alkalität der Betonober-schicht in 5-Millimeter-Schichten und Vergleich mit dem Status vor Durchführung des Verfahrens. In der Regel wird eine mindestens 100%ige Wiederherstellung der Alkalität angestrebt.

10

#### Patentansprüche

15

1. Verfahren zur Realkalisierung karbonatisierter Betonober-schichten und Repassivierung korrosions-gefährdeter Bewehrungsstähle, dadurch gekenn-zeichnet, dass zwischen der Bewehrung und einer im elektrolytischen Medium aufgelegten elektrisch leitenden Gewebematte als Anode ein elektrisches Feld zur elektrochemischen Aktivierung von OH<sup>-</sup>-Ionen im alkalischen Betonbereich sowie zu deren elektrokinetischem Transport in die karbonisierte Betonober-schicht bzw. Anreicherung am Bewehrungsstahl aufgebaut wird, zyklisch abgelöst durch einen für die Überführung des Wassers in Wasserdampf auf der Betonoberfläche aufgebautem Luftstrom mit resultierender Bremsung dieser Ionen unterhalb der Wasserdampffront, derart, dass die karbonatisierte Betonober-schicht unter Anreicherung von OH<sup>-</sup>-Ionen wieder in einen alkalischen Zustand mit pH-Wert über 10–11 versetzt und die korrosionsgefährdete Bewehrung innerhalb der Ober-schicht mit einem neuen vor Korrosion schützenden alkalischen Mantel versehen wird.

20

25

30

35

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekenn-zeichnet, dass der Schritt der Aufsättigung bis zum Erreichen von 95 bis 97 Vol-% Wasser durchgeführt wird.

40

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Gewebematte in Form einer Flutungskassette oder einer gesättigten wasserhaltenden porösen Matte mit einem als externe Elektrode eingelegtem elektrisch leitendem Gewebe vorliegt, dass sie an der Betonoberfläche befestigt wird und Anschlüsse zur Bewehrung als Kathode hergestellt werden.

45

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass dem in der Gewebematte vorhandenen Wasser leitfähigkeitsverbessernde Stoffe zugegeben sind.

50

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekenn-zeichnet, dass der leitfähigkeitsverbessernde Stoff Kaliumkarbonat ist.

55

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das elektrische Feld aufgebaut wird mit Gleichstrom-Treibspannungen von 10–50 Volt und einer Stromstärke von 0,5 bis 3 A/m<sup>2</sup> Betonfläche.

60

65

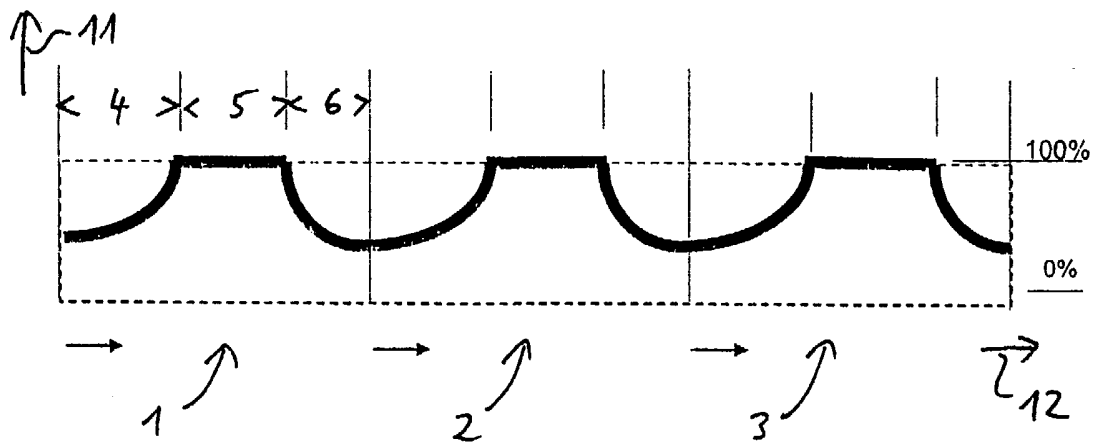


Fig. 1

