Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 109 (1991)

Heft: 12

Artikel: Bauwerksinspektion mittels Potentialmessung: Anwendung am Beispiel von Brückenplatten

Autor: Hunkeler, Fritz

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-85910

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 22.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Bauwerksinspektion mittels Potentialmessung

Anwendung am Beispiel von Brückenplatten

Die Potentialmessung zur Erfassung des Korrosionszustandes der Bewehrung von Stahlbetonbauwerken wird in der Schweiz seit etwa 1985 angewendet. Seither ist dieses Untersuchungsverfahren sukzessive verbessert worden. Nachfolgend wird der anwendungstechnische Stand der Kenntnisse wiedergeben. In einem späteren Beitrag werden dann praktische Beispiele vorgestellt.

VON FRITZ HUNKELER, ZÜRICH

In den letzten Jahren wurde verschiedentlich über die Potentialmessung bei Stahlbetonbauwerken zur Erfassung des Zustandes der Bewehrung berichtet (1-3). Die folgenden Ausführungen sollen die an vielen Objekten gewonnenen, praktischen Erfahrungen zusammenfassen und aufzeigen, wie die Potentialmessung als Hilfsmittel der Bauwerksinspektion und damit auch der Bauwerkserhaltung, beispielsweise bei Brückenplatten, optimal eingesetzt werden kann. Die grundsätzlichen Aspekte können auch auf andersartige Strukturen übertragen werden.

Auf die Grundlagen der Potentialmessung wird hier nicht näher eingegangen. Dazu sei auf die bestehende Literatur verwiesen (1-3).

Das Korrosionspotential, als Messgrösse bei der Potentialmessung, wird im wesentlichen durch folgende Faktoren bestimmt:

- Art des Metalls
- Art, Zusammensetzung und Verunreinigungen des Elektrolyten oder Mediums, in dem sich das Metall befindet
- Sauerstoffgehalt des Elektrolyten (bei Feststoffelektrolyten wie Böden oder Beton: abhängig vom Feuchtigkeitsgehalt)
- Temperatur
- Makroelemente wegen elektrischer Verbindung zu anderen Metallen im gleichen Elektrolyten oder zum gleichen Metall in einem anderen Elektrolyten
- Streuströme.

Die Korrosionspotentiale einiger wichtiger Gebrauchsmetalle in Mischböden zeigt *Tabelle 1*.

Makroelemente (= kurzgeschlossene galvanische Elemente) und Streuströme von Gleichstrombahnen können das Korrosionspotential zu negativeren oder positiveren Werten hin verschieben.

Bei Stahlbetonbauwerken kann das Korrosionspotential in einem weiten Bereich variieren *(Tabelle 2)*. Neben den vorher erwähnten Faktoren wirken bei Stahlbeton der Chloridgehalt und die Karbonatisierung des Betons potentialbestimmend.

Das Korrosionspotential eines korrodierenden, in chloridhaltigem Beton liegenden Stahles unterscheidet sich gemäss Tabelle 2 von jenem eines nichtkorrodierenden Stahles in gesundem Beton bis zu mehreren 100 mV. Diese Tatsache wird bei der Potentialmessung genutzt, um eine Aussage über den Zustand der Bewehrung zu machen.

Im Gegensatz zu vielen andern Untersuchungsverfahren ist die Potentialmessung (praktisch) zerstörungsfrei. Bei geeigneter Wahl des Messrasters erlaubt sie eine flächendeckende Aussage.

Für die Potentialmessung müssen folgende *Voraussetzungen* erfüllt sein:

- Es dürfen keine elektrisch isolierende Schichten zwischen Referenzelektrode (Mess-Sonde) und dem zu messenden Stahl im Beton vorhanden sein.
- Die Bewehrung sollte einigermassen elektrisch vermascht, d.h. metallisch leitend durchverbunden sein.
- Es muss ein Anschluss an die Bewehrung gemacht werden können.

Die *Potentialmessung erlaubt grundsätzlich*

- eine flächendeckende Aussage bzgl.
  - Lage und Ausmass von Korrosionsherden
  - Korrosionszustand der Bewehrung
  - Chloridverseuchung des Betons
  - Karbonatisierung des Betons
  - Zustand von Abdichtungen

  zu machen.
- eine Entscheidungsgrundlage zu liefern, ob und ggf. in welchem Umfang Erhaltungs- und Erneuerungsmassnahmen notwendig sind.
- den Erfolg von Erhaltungs- und Erneuerungsmassnahmen zu kontrollieren.

Anwendungsmöglichkeiten

Übersicht

Die Potentialmessung lässt sich in *zwei Verfahren* unterteilen:

- Punktmessung (oder Einzelelektrodenmessung)
- Potentialfeldmessung (oder Mehrelektrodenmessung).

Die *Tabelle 3* gibt eine Übersicht über die Merkmale der beiden Verfahren. Im Gegensatz zur Punktmessung ist es bei der Mehrelektrodenmessung wegen des engmaschigeren Messrasters von z.B. 15×15 cm möglich, die Potentialverteilung in der Ebene der Betonoberfläche bzw. das sogenannte Potentialfeld auszumessen und darzustellen. Deshalb nennt man dieses Verfahren auch Potentialfeldmessung. Der bei der Punktmessung i.a. weitmaschigere Messraster erlaubt in der Regel keine Darstellung des Potentialfeldes. Trotz

	V_{CSE}
Nichtrostender Stahl	+0,5 bis −0,2
Kupfer	+0,05 bis −0,15
Blei	−0,4 bis −0,6
Gusseisen/Stahl	−0,5 bis −0,6
Verzinkter Stahl	−0,8 bis −1,0
Aluminium	−0,5 bis −1,0
Magnesium	−1,4 bis −1,6

Tabelle 1. Das Korrosionspotential einiger Gebrauchsmetalle in Mischböden

	V_{CSE}
O_2-Elektrode	+0,5
Fe-Auflösung	−0,98
Eisen/Stahl in:	
anaeoroben Böden	bis −0,95
Lehm	−0,65 bis −0,8
Mischböden	−0,5 bis −0,6
gewaschenem Sand/Kies	−0,4
gesättigter $Ca(OH)_2$-Lösung	bis −1,1
O_2-freiem, durchnässtem Beton	bis −1,1
gesundem, normalfeuchtem Beton	0 bis −0,2
chloridhaltigem Beton	bis −0,6
karbonatisiertem Beton	+?? bis −0,5
trockenem Beton	+0,2 bis 0

Tabelle 2. Standardpotentiale der Sauerstoffelektrode und der Eisenauflösung und einige Korrosionspotentiale von Eisen/Stahl in verschiedenen Elektrolyten

Merkmal	Art der Potentialmessung	
	Punktmessung	Potentialfeldmessung
Anzahl Referenzelektroden	1	bis 8
Messraster: üblich von/bis	0,5×0,5 bis 1,0×2,0 m	0,15×0,15 m
Grenzen Minimum/Maximum	0,2×0,2 bis 3,0×3,0 m	
Messpunkte pro m²	0,1 bis 25	45
Leistung in m²/Tag	100 bis 1000 [1]	300 bis 2000 [1]
Grösse der Messgruppe	2 Personen	2-(3) Personen
Geeignet für		
- horizontale Flächen	ja	ja
- vertikale Flächen	ja	bedingt [2]
- Untersichten	ja	bedingt [2]
- komplexe Geometrien	ja	nein
Anforderungen an Betonoberfläche bzgl.		
- Betonfeuchtigkeit (Regen)	(keine) [3]	ja
- Rauhigkeit	keine	ja
Störeinflüsse		
- Regen	(nein) [3]	ja
- Strassen-, Baustellenverkehr	nein	(ja)
- isolierende Beläge, Beschichtungen	(ja) [4]	ja
- freiliegende Eisen/feuchter Beton	(nein) [3]	(ja)
- Hochspannungsbeeinflussung	ja?	ja?
Hauptanwendungen	alle Arten von Objekten und Problemstellungen	grössere horizontale Flächen, vorab im Rahmen von Erneuerungsarbeiten

[1] sehr variabel, je nach Objekt, Zugänglichkeit und Raster [2] nur mit zusätzlicher Haltevorrichtung [3] gleichmässige Betonfeuchtigkeit für Interpretation von Vorteil [4] können evtl. lokal durchbrochen werden

Tabelle 3. Übersicht über die charakteristischen Merkmale der Punkt- und Potentialfeldmessung

dieser Einschränkung erlaubt die Punktmessung bei geeignetem Vorgehen dennoch klare Aussagen hinsichtlich der Grösse von Korrosionsherden bzw. der Intensität der Korrosion.

Die Punktmessung ist im Gegensatz zur Potentialfeldmessung praktisch universell einsetzbar und benötigt nur einen relativ geringen messtechnischen Aufwand.

In der Praxis ist der Übergang zwischen reiner Punktmessung und Potentialfeldmessung fliessend. Welches dieser Verfahren an einem gegebenen Objekt zur Anwendung kommt, ist fallweise festzulegen.

Vergleich zu andern Untersuchungsverfahren

Zur Erhaltung von Stahlbetonbauwerken sind in den letzten Jahren verschiedene Normen und Empfehlungen ausgearbeitet worden (4,5). Dabei wird unter «Erhaltung» die Gesamtheit aller Massnahmen verstanden, die im Rahmen der Überwachung, des Unterhaltes und der Erneuerung durchgeführt werden.

In der *Tabelle 4* sind einige, heute übliche Untersuchungsverfahren zur Erfassung des IST-Zustandes von Stahlbetonbauwerken mit der Potentialmessung verglichen.

Die Potentialmessung als Mittel der Zustandsaufnahme von Bauwerken hat im Vergleich zu anderen Untersuchungsverfahren insbesondere den Vorteil, dass sie bei geeignetem Messraster eine flächendeckende Aussage erlaubt und praktisch zerstörungsfrei ist.

Eine flächendeckende Aussage ist insbesondere dann wichtig, wenn aufgrund der Resultate der Bauwerksinspektion Erhaltungsmassnahmen notwendig werden und der repräsentative Charakter der vorhandenen Informationen hinterfragt werden muss (sollte). Im Zusammenhang mit der Projektierung von Erneuerungsarbeiten stellt sich dann häufig die Frage nach dem notwendigen Umfang des Betonabbruches (Fläche, Tiefe).

Aus der Erfahrung der letzten Jahre darf ohne weiteres abgeleitet werden, dass die Potentialmessung in Zukunft eine breitere Anwendung findet als bisher *(Tabelle 5)*. Dabei sollte sie direkt anschliessend an die visuelle Inspektion durchgeführt werden. Auf der Basis der Resultate der Potentialmessung können die Entnahme von Bohrkernen und das Öffnen von Sondierschlitzen erfolgen. Dies erfordert sicherlich ein gewisses Umdenken beim Vorgehen zur Zustandserfassung von Bauwerken.

Spezialfälle

Aus verschiedenen Gründen können Stahlbetonbauwerke manchmal mit den bisher üblichen Mitteln nicht oder nur sehr ungenügend untersucht werden. In gewissen derartigen Fällen ist die Potentialmessung das einzige mögliche Untersuchungsverfahren, welches eine Aussage über den Zustand der Bewehrung erlaubt.

So kann unter Umständen die interessierende oder zu untersuchende Oberfläche einer Struktur wegen nicht gewünschter oder nicht möglicher Verkehrsbehinderung oder etwa wegen der Unzugänglichkeit (z.B. Bahnbrücken mit Geleisetrog), oder aus anderen Gründen (Abdichtungen, Beschichtungen, Beläge usw.), nur von der Gegenseite (Unter- oder Rückseite) her untersucht werden.

Praktische Durchführung

Allgemeines

Wie schon im vorhergehenden Kapitel betont, sollte die Potentialmessung in allen Untersuchungsstufen zukünftig verstärkt eingesetzt werden. Der Zeitpunkt für den Einsatz der Potentialmessung hängt von Faktoren wie Art und Ausmass der korrosiven Einwirkungen, Alter, Inspektionszyklen usw. ab. Er sollte aber möglichst so gewählt werden, dass Korrosionsschäden möglichst frühzeitig erkannt werden können, und nicht erst dann, wenn schon die visuelle Inspektion klare Hinweise auf Schäden ergab.

Grundsätzlich sollte die Potentialmessung vor zerstörenden Untersuchungsverfahren eingesetzt werden. Das Öffnen von Sondierschlitzen und die Entnahme von Bohrkernen können nach der Potentialmessung sehr gezielt vorgenommen werden. Dieses Vorgehen erlaubt eine besser abgestützte Aussage über den Zustand der Bewehrung als bisher. Gleichzeitig kann so das Ausmass der Zerstörung auf ein Minimum reduziert werden.

Um Aufwand und Nutzen zu optimieren, wird der Messraster bei der Punktmessung entsprechend des erwarteten Zustandes des Objektes (Erfahrung, visuelle Inspektion, bereits vorliegende andere Untersuchungsresultate usw.), und der Zielsetzung der Bauwerksinspektion festgelegt. Abhängig vom Ergebnis kann er örtlich oder ganzflächig verfeinert werden.

Im Gegensatz zur Potentialfeldmessung, bei der auch eine relativ grosse Zahl von Fehlmessungen ohne Einfluss auf das Endergebnis ist, zählt bei der Punktmessung jeder einzelne Messwert.

Potentialmessung an Brückenplatten

Die *Tabelle 6* gibt eine schematische Übersicht über die Möglichkeiten der

Potentialmessung an Brückenplatten. Dabei wird angenommen, dass der Zustand der oberen Bewehrung eher gefährdet und daher bei der Zustandsaufnahme von primärem Interesse ist.

Es können folgende Möglichkeiten unterschieden werden:

a) Punktmessung an der Unterseite
b) Punktmessung auf der Oberseite
c) Kombination von a und b
d) Potentialfeldmessung auf der Oberseite.

Auf die Varianten a, b und d wird im folgenden noch näher eingegangen.

Punktmessung an der Untersicht

Die Punktmessung an der Untersicht vom mobilen Brückenuntersichtsgerät oder Gerüst aus oder auch im zugänglichen Hohlkasten (Tabelle 6: Typ I bis III ist sicherlich die effizienteste Art der Potentialmessung im Rahmen von Zustandsaufnahmen.

Ist der Abstand zwischen Untersicht und Arbeitsbühne bzw. Boden des Hohlkastens grösser als etwa 2,2 m, so besteht die Möglichkeit, die Referenzelektrode auf ein Kunststoffrohr aufzusetzen. Damit können ab einer Arbeitsbühne ohne grössere Schwierigkeiten auch Messungen zwischen relativ hohen Längsträgern durchgeführt werden.

Wenn die Referenzelektrode direkt von Hand auf die Oberfläche aufgesetzt wird, so sollte der einzelne Messpunkt mit vernünftiger Genauigkeit eingemessen werden (z.B. ab Aussenkante Konsolkopf, Steg usw.). Muss die Referenzelektrode auf ein Kunststoffrohr aufgesetzt werden, um die Untersicht zu erreichen, so muss man sich mit dem Augenmass begnügen.

Wie aus der Tabelle 6 hervorgeht, muss der Messraster quer zur Brücke den jeweiligen Verhältnissen und der jeweiligen Zielsetzung der Untersuchung angepasst werden. Die Tatsache, dass die Auskragung wegen undichter Randabschlüsse, z.B. bei Fahrbahnentwässerungen entlang von Randsteinen, in vielen Fällen gefährdeter ist als der Bereich der Brückenmitte, wird mit einem engeren Messraster in diesem Bereich berücksichtigt. Der Abstand von Messpunkt zu Messpunkt in Querrichtung der Brücke variiert deshalb i.a. zwischen etwa 20 und 100 cm. Der Abstand zwischen den Messpunkten in Längsrichtung beträgt je nach Zielsetzung und laufenden Ergebnissen i.a. 1 bis 2 m (z.B. bei jedem Geländerpfosten und gegebenenfalls dazwischen).

Grundsätzlich hat sich folgendes **Vorgehen** bewährt:

a) Punktmessung an der Untersicht der Auskragung

Verfahren	*Aussage bez.*	*Bemerkung*
Visuelle Inspektion	Aussehen, Ausblühungen, Rissen, Abplatzungen, Überdeckung[1], Karbonatisierungstiefe[2]	Schaden nicht immer bzw. erst erkennbar, wenn bereits gravierend; meist nicht möglich, Schadenumfang richtig abzuschätzen
Bohrkernentnahme	Karbonatisierung, Chloridgehalt und -profil, Betonqualität	Auch bei optimaler Auswahl der Entnahmeorte nur orientierende Aussagen möglich, da Anzahl der Bohrkerne beschränkt; (zerstörend)
Sondieröffnungen	Karbonatisierung[3], Chloridgehalt und -profil[3], Betonqualität[3,4], Zustand Bewehrung[4] und Abdichtung[4], Überdeckung[5]	Ähnlich wie bei Bohrkernentnahme; auch bei ausgeklügelter Anordnung keine gesicherte Aussage über gesamte Struktur möglich; zerstörend
Potentialmessung	Karbonatisierung[6], Chloridgehalt[6], Zustand Bewehrung[6], Abdichtung[6,7]	Flächendeckende Aussagen möglich, da Messraster dem Bauteil bzw. dessen Zustand angepasst werden kann; zerstörungsfrei (nur Anschluss an Bewehrung notwendig); Zugänglichkeit zu einer Seite erforderlich

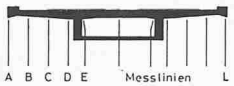
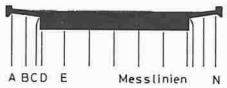
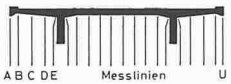
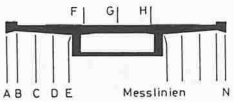
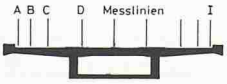
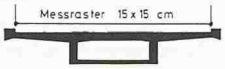
[1] mittels Überdeckungsmessgerät (magnetinduktive Verfahren), allerdings nur, wenn interessierende, d.h. zu untersuchende Seite zugänglich
[2] mittels Indikatorlösung (z.B. Phenolphthalein) auf frischer Betonoberfläche
[3] über Bohrkernentnahme in Sondieröffnungen
[4] visuelle Begutachtung
[5] mittels Massstab
[6] aus Messresultaten abgeleitete qualitative bis halbquantitative Aussagen
[7] nur bei Potentialmessungen an der Untersicht

Tabelle 4. Vergleich verschiedener Untersuchungsverfahren bez. Aussagefähigkeit

Nr.	*Einsatz für bzw. im Zusammenhang mit*[1]	*Art der Potentialmessung*	*Zielsetzung*
I	Periodische Überwachung; Hauptinspektionen	Punktmessung	*Frühzeitiges Erkennen* von Mängeln usw. am Bauwerk; grobes Lokalisieren und Abschätzen des Ausmasses von Korrosionsherden und von undichten Stellen bei Abdichtungen, → *frühzeitige Gegenmassnahmen*
II	Zusatz- und Sonderinspektionen	Punktmessung	*Lokalisieren* von (grösseren) Korrosionsherden und deren Ausmass; *Vorabklärungen* im Rahmen der Zustandsaufnahme im Hinblick auf Erhaltungs- und Erneuerungsmassnahmen, → *Basis für Projektierung*
III	Instandhaltung (baulicher Unterhalt) Erneuerung	Punkt- und Potentialfeldmessung	*Exaktes Lokalisieren* von Korrosionsherden und deren Ausmass; Angaben bez. Chloridverseuchung und Querschnittsverlust möglich, → *Ausmass des notwendigen Betonabbruches*
IV	Erfolgs- bzw. Qualitätskontrolle der Erhaltungsmassnahmen	Punktmessung	*Beurteilung des Erfolges* bzw. der Wirkung der durchgeführten Massnahmen, → *verbesserte Instandhaltungs- und Erneuerungskonzepte* für zukünftige Objekte

[1] Begriffe gemäss:
- SIA-Empfehlung 169, «Erhaltung von Ingenieur-Bauwerken», 1987 [4]
- VSS-Norm 640 390, «Gesamtbeurteilung des Zustandes von Kunstbauten», 1989 [5]

Tabelle 5. Einsatzmöglichkeiten der Potentialmessung zur Erhaltung von Stahlbetonbauwerken

Typ	Raster im Querschnitt[1]	Längs-raster[1]	Art der Potentialmessung	Bemerkungen
I		KP: 1-2 m HK: 2-3 m	Punktmessung	KP: Untersichtsgerät, (mobiles) Gerüst; Decke HK: ab Boden Hohlkasten oder bei grosser Höhe RE auf Kunststoffrohr aufsetzen
II		1-2 m	Punktmessung	KP und FBP: Untersichtsgerät, (mobiles Gerüst); Max. Plattendicke: vermutlich > 80 cm, unsicher, je nach Gegebenheiten und Zielsetzungen; RE i.a. von Hand aufsetzen
III		1-2 m	Punktmessung	KP und FBP zwischen LT: Untersichtsgerät, (mobiles) Gerüst; RE soweit wie möglich von Hand aufsetzen, sonst Kunststoffrohr als Verlängerung benützen
IV		KP: 1-2 m HK: 2-3 m	Punktmessung	KP: Untersichtsgerät, (mobiles) Gerüst; FBP über HK (nicht zugänglich, zu niedrig oder geschlossen): RE in Bohrlöchern (Ø bei Asphaltbelag: ≥30 mm, bei armiertem Betonbelag: ≥50 mm); Verletzung der vorhandenen Abdichtung
V		KP/FBP: 2-3 m	Punktmessung	Untersicht KP und FBP (nicht zugänglich): RE in Bohrlöchern in Fahrbahnbelag auf Oberseite; Anordnung des Messraster sehr wichtig, ggf. verfeinern; Verletzung der allenfalls vorhandenen Abdichtung
VI		15 cm	Potentialfeldmessung	Belag vollständig entfernt, Oberfläche nicht zu rauh oder unterschiedlich feucht; freiliegende Eisen können stören; geeignet für alle Arten von Brücken, speziell im Rahmen von Erhaltungsmassnahmen

1) Messraster den konstruktiven Details des Objektes, der Zielsetzung der Bauwerksinspektion etc. anpassen; ggf. verfeinern

Tabelle 6. Potentialmessung an Brückenplatten (schematische Übersicht); RE: Referenzelektrode; KP: Kragplatte bzw. Auskragung; HK: Hohlkasten oder Hohlzellen; FBP: Fahrbahnplatte; LT: Längsträger

b) Punktmessung in Brückenmitte, falls die Resultate der Messung a) auf Korrosionsherde in der Brükkenmitte hindeuten, oder wenn aus andern Gründen dies als sinnvoll oder notwendig erachtet wird.

c) Öffnen von Sondierschlitzen zur visuellen Begutachtung der Eisen und zur Entnahme von Bohrkernen. Beim Öffnen der Sondierschlitze kommt dem detaillierten, sorgfältig erstellten Protokoll eine ganz besondere Bedeutung zu.

Zahl und Grösse der Sondierschlitze richten sich nach den Ergebnissen der Potentialmessung. In der Regel sind pro Objekt 3 bis 5 Sondierschlitze à ca. 1 m² ausreichend.

d) Auswertung, Gewichtung der Resultate, Bericht.

In diesem Zusammenhang stellt sich die berechtigte Frage nach der Zuverlässigkeit der Potentialmessung an der Untersicht bzw. deren Aussagefähigkeit bezüglich Korrosionszustand der oberen Bewehrungslage. Diesbezüglich sind grundsätzlich nur zwei **einschränkende Gesichtspunkte** zu erwähnen, nämlich:

- Dicke der Platte
- Korrosion der unteren Bewehrungslage.

Mit der Potentialmessung werden grundsätzlich primär jene Eisen erfasst, die der Referenzelektrode am nächsten sind. Korrodieren die oberen Eisen, was bei Brückenplatten die Regel ist, so wird das Korrosionspotential der in der Nähe liegenden passiven, d.h. nicht korrodierenden Eisen zu negativeren Werten hin verschoben (Wirkung des Makroelementes), und zwar unabhängig, ob diese der oberen oder unteren Lage angehören. Selbstverständlich nimmt aber die negative Potentialverschiebung der passiven Eisen mit zunehmendem Abstand zum korrodierenden Eisen ab. Da die negative Beeinflussung mit zunehmendem horizontalen oder vertikalen Abstand zur Korrosionsstelle abnimmt, nimmt die Empfindlichkeit der Potentialmessung, Korrosionsherde zu lokalisieren, mit grösser werdendem Raster und mit zunehmender Plattendicke ab.

Die Empfindlichkeit der Potentialmessung wird aber neben der Plattendicke noch von weiteren Faktoren wie Grösse der Korrosionsherde, Betonfeuchtigkeit, Eisendichte, Betonqualität usw. beeinflusst. Deshalb kann keine exakte Angabe über die maximale Plattendikke gemacht werden. Die Potentialmessung an der Untersicht von bis zu 80 cm dicken Fahrbahnplatten wurde aber bereits mit Erfolg angewendet.

Die schon erwähnte Tatsache, dass mittels Potentialmessung jene Bewehrungseisen, die der Referenzelektrode am nächsten sind, erfasst werden, erfasst werden, bedeutet auch, dass Korrosionsherde der unteren Eisenlage eine Aussage über den Korrosionszustand der oberen Lage mittels Potentialmessung verunmöglichen. Dies führt nicht zu Fehlinterpretationen, wenn eine solche Situation erkannt wird, z.B. wegen Rostflecken im Beton.

Die bisherigen Erfahrungen zeigen, dass solche Verhältnisse i.a. nur örtlich, z.B. bei undichten Fugen oder Fahrbahnübergängen, Rissen, Einlaufschächten, bei zu kurzen Rohren der

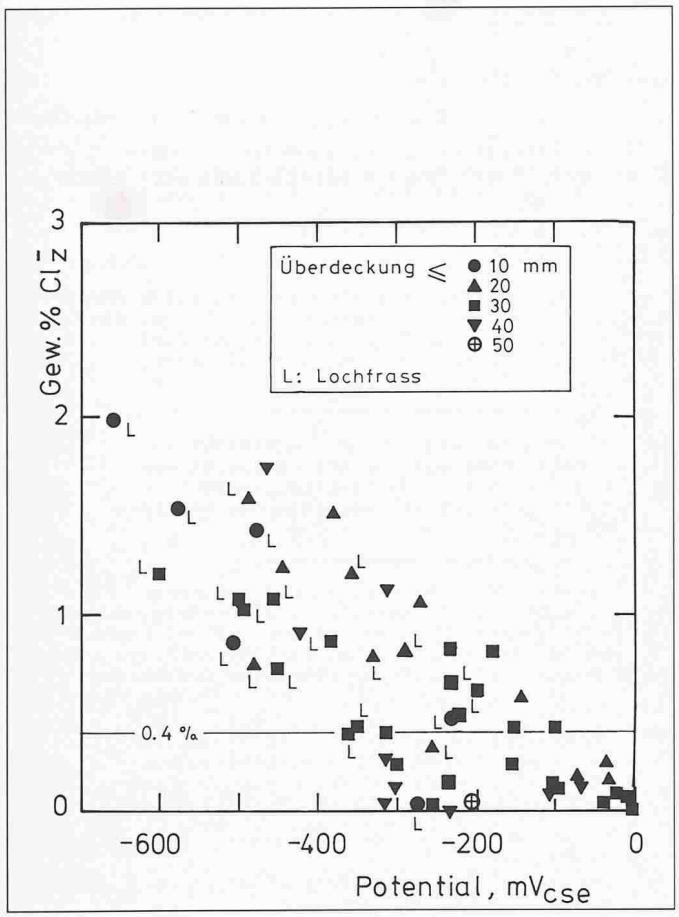


Bild 1. Zusammenhang zwischen Chloridgehalt auf Bewehrungsniveau in Gew.-% bezogen auf den Zementgehalt, Gew.-% Cl^-_z(Fe), und dem Korrosionspotential, aufgeschlüsselt nach der Höhe der Überdeckung. Soweit vorhanden, wurde zu den einzelnen Punkten eine Angabe bzgl. Lochfrasskorrosion gemacht. Die Resultate stammen aus Untersuchungen an verschiedenen Brückenplatten.
Die Neigung beträgt etwa −250 bis −300 mV/Gew.-% Cl^-_z(Fe).
In einigen Fällen wurde Lochfrasskorrosion auch unterhalb des 0,4% - Wertes beobachtet.
Weiter ist ersichtlich, dass bei Potentialen ≦ −200 mV Lochfrasskorrosion möglich, bei Potentialen ≦ −400 mV Lochfrasskorrosion sehr wahrscheinlich ist.

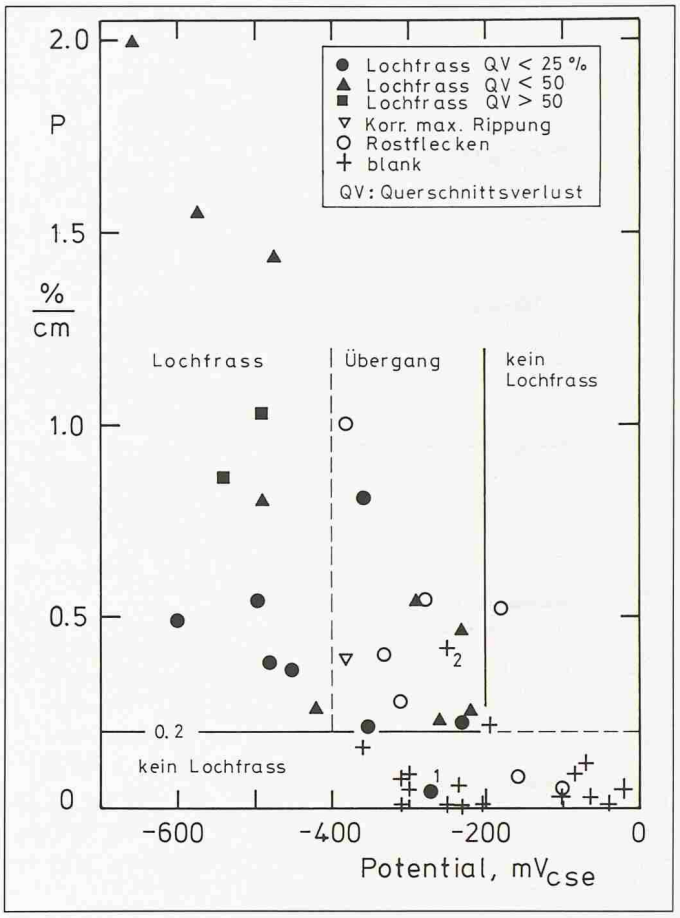


Bild 2. Zusammenhang zwischen Parameter P (%/cm) und dem Korrosionspotential, aufgeschlüsselt nach dem Korrosionsgrad der Bewehrung. P ist definiert als Verhältnis des Chloridgehaltes auf Eisenniveau zur Überdeckung $d_ü$; d.h.
P = Gew.-% Cl^-_z(Fe)/$d_ü$
Für diese Darstellung wurden, soweit dies möglich war, die Daten aus Bild 1 verwendet.
Bei Werten für P ≦ 0,2 ist die Wahrscheinlichkeit für Lochfrasskorrosion sehr gering, bei Werten ≧ 0,2 ist sie sehr gross.
Hinsichtlich der Grenzwerte beim Korrosionspotential gilt das bei Bild 1 Gesagte.
Auffallend sind die Werte Nr. 1 und 2. Diese Werte sind vermutlich ausserhalb der Grenzen, weil bei einem Wert die Überdekkung praktisch Null war und der andere aus sehr feuchtem bis nassem Beton stammte.
Bei einem einzelnen Bauwerk können diese Grenzen genauer angegeben werden.

Fahrbahn- oder Abdichtungsentwässerung oder etwa auch bei grösseren Kiesnestern anzutreffen sind. Bis anhin wurde aber dadurch das Gesamtbild über den Zustand der oberen Bewehrungslage noch nie derart gestört, dass auf die Messung auf der Oberseite (in Bohrlöchern) ausgewichen werden musste.

Die Potentialmessung an der Untersicht von Fahrbahnplatten erlaubt auch eine Aussage über den Zustand von *Brückenabdichtungen*. Da nämlich das Korrosionspotential der Bewehrung im Beton sich mit dessen Feuchtigkeitsgehalt ändert, können mittels der Potentialmessung undichte Stellen in der Abdichtung lokalisiert werden, und zwar schon bevor Korrosionsschäden an der Bewehrung eingetreten sind.

Punktmessung auf der Oberseite

Die Potentialmessung auf der Oberseite wird dann notwendig, wenn die Potentialmessung an der Unterseite nicht durchgeführt werden kann oder deren Resultate ungenügend sind. Dies ist z.B. dann der Fall, wenn

- die Unterseite z.B. wegen Bahnverkehrs oder niedriger lichten Höhe bei Lehnenviadukten nicht zugänglich ist,
- der Hohlkasten sehr niedrig oder geschlossen (Hohlzellenkonstruktionen) ist,
- die inneren Seiten von Zwillingsbrücken auch mit einem grossen Brückenuntersichtsgerät nicht erreicht werden können oder wenn,
- die Empfindlichkeit der Messung, z.B. wegen zu dicker Fahrbahnplatte (≧80 cm?), als ungenügend erachtet wird.

Da Asphaltbeläge isolierend wirken und leicht armierte Betonbeläge zu Fehlmessungen führen (können), müssen diese Beläge bis auf den Konstruktionsbeton durchbohrt werden. Die Bohrungen (∅ ≧ 50 mm bei Betonbelägen, ∅ ≧ 30 mm bei Asphaltbelägen) werden entsprechend dem Messraster angeordnet. Bei der Messung wird dann die Referenzelektrode in diese Bohrlöcher gestellt.

Bei diesem Vorgehen ist eine *optimale Wahl des Messrasters* besonders wichtig. Nach einem ersten Durchgang ist gegebenenfalls ein zweiter Durchgang mit einem verfeinerten Messraster notwendig.

Das weitere Vorgehen nach der Potentialmessung wurde bereits im vorhergehenden Kapitel erläutert.

Potentialfeldmessung

Die Potentialfeldmessung auf der Oberfläche setzt voraus, dass der Fahrbahnbelag vorgängig vollständig entfernt wurde. Dieses Messverfahren kann daher nur im Rahmen von Erhaltungs- oder Erneuerungsmassnahmen eingesetzt werden.

Wegen der *hohen m²-Leistung bei gleichzeitig sehr feinem Messraster* und dadurch hoher Auflösung bietet sich dieses Verfahren vorab dann an, wenn es gilt, Lage und Ausmass von Korrosionsherden exakt zu lokalisieren (insbesondere kleinere Korrosionsherde). Die Potentialfeldmessung ist deshalb dann sehr zu empfehlen, wenn bei der Zustandsaufnahme mittels Punktmessung örtliche Korrosionsherde gefunden wurden oder, wenn die Oberfläche der Fahrbahnplatte vor der Ausführung der Erneuerungs- oder Erhaltungsmassnahmen mangels Zugänglichkeit oder aus anderen Gründen nicht oder nur ungenügend untersucht werden konnte.

Wie bei der Punktmessung ist auch hier das Öffnen von kleineren Sondierschlitzen zu empfehlen, um die Potentialskala über den Zustand der Bewehrung sozusagen zu eichen (s. auch Kapitel «Punktmessung an der Untersicht»).

Interpretation

Die Potentialmessung und vorab deren Auswertung und Interpretation ist eine *anspruchsvolle Arbeit*. Sie sollte daher nur von qualifizierten Personen ausgeführt werden.

Die korrekte Auswertung und Interpretation setzen zunächst einige Kenntnisse der elektrochemischen Grundlagen voraus. Darüber hinaus müssen auch bauwerksabhängige Faktoren miteinbezogen werden.

Bei den vielen, bisher durchgeführten Untersuchungen konnte immer ein klarer *Zusammenhang zwischen Korrosionspotential, Chloridgehalt des Betons und Zustand der Bewehrung* gefunden werden.

Das *Bild 1* zeigt, dass das Korrosionspotential mit zunehmendem Chloridgehalt auf Eisenniveau, Gew.% Cl^-_z(Fe), negativer wird. Die Steigung beträgt in etwa -250 bis -300 mV pro Gew.% Cl^-_z(Fe). Dies bedeutet, dass das Korrosionspotential sich um etwa 250 bis 300 mV in die negative Richtung verschiebt, wenn der Chloridgehalt des Betons auf Eisenniveau 1 Gew.% erreicht.

Im weiteren geht aus diesem Bild hervor, dass unterhalb von etwa -200 mV Lochfrasskorrosion an der Bewehrung möglich und bei Potentialen ≧-400 mV Lochfrasskorrosion sehr wahrscheinlich ist.

Bei andauernd sehr feuchtem oder nassem Beton können sehr negative Korrosionspotentiale gemessen werden, ohne dass dies auf Korrosion an der Bewehrung zurückzuführen ist. Die Ursache hierfür ist der die Korrosion verursachende, kleine Sauerstoffgehalt im Beton (s. Tabelle 2). Je kleiner der Sauerstoffgehalt im Beton ist, desto negativer ist das Korrosionspotential (Diffusionsgeschwindigkeit von Sauerstoff im nassen Beton sehr viel kleiner als im trokkenen Beton).

Positive Korrosionspotentiale, d.h. Potentiale ≧0 mV, geben einen Hinweis auf die Karbonatisierung des Betons. In vielen Fällen geht dies einher mit relativ trockenem Beton.

Bei der Festlegung der Potentialgrenzen für «keine Korrosion», «beginnende Korrosion» und «Lochfrasskorrosion» müssen daher neben den rein

- elektrochemischen Faktoren wie generelles Potentialniveau, Potentialverteilung, -gradienten, Grösse der Korrosionsherde (Makroelemente) auch
- bauwerksabhängige Faktoren wie Art der Konstruktion und Standort sowie Betonqualität und -feuchtigkeit, Chloridgehalt, Karbonatisierung und natürlich die
- Resultate der Sondieröffnungen und ggf. weiterer Untersuchungen

berücksichtigt werden.

Um Art und Umfang der Erhaltungs- und Erneuerungsmassnahmen festzulegen, müssen aber neben dem Korrosionszustand der Bewehrung weitere Aspekte wie Bedeutung, Zugänglichkeit, zukünftige Nutzungsdauer des Bauwerkes usw. miteinbezogen werden.

Die Frage, ob und wie stark die *Überdeckung* $d_{ü}$ das Korrosionsrisiko beeinflusst, wurde bis anhin noch relativ wenig untersucht. Eine Möglichkeit, diese Einflussgrösse zu erfassen, zeigt *Bild 2*. Darin ist der Parameter P (= Gew.% Cl^-_z(Fe)/$d_{ü}$) gegen das Korrosionspotential aufgetragen. Daraus ist ersichtlich, dass bei einem Wert für P≧0.2 mit Lochfrasskorrosion gerechnet werden muss. Diese Betrachtung würde bedeuten, dass der kritische, lochfrassauslösende Chloridgehalt des Betons überdekkungsabhängig ist und zwar wie folgt:

$d_{ü}$	krit. Cl^-_z-Gehalt
= 10 mm	= 0,2 Gew.-% Cl^-_z(Fe)
= 20 mm	= 0,4 Gew.-% Cl^-_z(Fe)
= 40 mm	= 0,8 Gew.-% Cl^-_z(Fe).

In Bild 2 fallen zwei Werte auf. Beim ersten Wert war die Überdeckung praktisch Null, und beim 2. Wert war der Beton sehr feucht bis nass.

Der in Bild 2 gezeigte Zusammenhang darf noch nicht als gesichert betrachtet werden. Hierzu bedarf es noch weiterer Abklärungen.

Die in den Bildern 1 und 2 gezeigten Resultate stammen aus Untersuchungen an verschiedenen Brückenplatten, was der Grund für das relativ breite Streuband ist. Beim einzelnen Objekt ist das Streuband i.a. wesentlich geringer.

Wird das in den vorherigen Ausführungen vorgestellte Verfahren gewählt und zunächst die *Potentialmessung* durchgeführt und werden erst *danach*, d.h. aufgrund der Resultate der Potentialmessung, gezielt *Sondierschlitze* geöffnet und *Bohrkerne* entnommen, so gibt dies Gewähr für eine gut abgestützte, flächendeckende Aussage über den Korrosionszustand der Bewehrung und den Chloridgehalt im Beton auf Eisenniveau.

Diese Art Vorgehen bei der Zustandsaufnahme erlaubt klare Angaben über Lage und Grösse der Korrosionsherde und über das Ausmass des erforderlichen Betonabbruches (Fläche, Tiefe). Diese Informationen sind die Basis für die gute Planung und erfolgreiche Durchführung von Erneuerungs- und Erhaltungsmassnahmen.

Zusammenfassung

Die anwendungstechnischen Aspekte der Potentialmessung zur Zustandsaufnahme von Bauwerken wurde anhand

Literatur

[1] *B. Elsener und H. Böhni:* Elektrochemische Untersuchung der Korrosion von Armierungsstahl in Beton, SI+A 102 (1984), S. 264-269.

[2] *B. Elsener und H. Böhni:* Lokalisierung von Korrosion in Stahlbeton, SI+A 105 (1987), S. 528-533

[3] *B. Elsener:* Elektrochemische Methoden zur Bauwerksüberwachung, SIA Dokumentation D020 (1988), Zerstörungsfreie Prüfung an Stahlbetonbauwerken, S. 17-25

[4] SIA-Empfehlung 169, Erhaltung von Ingenieur-Bauwerken (1987)

[5] VSS-Norm 630 940, Gesamtbeurteilung des Zustandes von Kunstbauten (1989)

Praktische Beispiele für die Anwendung der Potentialmessung an Brückenplatten werden in der nächsten Arbeit in einem späteren Heft erläutert.

von Brückenplatten erläutert. Es wurde zu zeigen versucht, dass sie eine sehr sinnvolle Ergänzung zum heutigen Instrumentarium darstellt und damit Wesentliches zur Erhaltung von Stahlbetonbauwerken beitragen kann.

Die Potentialmessung kann sowohl im Rahmen der *Überwachung* und der *Planung und Ausführung* von Erneuerungs- und Erhaltungsmassnahmen wie auch zur *Erfolgskontrolle* von durchgeführten Massnahmen eingesetzt werden.

Es wird zwischen zwei Arten der Potentialmessung, nämlich zwischen Punkt- und Potentialfeldmessung unterschieden. Die Einsatzmöglichkeiten dieser beiden Verfahren werden erläutert.

Die Durchführung und Interpretation der Potentialmessung ist eine qualifizierte Arbeit, die nur von fachkundigen Personen durchgeführt werden sollte.

Adresse des Verfassers: *F. Hunkeler,* Dr. dipl. Ing. ETH/SIA, Schweizerische Gesellschaft für Korrosionsschutz, Seefeldstrasse 301, 8034 Zürich.

Wettbewerbe

Sanierung und Erweiterung Primarschule «Gsteig» in Lufingen ZH

Die Gemeinde Lufingen veranstaltet einen öffentlichen Projektwettbewerb für die Sanierung und Erweiterung der Schulanlage «Gsteig».

Teilnahmeberechtigt sind Architekten, deren Geschäftssitz oder Niederlassung sich seit mindestens dem 1. Januar 1989 in einer der Gemeinden Lufingen, Embrach, Oberembrach, Rorbas, Freienstein, Teufen, Kloten oder Bassersdorf befindet, sowie Architekten, die das Bürgerrecht von Lufingen besitzen. Ferner werden drei auswärtige Architekten zur Teilnahme eingeladen.

Fachpreisrichter sind Klaus Vogt, Scherz, Max Baumann, Zürich, Fritz Schmocker, Oberrieden, Emil Schönenberger, Lufingen.

Für *Preise und Ankäufe* stehen dem Preisgericht 37 000 Fr. zur Verfügung.

Die *Anmeldung* zur Teilnahme hat bis zum 31. März an das Sekretariat der Baukommission Schulhaus Gsteig (L. Cugini, Pfarrhausstr. 17, 8426 Lufingen) zu erfolgen.

Termine: Besichtigung des Areals am 5. April (13.30 Uhr Schulhaus Gsteig, Lufingen), Fragestellung bis 19. April, Ablieferung der Entwürfe bis 2. August, der Modelle bis 9. August 1991.

Wettbewerb Überbauung Baumgarten-Ost, Bern

Die Burgergemeinde Bern veranstaltete einen öffentlichen Ideenwettbewerb für eine Überbauung des Areals «Baumgarten – Ost» in Bern. Teilnahmeberechtigt waren Architekten und Planer mit Wohn- oder Geschäftssitz seit dem 1. Januar 1990 in den Gemeinden des Vereins für die Zusammenarbeit in der Region Bern VZRB. Es wurden 25 Entwürfe eingereicht. Ein Projekt musste von der Beurteilung, ein weiteres von der Preiserteilung ausgeschlossen werden. Ergebnis:

1. Preis (25 000 Fr. mit Antrag zur Weiterbearbeitung): Aarplan, Atelier für Architektur, Verkehrs- und Raumplanung, Bern

2. Preis (17 000 Fr.): Thomas Hostettler, Bern

3. Preis (12 000 Fr.): ARC, Robert Kohler, Marc Schneider, Beat Wacker, Bern; Ökologie und Grünraumkonzept: Arbeitsgemeinschaft für angewandte Ökologie, Eveline Venanzoni, Bern

4. Preis (11 000 Fr.): Herbert Ehrenbold & Barbara Schudel, Bern; Mitarbeiter: Patrik Zurkirchen

5. Preis (7000 Fr.): Chini + Huser, Bern

6. Preis (5000 Fr.): Eduard Durheim, Bern, und Vadijm Orlov, Bern

7. Preis (3000 Fr.): Bernhard Dähler, Bern; Mitarbeiter: Kurt Johann

8. Rang: Marazzi Generalunternehmung AG, Muri

9. Rang: Orm + Laurence Bonsma/Reist, Bern

Fachpreisrichter waren Jürg Sulzer, Stadtplaner Bern, Carl Fingerhuth, Kantonsbaumeister, Basel, Rudolf Rast, Bern, Adrian Strauss, Bern, Jürg Althaus, Bern, Pierre Grosjean, Ersatz.

Zur Aufgabe

Das Gebiet Baumgarten-Ost ist eines der letzten grossflächigen, zentrumsnahen Gebiete, auf welchem eine ganzheitliche Planungsidee verwirklicht werden kann. Die Burgergemeinde Bern beabsichtigt, einen kleineren Teil des Terrains – nämlich entlang der N6 – für eine dichte Bebauung für Arbeitsplätze (Dienstleistungen) freizugeben. Für den Hauptanteil des Terrains aber will die Burgergemeinde bewusst neue Wege beschreiten:

Sie will auf diesem Gebiet die Voraussetzungen dafür schaffen, dass in einer sinnvollen Etappierung eine beispielhafte, städtebauliche, gestalterische und verdichtete Wohnbau-Konzeption verwirklicht werden kann, die eine breite Streuung des Wohnungs- und Hauseigentums erlaubt (z.B. auch Reihen-EFH und Stockwerkeigentum). Auch diejenigen Leute, die auf dem Liegenschaftsmarkt chancenlos sind, sollen hier in die Lage kommen, für ihren Eigengebrauch Eigentum zu erwerben. Dabei könnte eine indirekte Starthilfe durch die Burgergemeinde und Eidgenossenschaft zur Diskussion stehen.

Nicht vorgesehen ist der Erwerb als Kapitalanlage und zu Vermietungszwecken. In der Regel soll der Erwerber auch nicht bereits anderweitig Liegenschaftseigentümer sein. Das erfordert eine Konzeption, die eine einfache und vor allem preiswerte Konstruktion erlaubt. Eine gewisse Ausbaumöglichkeit für spätere Zeiten ist erwünscht. Es ist ein kleines «Quartierzentrum» niedriger Zentralität zu integrieren (Versorgung des täglichen Bedarfes, Kindergarten usw.). Falls später eine Überdeckung der Autobahn realisiert würde, wären bedeutendere Einrichtungen entlang des Pulverwegs naheliegend, so dass sich eine Verschiebung ergeben könnte. Gesucht ist eine hochstehende städtebauliche Lösung, die im Hinblick auf eine schrittweise Realisierung ein vertretbares Mass an Gestaltungsfreiheit offen lässt.