

Untersuchung der korrosionsfördernden
Wirkung von Alkali- und
Erdalkaliformiaten in Betonzusatzmitteln
auf Betonstahl

T 1926

T 1989

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	1
2. Versuchsprogramm	2
3. Herstellen der Prüfkörpern	4
4. Versuchsdurchführung	5
5. Versuchsergebnisse	6
6. Beurteilung der Ergebnisse und Folgerungen	8
7. Schrifttum	11

1. Einleitung

Aufgrund bauaufsichtlicher Regelungen ist für Zusatzmittel aller Wirkungsgruppen nachzuweisen, daß bei der elektrochemischen Prüfung keine korrosionsfördernde Wirkung auf Betonstahl erkennbar ist. Dieser Nachweis gilt nach den Richtlinien für Betonzusatzmitteln seit 1984 als erbracht, wenn an Mörtel-elektroden aus Mörtel mit der zweifachen zulässigen Menge an Betonzusatzmittel bei der elektrochemischen Prüfung im potentiostatischen Halteversuch bei keinem der untersuchten Prüfkörper im Zeitraum von 1 bis 24 h nach Beginn des Versuchs die Stromdichte $10 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ Stahloberfläche überschritten wird [1].

Bei dieser bauaufsichtlich routinemäßig geforderten elektrochemischen Untersuchung wurden verschiedentlich nach der Prüfung bei Inaugenscheinnahme der in den Mörtel-elektroden eingebetteten Stahlstäbe geringe Korrosionserscheinungen festgestellt, obwohl die Stahlstäbe vorher frei von Korrosion waren. Da in diesen Fällen die Stromdichte von $10 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ bei weitem nicht erreicht wurde, ist nicht auszuschließen, daß solche Erscheinungen ein Hinweis auf korrosionsfördernde Wirkstoffe darstellen.

Ähnliche Beobachtungen wurden auch vor 1984 gemacht, als bei der elektrochemischen Untersuchung nach den Richtlinien für Betonzusatzmittel eine anodische Stromspannungskurve bei potentiodynamischer Versuchsanordnung aufgezeichnet wurde [2]. Auch hierbei wurden gelegentlich Rostansätze am Stahlstab festgestellt, obwohl nur eine sehr geringe Abweichung der anodischen Stromspannungskurve des Prüfmörtels mit Zusatzmittel von derjenigen des Vergleichsmörtels ohne Zusatzmittel vorlag. Bei einer Wiederholung der Versuche traten in beiden Fällen - unabhängig von der Versuchsdurchführung bei der elektrochemischen Prüfung - oftmals ähnliche Korrosionserscheinungen nicht wieder auf.

All diesen Beobachtungen war gemeinsam, daß die untersuchten Betonzusatzmittel Alkali- und/oder Erdalkaliformiate enthielten. Alkali- und Erdalkaliformiate üben auf die Hydratation von Zement, ähnlich wie Chloride oder Thiocyanate, eine beschleunigende Wirkung aus; sie werden daher als Wirkstoffe in Beschleunigern (BE) verwendet.

Aufgrund dieser gelegentlichen Beobachtungen bei formiathaltigen Zusatzmitteln erschien es notwendig zu untersuchen, ob und in welchem Umfang Alkali- und/oder Erdalkaliformiate eine korrosionsfördernde Wirkung auf Betonstahl ausüben können. Die Untersuchungen sollten insbesondere klären, ob und inwieweit Formiate ähnlich wie Chloride oder Thiocyanate bei Betonstahl eine anodische Teilreaktion (Metallauflösung) bewirken können [3].

Das Institut für Bautechnik, Berlin, stellte die zur Klärung der Frage notwendigen finanziellen Mittel zur Verfügung.

2. Versuchsprogramm

Das Versuchsprogramm umfaßte elektrochemische Prüfungen und Auslagerungsversuche an Mörtelzylindern mit einem zentrisch eingebetteten Stahlstab.

Um bei der elektrochemischen Prüfung einen Einfluß auf die Ergebnisse durch die Art der Versuchsanordnung weitgehend auszuschließen, wurde diese als

- galvanodynamischer,
- potentiostatischer und
- potentiodynamischer Versuch

durchgeführt.

Die Auslagerung wurde bis zu einer Lagerungsdauer von 360 Tagen bei

- 20 °C und 95 - 100 % relativer Luftfeuchte,
- 20 °C und 65 % relativer Luftfeuchte und
- im Freien

vorgenommen. Dabei waren insgesamt 9 Überprüfungen in Zeitabständen zwischen 28 bis 45 Tagen vorgesehen.

Die spezifische Wirkung der Formiate sollte durch weitere Wirkstoffe unbeeinflusst bleiben. Daher wurden keine formiat-haltigen, handelsüblichen Betonzusatzmittel, sondern Formiate in chemisch reiner Form verwendet. Dem Prüfmörtel wurde

- Natriumformiat [HCOONa],
- Kaliumformiat [HCOOK],
- Calciumformiat [(HCOO)₂Ca]

sowie im Vergleich hierzu

- Calciumchlorid [CaCl₂·2 H₂O]

in unterschiedlichen Zugabemengen zugegeben.

Um bezogen auf den Zement gleiche Teilchenmengen der untersuchten Wirkstoffe in die Untersuchung miteinbeziehen zu können, wurde die Zusatzmenge in mol Formiat (HCOO⁻) bzw. mol Chloridion (Cl⁻) gewählt und je kg Zement 0,1 mol bis 1 mol Formiat bzw. Chlorid in Stufen von 0,1 mol zugegeben.

Die Zusatzmengen wurden relativ hoch gewählt, weil die Wirkung des Formiations gegenüber dem Chloridion vergleichsweise geringer einzuschätzen war. Die Wirkung von Chloriden bei niedrigerer Zusatzmenge wurde im Vergleich zu Thiocyanaten bereits früher untersucht [3].

Zum Vergleich wurde als Nullversuch ein Prüfmörtel ohne Zusatz (Vergleichsmörtel) in die Untersuchung einbezogen. Um den Versuchsaufwand zu begrenzen, wurden die Einflußgrößen Zementart, Wasserzementwert und Stahlart nicht variiert.

3. Herstellen der Prüfkörper

Als Prüfkörper wurden zylindrische Mörtelproben mit 5 cm Durchmesser und 12 cm Länge gewählt. Ein glatter Rundstahl aus St 37-2 von 6 mm Durchmesser und 15 cm Länge wurde zentrisch so eingebettet, daß die Mörteldeckung des Rundstahlstabes am kalottenförmig ausgebildeten Stabende rd. 19 mm betrug.

Jeweils 3 Prüfkörper wurden aus einer Mörtelmischung nach DIN 1164 Teil 7 hergestellt. Für die Herstellung dieser Mörtelmischung wurde neben dem zu untersuchenden Wirkstoff Portlandzement PZ 45 F-HS, Normsand und deionisiertes Anmachwasser verwendet. Die Wirkstoffe, deren Zugabemengen in Tabelle 1 auch in Gramm angegeben sind, wurden im Anmachwasser aufgelöst. Über die Normeigenschaften des verwendeten Portlandzementes gibt Tabelle 2 Auskunft.

Der Mörtel wurde in 3 Lagen in die Probeform eingebracht und bei fest eingespanntem Stahlstab in Anlehnung an DIN 1164 Teil 7 verdichtet.

Je Mörtelvariante wurden 33 Prüfkörper hergestellt. Davon waren für die elektrochemische Prüfung insgesamt 6 Prüfkörper und zwar jeweils 2 für den galvanodynamischen, den potentiostatischen und den potentiodynamischen Versuch vorgesehen; für die Auslagerungsversuche standen insgesamt 27 Prüfkörper zur Verfügung, jeweils einer für jeden der neun Prüftermine jeder der drei Lagerungsvarianten.

Die Prüfkörper lagerten nach der Herstellung zunächst 24 Stunden in der Form bei Raumtemperatur in feuchtigkeitsgesättigter Luft. Nach dem Entschalen wurden die für die elektrochemische Prüfung vorgesehenen Prüfkörper bis zur Prüfung im Alter von 48 Stunden in gesättigte Calciumhydroxidlösung eingelegt; die anderen Prüfkörper lagerten nach dem Entschalen bis zum Beginn der Auslagerung 6 Tage bei 20 °C und 100 % relativer Luftfeuchte.

4. Versuchsdurchführung

Für die elektrochemischen Prüfungen wurden die in den Bildern 1 und 2 dargestellten Versuchseinrichtungen verwendet.

Beim galvanodynamischen Versuch (sogenannter Mehrstufenversuch) wurde nach zehnmütiger stromloser Potentialmessung (Ruhepotential) in 10 Schritten mit jeweils zehnmütiger Haltezeit die Stromdichte in Schritten von $6,4 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ Stahloberfläche von 0 auf $64 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ Stahloberfläche gesteigert und das sich einstellende Potential aufgezeichnet.

Beim potentiodynamischen Versuch wurde nach Einstellung des Ruhepotentials das Potential kontinuierlich um $0,160 \text{ mV}/\text{sec}$ bis zum Erreichen einer Stromdichte von $80 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ Stahloberfläche gesteigert und die sich ergebende Stromdichte-Potential-Kurve aufgezeichnet.

Beim potentiostatischen Versuch (sog. Halteversuch) wurde die Mörtelelektrode über eine Gegenelektrode bei einem Potential von $+ 500 \text{ mV}$, bezogen auf die Normalwasserstoffelektrode, gehalten. Der für die Aufrechterhaltung dieses Potentials erforderliche Strom wurde registriert und daraus die Stromdichte in $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ Stahloberfläche ermittelt.

Für die elektrochemischen Messungen wurde als Bezugselektrode eine gesättigte Kalomelektrode verwendet.

Nach der elektrochemischen Prüfung wurden die Prüfkörper 14 Tage bei 20°C und 100% relativer Luftfeuchte gelagert, dann der Länge nach gespalten und der eingebettete Stahlstab augenscheinlich auf beginnende Korrosionserscheinungen (Rostansatz) überprüft.

Die ausgelagerten Proben wurden nach 28, 56, 90, 125, 180, 225, 270, 315 und 360 Tagen Lagerungsdauer ebenfalls der Länge nach gespalten und der eingebettete Stahlstab augenscheinlich auf

beginnende Korrosionserscheinungen (Rostansatz) untersucht. Darüberhinaus wurde die Dicke der karbonatisierten Mörtelschicht mit Hilfe des Phenolphthaleintests ermittelt.

5. Versuchsergebnisse

5.1 Allgemeine Angaben

Die Ergebnisse der elektrochemischen Untersuchung sind getrennt für Natrium-, Kalium-, Calciumformiat und Calciumchlorid in den Tabellen 3 bis 6 zusammengestellt. Die Tabellen 7 bis 9 enthalten für jede Lagerungsvariante die Beobachtungen des Korrosionszustandes der Stahlstäbe sowie die Karbonatisierungsmessungen bei den Auslagerungsversuchen.

Beispielhaft sind darüberhinaus für die elektrochemischen Versuche in den Bildern 3 und 4 die Stromdichte-Potentialkurven bei galvanodynamischer Prüfung und Kaliumformiatzusatz bzw. potentiodynamischer Prüfung und Calciumformiatzusatz dargestellt. Bild 5 zeigt den Stromdichte-Zeitverlauf bei potentiostatischer Versuchsanordnung und Natriumformiatzusatz.

5.2 Elektrochemische Prüfungen

Die Ergebnisse der elektrochemischen Prüfungen haben keinen Hinweis gegeben, daß natrium-, kalium- und calciumformiat-haltige Probekörper ein unterschiedliches Verhalten aufweisen. Bei den Probekörpern trat an etwa 1 % der Probekörper unabhängig von der Zugabemenge und unabhängig davon, ob Natrium-, Kalium- oder Calciumformiat zugegeben worden war, in sehr geringem Ausmaß punktförmige Korrosion auf, die sich nicht in den Stromdichte-Potentialkurven bzw. Stromdichte-Zeitkurven bemerkbar machte. Die punktförmigen Korrosionserscheinungen waren in der Regel von schwarzer Farbe. Bei Zugabe von Chloriden traten rotbraune Korrosionserscheinungen auf, die sich mit zunehmender Chloridzugabemenge flächenartig verstärkten.

Bei den galvanodynamischen Versuchen mit Formiatzusatz verliefen die Stromdichte-Potentialkurven entsprechend den Zugabemengen nahe bei der Nullkurve im geringfügig negativeren Bereich. Die festgestellte Verschiebung zu geringfügig leicht negativeren Kurvenverläufen lag im Streubereich der Nullkurve.

Die Stromdichte-Potentialkurven bei den potentiodynamischen Versuchen mit Formiatzusatz verlaufen im Vergleich zur Nullkurve bis zu einer Zugabemenge von 0,2 mol im geringfügig positiveren Potentialbereich, ab einer Zugabemenge von 0,5 mol demgegenüber im geringfügig negativeren Potentialbereich.

Bei den potentiostatischen Versuchen mit Formiatzusatz liegen die Stromdichten nach 1 Stunde Versuchsdauer bei rd. $0,2 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ und fallen im Laufe der 24stündigen Versuchsdauer auf $0,1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ ab.

Ab einer Zugabemenge von 0,1 mol Chlorid weichen die Stromdichte-Potentialkurven der galvanodynamischen und potentiodynamischen Versuche deutlich von der Nullkurve ab und verlaufen ab einer Zugabemenge von 0,2 mol Chlorid durchwegs im negativen Bereich. Bei potentiostatischer Versuchsanordnung hat sich bei einer Zugabemenge von 0,1 mol Chlorid nach einstündiger Versuchsdauer eine Stromdichte von $2,8 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ und nach 24 Stunden von $4,6 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ eingestellt. An den eingebetteten Stahlstäben traten bei einer Zugabemenge ab 0,2 mol Chlorid Rostansätze auf.

Vergleicht man die Ergebnisse der elektrochemischen Prüfung von chloridhaltigen Probekörpern mit denen von formiathaltigen Probekörpern, ergibt sich

- daß bei Chloridzugabe ein Grenzwert angegeben werden kann, ab dem der Kurvenverlauf auf Korrosion hindeutet,
- demgegenüber bei Formiatzugabe der Kurvenverlauf keine Korrosion erwarten läßt.

5.3 Auslagerungsversuche

Die Auslagerungsversuche haben ergeben, daß an 19 % der ausgelagerten Prüfkörper mit Formiatzusatz kleine Korrosionspunkte festgestellt werden konnten. Die schwarz gefärbten Korrosionspunkte traten meistens an der Spitze der Stahlstäbe auf. Im einzelnen wiesen 16 % der Prüfkörper mit Natriumformiatzusatz, 19 % der Prüfkörper mit Kaliumformiatzusatz und 24 % der Prüfkörper mit Calciumformiatzusatz Korrosionspunkte auf. Die Lagerung in 20 °C und 65 % r.L. hat bei 23 % der Prüfkörper, die Lagerung in 20 °C und 100 % r.L. bei 16 % und die Lagerung im Freien bei 20 % der Prüfkörper Korrosionspunkte ergeben. Eine Abhängigkeit der Korrosionspunkte von der Formiatzugabemenge und der Lagerungsdauer konnte nicht beobachtet werden.

Ab einer Lagerungsdauer von 28 bis 56 Tagen traten bei chloridhaltigen Prüfkörpern ab einer Zugabemenge von 0,1 mol Chlorid Korrosionspunkte auf. Die Korrosionspunkte wiesen eine rotbraune Farbe auf und verstärkten sich mit zunehmenden Chloridgehalten flächenartig.

Die Probekörper mit Formiatzusatz waren nach 28 Tagen Lagerungsdauer etwa 0,5 bis 1,5 mm, nach 90 Tagen etwa 0,5 bis 2,5 mm und nach 360 Tagen etwa 0,5 bis 3,0 mm karbonatisiert. Probekörper mit Chloridzusatz waren nach 28 Tagen Lagerungsdauer etwa 0,5 bis 1,0 mm, nach 90 Tagen etwa 0,5 bis 1,5 mm und nach 360 Tagen etwa 0,5 bis 2,0 mm karbonatisiert.

6. Beurteilung der Ergebnisse und Folgerungen

Unabhängig davon, ob die Prüfkörper Natrium, Kalium- oder Calciumformiat enthielten und unabhängig von den Zugabemengen, trat bei den durchgeführten Untersuchungen ein unsystematisches Verhalten auf. Die Stromdichte-Potentialkurven der galvano- und potentiodynamischen Untersuchungen und die Stromdichte-Zeitkurven

der potentiostatischen Untersuchungen haben keinen Hinweis auf die beim Aufschlagen der Prüfkörper nach 14 Tagen an den Stahlstäben gelegentlich festgestellte punktförmige Korrosion ergeben. Bei den Lagerungsversuchen trat ebenfalls gelegentlich, unabhängig der Zugabemenge, der Lagerungsdauer und der Lagerungsart Korrosion auf.

Eine Erklärung für dieses Phänomen "gelegentliche Korrosion" kann nicht gegeben werden. Es ist vorstellbar, daß die Korrosion vor abgeschlossener Passivschichtbildung stattfindet. In diesem, auf etwa 24 Stunden anzusetzenden Zeitraum nach der Herstellung der Probekörper, sind folgende Faktoren vorhanden, die eine gelegentliche Korrosion bewirken können:

- a) Der Frischmörtel für die Herstellung der Probekörper weist noch vergleichsweise hohe Gehalte an Sauerstoff auf,
- b) im Zementleimwasser befinden sich hohe Konzentrationen an Ionen aus dem Zement (z.B. Sulfationen) sowie die Formationen,
- c) die Oberfläche der Stahlstäbe befindet sich in einem hochaktiven Zustand, da die Stahlstäbe vor dem Einbau blank geschmirgelt und mit Aceton entfettet und gereinigt werden.

Diese Annahme einer "gelegentlichen Korrosion vor Ausbildung einer wirksamen Passivschicht" stützt sich auch auf die Beobachtung, daß die Mehrzahl der Korrosionspunkte an der kalottenförmig ausgebildeten Spitze des Stahlstabes aufgetreten sind.

An dieser Stelle dürften mehr Fehlstellen in der Stahloberfläche vorliegen als in der Mantelfläche der Stahlstäbe.

Sowohl die elektrochemischen Untersuchungen als auch die Auslagerungsversuche haben gezeigt, daß die Formiation in den untersuchten Zugabemengen in seinem Korrosionsverhalten nicht mit dem Chloridion verglichen werden kann. Chloridionen im Beton bewirken schon ab 0,1 mol Chlorid/kg Zement deutliche Korrosion. Formiationen verursachen bei abgeschlossener Passivschichtausbildung an der Stahloberfläche keine Korrosion. Die gelegentlich aufgetretenen Korrosionspunkte dürften vor oder während der Passivschichtbildung entstanden sein. Bei der elektrochemischen Beaufschlagung der Stahloberfläche bis zur anodischen Sauerstoffbildung haben die Formiationen an diesen Stellen keine weitergehende Korrosion verursacht. Auch gaben die Lagerungsversuche bis 360 Tage keinen Hinweis auf einen zeitabhängigen Korrosionsmechanismus.

Die Versuchsergebnisse legen es nahe, die Verwendung von Formiaten als beschleunigenden Wirkstoff in Betonzusatzmitteln bei Stahlbeton nicht einzuschränken.

8. Schrifttum

- [1] Richtlinien für die Zuteilung von Prüfzeichen für Betonzusatzmittel (Prüfrichtlinien) - Fassung Februar 1984 - Mitteilungen Institut für Bautechnik, Berlin, 3/1984

- [2] Richtlinien für die Zuteilung von Prüfzeichen für Betonzusatzmittel (Prüfrichtlinie) - Fassung März 1973 - Mitteilungen Institut für Bautechnik, Berlin, 3/1973

- [3] Manns, W., und W. Eichler: Zur korrosionsfördernden Wirkung von thiocyanathaltigen Betonzusatzmitteln; Betonwerk + Fertigteil-Technik, H. 3 (1982)

Tabelle 1: Zusatzmengen der untersuchten Wirkstoffe in mol bzw. g je kg Zement

$\frac{\text{mol HCOO}^- \text{ bzw. mol Cl}^-}{\text{kg Zement}}$	$\frac{\text{g HCOO}^-}{\text{kg Zement}}$	$\frac{\text{g HCOONa}}{\text{kg Zement}}$	$\frac{\text{g HCOOK}}{\text{kg Zement}}$	$\frac{\text{g (HCOO)}_2\text{Ca}}{\text{kg Zement}}$	$\frac{\text{g Cl}^-}{\text{kg Zement}}$	$\frac{\text{g CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}{\text{kg Zement}}$
0	0	0	0	0	0	0
0,1	4,5	6,8	8,4	6,5	3,5	5,6
0,2	9,0	13,6	16,8	13,0	7,1	11,1
0,3	13,5	20,4	25,2	19,5	10,6	16,7
0,4	18,0	27,2	33,6	26,0	14,1	22,2
0,5	22,5	34,0	42,0	32,5	17,6	27,8
0,6	27,0	40,8	50,4	39,0	21,3	33,3
0,7	31,5	47,6	58,8	45,5	24,8	38,9
0,8	36,0	54,4	67,2	52,0	28,3	44,4
0,9	40,5	61,2	75,6	58,5	31,9	50,0
1,0	45,0	68,0	84,0	65,0	35,4	55,5

Tabelle 2: Ergebnisse der Prüfung von PZ 45 F-HS

MAHLFEINHEIT (Mittel aus 2 Versuchen)			
Rückstand auf dem Sieb 0,2 DIN 4188		0,0 Gew.-%	
ERSTARREN			
Wasseranspruch		27,6 Gew.-%	
Erstarrungsbeginn nach	2 h	25 min	
Erstarrungsende nach	3 h	55 min	
RAUMBESTÄNDIGKEIT			
Kochversuch bestanden			
FESTIGKEITEN			
Biegezugfestigkeit			
im Alter von			
2 Tagen	5,5; 5,3; 5,5;	im Mittel	5,4 N/mm ²
7 Tagen	7,3; 7,4; 6,9;	im Mittel	7,2 N/mm ²
28 Tagen	8,1; 8,1; 8,1;	im Mittel	8,1 N/mm ²
Druckfestigkeit			
im Alter von			
2 Tagen	33,6; 32,3; 33,3; 34,1; 32,4; 33,0;	i.M.	33,1 N/mm ²
7 Tagen	51,2; 50,4; 49,2; 50,4; 49,6; 51,2;	i.M.	50,3 N/mm ²
28 Tagen	59,6; 58,8; 60,4; 59,2; 59,2; 59,6;	i.M.	59,5 N/mm ²

Tabelle 3: Ergebnisse der elektrochemischen Untersuchung bei Natriumformiat

Untersuchungsart	Zugabemenge mol/kg Zement											
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
Galvanodynamisch												
Rostansatz	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	
Abweichung von der Nullkurve	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Ruhepotential in mV	-280	-320	-380	-360	-360	-340	-350	-320	-360	-370	-320	
Potentiostatisch												
Rostansatz	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	
Stromdichte ₂ in $\mu\text{A}/\text{cm}^2$												
nach: 1 Std.	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	
24 Std.	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
Größtwert nach ... Std.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Potentiodynamisch												
Rostansatz	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	
Abweichung von der Nullkurve	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Ruhepotential in mV	-300	-280	-300	-270	-320	-300	-280	-310	-310	-290	-320	

Tabelle 4 : Ergebnisse der elektrochemischen Untersuchung bei Kaliumformiat

Untersuchungsart	Zugabemenge - mol/kg Zement											
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
Galvanodynamisch												
Rostansatz	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	
Abweichung von der Nullkurve	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Ruhepotential in mV	-300	-340	-270	-480	-320	-450	-280	-320	-280	-270	-280	
Potentiostatisch												
Rostansatz	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Stromdichte ₂ in $\mu\text{A}/\text{cm}^2$												
nach 1 Std.	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	
24 Std.	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
Größtwert nach ... Std.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Potentiodynamisch												
Rostansatz	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	
Abweichung von der Nullkurve	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Ruhepotential in mV	-340	-410	-270	-350	-300	-310	-380	-400	-390	-400	-375	

Tabelle 5 : Ergebnisse der elektrochemischen Untersuchung bei Calciumformiat

Untersuchungsart	Zugabemenge mol/kg Zement											
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
Galvanodynamisch												
Rostansatz	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-
Abweichung von der Nullkurve	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ruhepotential in mV	-340	-370	-360	-370	-360	-350	-350	-360	-350	-370	-340	-340
Potentiostatisch												
Rostansatz	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-
Stromdichte in $\mu\text{A}/\text{cm}^2$												
nach 1 Std.	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2
24 Std.	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Größtwert nach ... Std.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Potentiodynamisch												
Rostansatz	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-
Abweichung von der Nullkurve	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ruhepotential in mV	-400	-210	-490	-340	-390	-480	-340	-360	-330	-300	-340	-340

Tabelle 6 : Ergebnisse der elektrochemischen Untersuchung bei Calciumchlorid

Untersuchungsart	Zugabemenge mol/kg Zement								
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
Galvonodynamisch									
Rostansatz	-	+	+	+	+	+	+	+	+
Abweichung von der Nullkurve	-	+	+	+	+	+	+	+	+
Ruhepotential in mV	-320	-410	-390	-430	-470	-520	-490	-610	-730
Potentiostatisch									
Rostansatz	-	-	+	+	+	+	+	+	+
Stromdichte in $\mu\text{A}/\text{cm}^2$									
nach 1 Std.		2,8	6,1	12,0	10,8	11,8	14,7	11,9	12,1
24 Std.		4,6	9,3	20,8	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50
Größtwert		4,6	9,3	20,8	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50
nach ... Std.		24	24	24	24	24	24	24	24
Potentiodynamisch									
Rostansatz		-	-	+	+	+	+	+	+
Abweichung von der Nullkurve		-	+	+	+	+	+	+	+
Ruhepotential in mV	-180	-420	-370	-480	-570	-620	-580	-590	-620

Tabelle 7: Ergebnisse der Lagerungsversuche bei 20°C und 100 % relativer Luftfeuchte

Probekörper mit Zusatz	Zugabemenge ¹⁾ mol HCOO ⁻ bzw. mol Cl ⁻ /kg Zement	Rostansatz (R) und Karbonatisierungstiefe (K) der Prüfkörper																	
		im Alter von Tagen																	
		28		56		90		135		180		225		270		315		360	
		R	K	R	K	R	K	R	K	R	K	R	K	R	K	R	K	R	K
		mm		mm		mm		mm		mm		mm		mm		mm			
Formiat als Natriumformiat HCOONa	0,10	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5
	0,20	+	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	+	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5
	0,30	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	+	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5
	0,40	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5
	0,50	-	<0,5	+	<0,5	-	<0,5	+	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5
	0,60	-	<0,5	-	<0,5	+	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5
	0,70	+	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	1,0	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5
	0,80	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	-	<0,5
	0,90	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	+	<0,5	-	<0,5	-	<0,5
	1,00	-	<0,5	+	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5
Formiat als Kaliumformiat HCOOK	0,10	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5
	0,20	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	+	<0,5	-	<0,5	-	1,0	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5
	0,30	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5
	0,40	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	+	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5
	0,50	+	<0,5	-	1,0	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	+	<0,5	-	1,0	-	1,0
	0,60	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5
	0,70	-	<0,5	+	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5
	0,80	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5
	0,90	-	<0,5	+	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	+	<0,5	-	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5
	1,00	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	+	<0,5	-	<0,5	+	<0,5	-	<0,5
Formiat als Calciumformiat (HCOO) ₂ Ca	0,10	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	+	<0,5
	0,20	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	+	<0,5	-	<0,5
	0,30	-	<0,5	+	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5
	0,40	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5
	0,50	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5
	0,60	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	+	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	+	<0,5	-	<0,5
	0,70	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5
	0,80	-	<0,5	-	<0,5	+	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	+	<0,5	-	<0,5
	0,90	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	+	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	+	<0,5
	1,00	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	+	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5
Chlorid als Calciumchlorid CaCl ₂ ·2H ₂ O	0,00	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5
	0,10	-	<0,5	+	<0,5	-	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	-	<0,5	+	<0,5	-	<0,5	-	<0,5
	0,20	+	<0,5	-	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	-	<0,5	+	<0,5	+	<0,5
	0,30	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5
	0,40	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5
	0,60	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5
	0,80	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5

1) Molzahl des Bestandteils Cl⁻ bzw. HCOO⁻ bezogen auf 1 kg Zement

Tabelle 8 : Ergebnisse der Lagerungsversuche bei 20° C und 65 % relativer Luftfeuchte

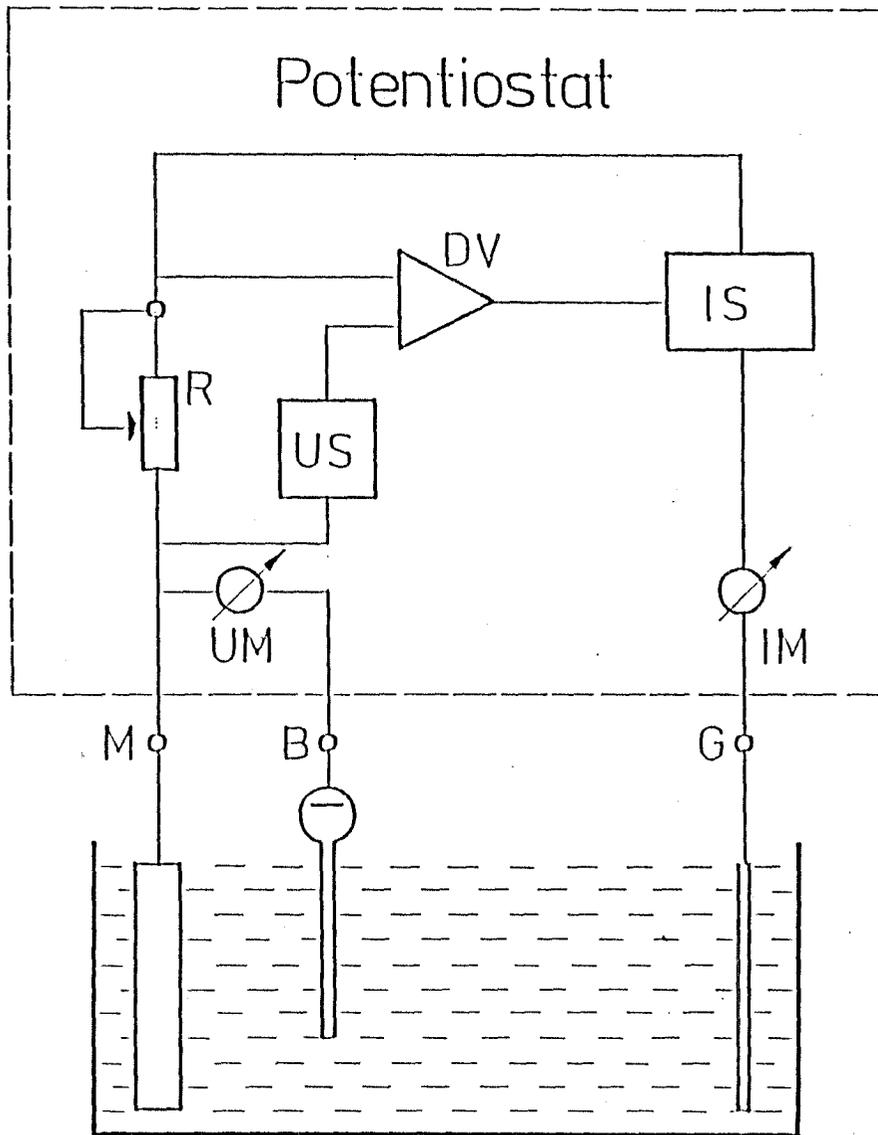
Probekörper mit Zusatz	Zugabemenge ¹⁾ mol Cl ⁻ bzw. mol HCOO ⁻ /kg Zement	Rostansatz (R) und Karbonatisierungstiefe (K) der Prüfkörper im Alter von Tagen																	
		28		56		90		135		180		225		270		315		360	
		R	K	R	K	R	K	R	K	R	K	R	K	R	K	R	K	R	K
		mm		mm		mm		mm		mm		mm		mm		mm		mm	
Formiat als Natrium- formiat HCCONa	0,10	-	0,5	-	1,0	-	2,0	-	2,0	-	2,0	-	2,0	-	1,5	-	2,0	+	2,0
	0,20	+	1,0	-	1,0	-	1,0	-	1,0	-	2,5	+	1,5	-	1,5	-	1,5	-	2,0
	0,30	-	<0,5	-	1,0	-	1,5	-	2,0	-	2,0	+	1,5	+	1,0	+	2,5	+	2,5
	0,40	-	1,0	-	1,5	+	1,5	+	2,0	-	2,0	-	2,0	-	2,5	-	2,0	-	2,0
	0,50	-	<0,5	-	1,0	+	1,0	-	1,0	-	2,0	+	1,5	-	1,5	-	1,0	-	1,5
	0,60	-	<0,5	+	1,0	-	1,0	-	1,0	-	1,0	-	0,5	-	1,0	-	1,0	-	1,5
	0,70	-	0,5	-	0,5	-	1,5	-	1,5	+	0,5	-	0,5	-	1,5	-	1,0	-	2,0
	0,80	-	0,5	-	0,5	-	1,5	-	0,5	-	0,5	-	0,5	-	1,5	-	1,0	-	2,0
	0,90	-	1,0	-	1,0	-	1,5	-	1,5	-	2,0	-	2,0	+	2,5	-	2,0	-	2,5
	1,00	-	1,0	+	1,0	-	1,0	+	2,0	-	1,5	-	2,0	-	2,0	-	2,0	-	2,0
Formiat als Kalium- formiat HCCOK	0,10	-	0,5	-	1,0	-	1,0	-	2,5	-	1,5	-	2,0	-	3,0	-	2,0	-	2,0
	0,20	-	1,0	-	2,0	-	2,0	-	2,5	+	2,5	-	3,0	-	2,5	+	2,0	+	2,0
	0,30	-	<0,5	+	1,0	-	1,5	-	2,0	-	2,0	-	2,0	+	2,0	+	2,0	-	2,0
	0,40	+	0,5	-	1,5	-	2,0	-	2,0	-	2,5	-	2,5	-	2,5	-	2,0	-	2,0
	0,50	-	1,5	-	1,5	-	1,5	-	2,0	-	2,0	+	2,0	+	2,0	-	2,0	-	2,0
	0,60	-	1,5	-	1,5	-	2,0	+	2,0	-	2,0	-	2,0	-	2,0	-	2,5	-	2,5
	0,70	-	1,0	-	1,0	+	2,0	-	1,0	-	1,0	-	1,5	-	1,0	-	1,0	-	2,0
	0,80	+	0,5	-	1,0	-	1,5	-	1,5	+	2,0	-	2,0	-	2,0	-	2,0	+	2,0
	0,90	-	1,0	-	1,0	+	2,0	-	2,0	-	2,0	+	2,0	-	2,5	+	2,5	+	3,0
	1,00	-	1,0	-	1,5	-	2,0	+	2,0	-	2,0	-	2,0	-	2,0	-	2,5	+	2,5
Formiat als Calcium- formiat (HCOO) ₂ Ca	0,10	-	1,0	-	1,0	-	1,5	-	1,0	+	0,5	+	1,5	-	1,0	-	0,5	+	<0,5
	0,20	+	1,0	-	1,0	-	3,0	-	1,0	+	1,5	-	1,0	+	1,5	+	2	+	1,0
	0,30	-	<0,5	-	1,0	+	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	+	<0,5
	0,40	-	0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	2,0	-	1,0	-	1,0	+	1,0	-	<0,5	-	0,5
	0,50	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5
	0,60	-	<0,5	+	1,0	-	<0,5	-	<0,5	+	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5
	0,70	-	<0,5	+	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	+	<0,5	-	<0,5
	0,80	+	<0,5	-	<0,5	+	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	+	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5
	0,90	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	+	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	+	<0,5	-	<0,5
	1,00	+	<0,5	-	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	+	<0,5	+	<0,5
Chlorid als Calcium- chlorid CaCl ₂ ·2H ₂ O	0,00	-	<0,5	-	1,0	-	1,5	-	1,0	-	2,0	-	1,5	-	1,5	-	1,5	-	1,5
	0,10	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	1,0	-	1,0	-	1,0	-	1,0	-	<0,5	-	1,0
	0,20	+	<0,5	-	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	-	<0,5	+	<0,5	+	<0,5
	0,30	+	<0,5	+	<0,5	-	<0,5	+	<0,5	-	<0,5	+	<0,5	-	<0,5	+	<0,5	+	<0,5
	0,40	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5
	0,60	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5
	0,80	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5

1) Molzahl des Bestandteils Cl⁻ bzw. HCOO⁻ bezogen auf 1 kg Zement

Tabelle 9 : Ergebnisse der Auslagerung im Freien

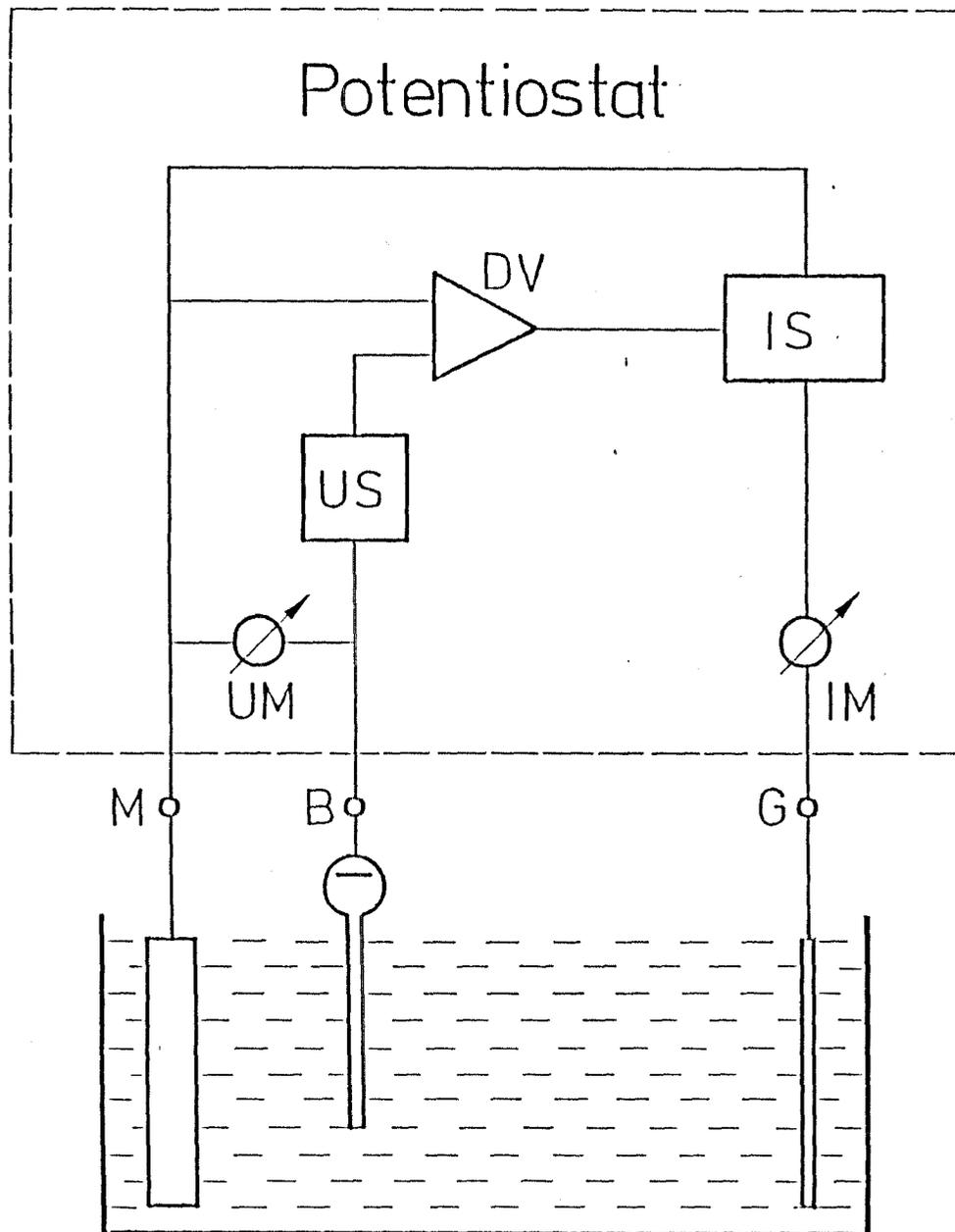
Probekörper mit Zusatz	Zugabemenge ¹⁾ mol Cl ⁻ bzw. mol HCOO ⁻ /kg Zement	Rostansatz (R) und Karbonatisierungstiefe (K) der Prüfkörper																	
		im Alter von Tagen																	
		28		56		90		135		180		225		270		315		360	
		R	K	R	K	R	K	R	K	R	K	R	K	R	K	R	K	R	K
		mm		mm		mm		mm		mm		mm		mm		mm			
Formiat als Natriumformiat HCOONa	0,10	-	1,5	-	1,5	-	2,0	-	2,0	-	2,0	-	1,5	-	1,5	-	1,5	-	2,0
	0,20	-	0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	+	1,0	-	1,0
	0,30	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	+	<0,5	-	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	-	<0,5	+	<0,5
	0,40	-	<0,5	-	2,0	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	+	<0,5	-	<0,5	-	<0,5
	0,50	-	0,5	-	1,5	+	2,0	+	1,5	-	3,0	-	2,0	+	2,0	-	3,0	-	3,0
	0,60	-	<0,5	+	1,0	+	1,0	+	2,0	+	2,0	-	2,0	-	2,0	-	3,0	-	2,0
	0,70	-	1,5	-	2,0	-	1,0	-	2,0	+	2,5	-	2,0	-	2,0	+	2,0	-	3,0
	0,80	+	0,5	-	1,0	-	2,0	-	2,0	-	2,0	-	2,0	-	2,5	-	3,0	-	2,5
	0,90	-	1,0	-	2,0	-	2,0	-	2,0	-	2,0	-	2,0	-	2,0	-	2,0	-	2,5
	1,00	-	1,0	-	1,0	-	1,5	-	1,5	-	1,5	-	2,0	-	2,0	-	2,5	-	3,0
Formiat als Kaliumformiat HCOOK	0,10	-	1,0	-	1,0	-	1,5	-	1,5	-	1,5	-	2,5	-	2,5	-	2,0	-	2,0
	0,20	-	0,5	-	1,0	-	1,5	-	2,0	-	2,5	-	2,0	+	2,5	+	1,0	+	1,5
	0,30	+	1,0	-	1,0	-	1,0	-	2,0	-	1,0	-	0,5	-	1,0	-	1,0	-	1,0
	0,40	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	+	<0,5	-	1,0	-	1,0	-	1,0	-	1,0
	0,50	-	1,0	-	1,0	-	1,5	+	2,0	-	2,5	-	3,0	-	3,0	-	2,5	-	3,0
	0,60	-	1,0	-	1,0	-	1,0	+	2,0	-	2,5	-	2,0	-	2,5	-	2,5	-	2,5
	0,70	+	1,5	-	1,0	-	2,5	-	2,0	-	3,0	+	2,5	-	3,0	+	2,0	-	3,0
	0,80	-	1,0	-	2,0	-	1,5	-	2,0	+	2,0	-	2,0	-	2,0	-	2,0	-	2,5
	0,90	-	1,0	+	1,5	-	1,5	+	2,0	-	2,5	-	2,0	-	2,0	-	2,0	+	2,5
	1,00	-	1,0	-	1,0	-	1,5	+	1,5	-	1,0	-	1,5	-	1,0	-	1,5	-	2,0
Formiat als Calciumformiat (HCOO) ₂ Ca	0,10	-	<0,5	-	<0,5	+	2,0	-	2,0	+	2,0	+	2,0	-	2,0	-	2,0	+	2,0
	0,20	-	1,0	-	1,0	-	2,0	+	1,0	-	2,0	-	<0,5	+	1,0	-	2,0	+	1,5
	0,30	-	0,5	+	1,0	+	1,0	-	1,5	-	1,5	-	1,5	-	1,5	-	1,5	-	2,0
	0,40	-	<0,5	+	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	+	<0,5	+	2,0
	0,50	-	1,0	-	1,0	-	1,0	-	1,0	-	1,5	-	1,0	-	1,0	-	1,5	-	1,0
	0,60	-	<0,5	+	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	+	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5
	0,70	+	0,5	+	1,0	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5
	0,80	+	<0,5	+	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	1,0	-	<0,5	+	1,0	-	<0,5
	0,90	-	1,0	-	1,0	-	0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	0,5	-	0,5
	1,00	+	<0,5	-	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	-	<0,5	+	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	<0,5
Chlorid als Calciumchlorid CaCl ₂ ·2H ₂ O	0,00	-	1,0	-	1,0	-	1,5	-	1,5	-	1,5	-	2,0	-	1,5	-	1,5	-	1,5
	0,10	-	<0,5	+	<0,5	+	1,0	-	1,0	-	1,0	-	1,5	-	2,0	-	1,5	-	1,5
	0,20	+	1,0	+	1,0	+	1,0	+	1,5	+	1,5	+	1,0	+	2,5	+	1,5	+	2,0
	0,30	+	<0,5	+	1,0	+	0,5	+	1,5	-	1,0	+	2,0	+	1,0	+	2,0	+	1,0
	0,40	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5
	0,60	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5
	0,80	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5	+	<0,5

1) Molzahl des Bestandteils Cl⁻ bzw. HCOO⁻ bezogen auf 1 kg Zement



- DV Differenzverstärker
- IS Stromregler
- US Sollspannungsgeber
- UM Spannungmeßgerät
 (Elektrodenpotential)
- IM Strommeßgerät
- M Mörtelektrode
- B Bezugselektrode
- G Gegenelektrode
- R Widerstand

Bild 1: Versuchsanordnung für die Elektrochemie bei galvanodynamischer Schaltung



- DV Differenzverstärker
- IS Stromregler
- US Sollspannungsgeber
- UM Spannungsmessgerät
(Elektrodenpotential)
- IM Strommessgerät
- M Mörttelektrode
- B Bezugselektrode
- G Gegenelektrode

Bild 2: Versuchsanordnung für die Elektrochemie bei potentiostatischer bzw. potentiodynamischer Schaltung

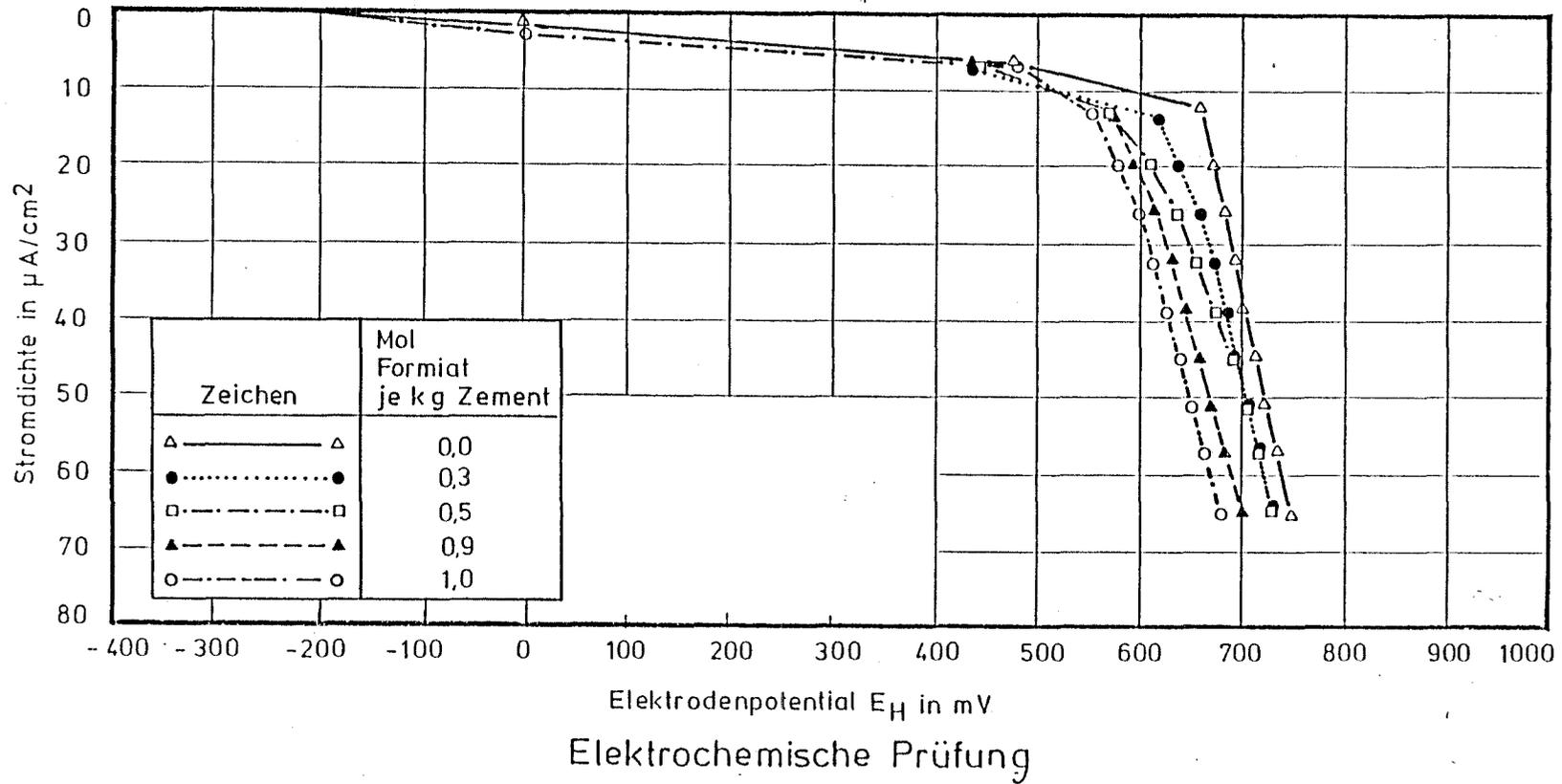


Bild 3: Stromdichte-Potential-Kurven an Mörtelelektroden mit Kaliumformiatzusatz bei galvanodynamischer Versuchseinrichtung

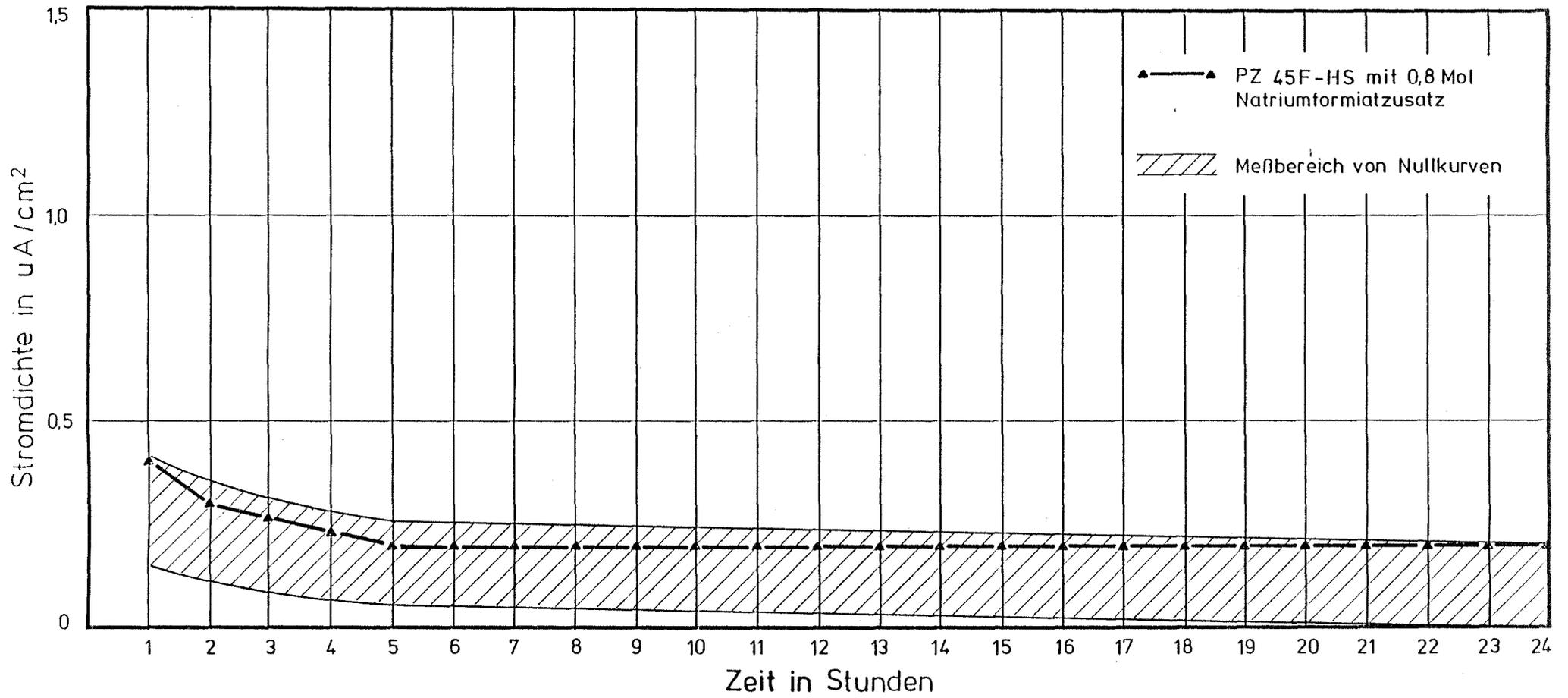


Bild 5: Stromdichte-Zeit-Kurven an Mörtelelektroden mit Natriumformiatzusatz (0,8 Mol) bei potentiostatischem Versuchsaufbau (Potentiostatischer Halteversuch bei 500 mV bezogen auf die Normalwasserstoffelektrode)