Eine Sanierungsmethode für von Grundwasser durchfeuchtetes Mauerwerk

Autor(en): **Jovanovi, Jovan**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **95 (1977)**

Heft 7

PDF erstellt am: **03.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-73334

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Schadenursache

Die Geschossdecken sind innen auf den Kalksandsteinwänden und aussen auf den Backsteinwänden und Betonpfeilern aufgelagert, d. h. auf Wänden und Stützen mit unterschiedlichem Verformungsverhalten. Unterschiedliche Verformungen ergeben sich aus:

- ungleichen Schwindverformungen
- ungleichen Kriechverformungen
- ungleichen elastischen Verformungen und auch
- ungleichen Verformungen aus Temperatur- und Feuchtigkeitswechsel.

So schwindet und kriecht beispielsweise das Kalksandsteinmauerwerk und die Betonpfeiler infolge Austrocknung und Belastung, während das Backsteinmauerwerk eher eine gegenläufige Tendenz zu Quellverformungen aufweist. Die Schwind- und Kriechverformungen der Kalksandsteinwände sowie die Quellverformungen der Backsteinwände addieren sich über die einzelnen Geschosse, wodurch die Innenwände vor allem in den obersten Geschossen durch Schubkräfte beansprucht werden. Den unterschiedlichen Bewegungen der Aussen- und Innenwände können die Betondecken nicht überall und nicht gleichmässig folgen. Dies gilt vor allem für die Zonen im Bereich zweier Materialien mit ungleichem Verformungsverhalten. Dadurch lagern sich die Betondecken vorwiegend auf dem Backsteinmauerwerk auf und entlasten örtlich das Kalksandsteinmauerwerk, wodurch beispielsweise ein freieres Schwinden der Kalksandsteinwände ermöglicht wird. Das Schwinden der Wände im obersten Geschoss wird zudem durch die geringere Auflast weniger behindert.

Diese Überlegungen werden durch die Feststellungen bestätigt, nämlich:

- dass die Risse nur in den Kalksandsteinwänden auftreten, die an das Backsteinmauerwerk anschliessen
- dass die an die Betonpfeiler angrenzenden Kalksandsteinwände rissefrei sind und
- dass die Risse vorwiegend in den Kalksandsteinwänden des obersten Geschosses auftreten.

Sanierungshinweise

Ähnliche Schadenfälle zeigen, dass sich die temperatur- und feuchtigkeitsbedingten Bewegungen der verschiedenen Bauteile nun auf die vorhandenen Risse in den Kalksandsteinwänden konzentrieren. Im Bereich der Risse ist deshalb, vor allem im obersten Geschoss, mit reversiblen Bewegungen zu rechnen. Eine sichere Sanierung ist darum nur durch eine Verkleidung der Risse möglich, da mit starrem Material ausgespachtelte Risse in den Wänden des obersten Geschosses in der Regel wieder auftreten.

Folgerungen, Zusammenfassung

Bei der Mischbauweise treten durch das unterschiedliche Verhalten der verschiedenen Materialien häufig Risse auf. Dies gilt vor allem für mehrgeschossige Gebäude. Um diese Art Risse zu vermeiden, sollten für die tragenden Innen- und Aussenwände nur Materialien mit möglichst ähnlichem Verformungsverhalten verwendet werden. Möglicherweise lässt sich die Rissebildung aber auch reduzieren oder sogar vermeiden, wenn die aus unterschiedlichen Materialien bestehenden Wände konsequent voneinander abgetrennt werden.

Literaturverzeichnis

Prof. Dr.-Ing. *K. Pieper,* Dipl.-Ing. *D. Hage:* Formänderungseigenschaften von Mauerwerk. Ziegelindustrie Heft 1, 1971, S. 6–10.

Prof. Dr.-Ing. *K. Wesche,* Dipl.-Ing. *P. Schubert:* Zum Verformungsverhalten von Mauerwerk. Der Bauingenieur 46 (1971) Heft 12, S. 439 bis 444.

V. Würgler, Dipl. Arch. ETH/SIA, EMPA, Dübendorf: Risse, Seminarunterlagen, Weiterbildungskurs Bauschäden im Hochbau, 1973 (vergriffen).

Dipl.-Ing. *R. Rybicki:* Schäden und Mängel an Baukonstruktionen, Werner-Verlag Düsseldorf, 1974.

Dr.-Ing. *C. Zelger:* Beobachtung von Rissen in Bauwerken. Forschungsbericht F 1224, Mai 1974, Materialprüfungsamt für das Bauwesen der Technischen Universität München.

Prof. Dr.-Ing. *K. Mann,* Dipl.-Ing. *H. Müller:* Risseschäden bei Verwendung von Mauerwerk unterschiedlichen Verformungsverhaltens. Die Bautechnik 4/1975, S. 120–122.

Eine Sanierungsmethode für von Grundwasser durchfeuchtetes Mauerwerk

Von **Jovan Jovanović,** Thun

Die Grundwasserfeuchtigkeit wirkt sich auf *Neubauten, historische Gebäude* wie auf alte, noch immer bewohnte Häuser ganz verschieden aus.

An Neubauten wird die Feuchtigkeit wegen der hohen Qualität neuzeitlicher Isolationsstoffe nur selten bemerkbar. Sollte sie trotzdem auftreten, dann muss nach Mängeln in der Isolation gesucht werden, die aus der Beschaffenheit des Materials, seiner falschen Anbringung oder von Beschädigungen herrühren können. In historischen Bauten hingegen, die meistens keine Isolation aufweisen, ist Feuchtigkeit fast immer vorhanden. Und was alte, bewohnte Bauten betrifft, ist der Anteil von Grundwasserfeuchte prozentual besonders hoch. Später angebrachte Isolationen waren überdies meist weniger dauerhaft als der Bau selbst.

Alte, bewohnte Häuser machen etwa 80–90 Prozent aller Wohnbauten auf der Erde aus (Bild 1). Der Grund dafür liegt in ihrer Dauerhaftigkeit und in der Tatsache, dass nur wenige Länder in den vergangenen zehn Jahren in der Lage waren, ihren Wohnungsbestand um mehr als einen Zehntel zu vergrössern. Danach kommt dem Problem der Grundwasserfeuchtigkeit im Rahmen der Gebäudeerhaltung grosse Bedeutung zu.

Ermittlung der Ursachen

Eine Sanierung allerdings setzt das Erkennen der Ursachen voraus. Die *Lage des Feuchtigkeitshorizontes* und die *Dauer der Nässeeinwirkung* bilden dabei die wichtigsten Diagnosekriterien. Sie bilden aber nicht in allen Fällen die zuverlässigen Hinweise. So müssen ebenfalls die *Schwankungen des Grundwasserspiegels* (inkl. die *Kappilarwirkung des Bodens*) und die Fundamenttiefe in Betracht gezogen werden.

Da die Schwankungen des Grundwasserspiegels nicht nur unregelmässig sondern auch von bedeutendem Ausmass sein können (Bild 2), lassen sich drei verschiedene Beziehungen innerhalb ihrer gegenseitigen Lage ableiten (Bild 3):

- es kann *Niederschlagswasser* zu zeitweiligen Feuchtigkeitserscheinungen führen; Fall 1).
- die Feuchtigkeitsgrenze kann irrtümlich als Grenze des Niederschlagwassers betrachtet werden. Konkret gibt sie Schwankungen des Grundwassers an; Fall 2).
- ständige Feuchtigkeit ist ein Zeichen für Grundwasser; Fall 3).

Ohne die genaue Ermittlung des *Feuchtigkeitsgrades* (Verteilung der Feuchtigkeitsintensität) lassen sich ernsthaft keine

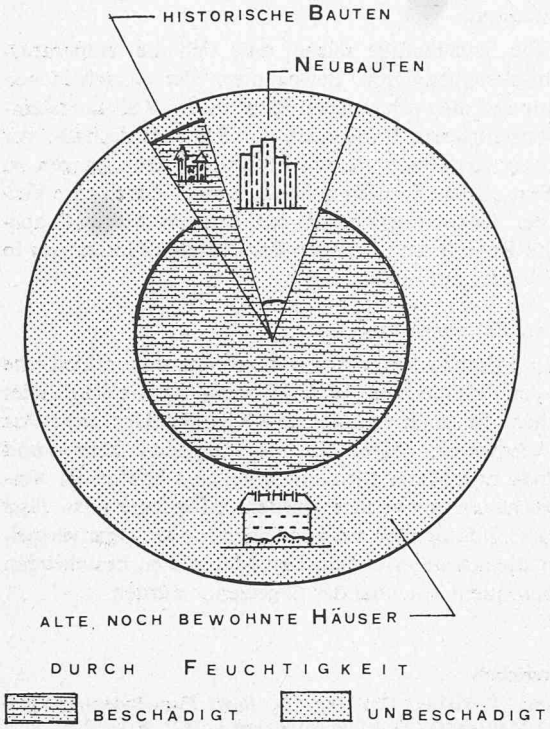


Bild 1. Verteilung der Feuchtigkeitserscheinungen

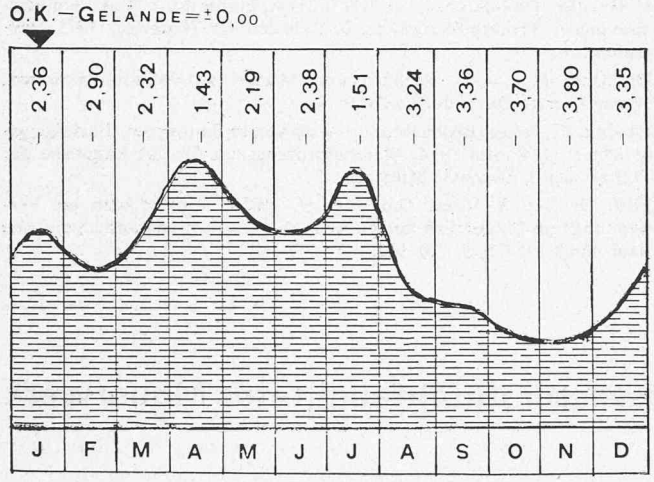


Bild 2. Grundwasserschwankungen im Jahresablauf

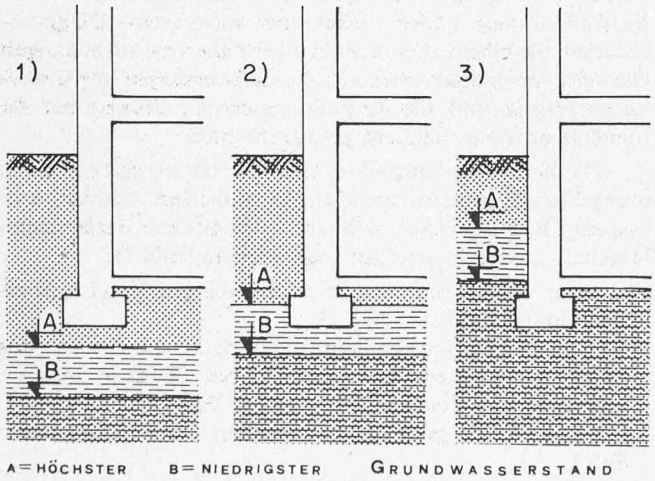


Bild 3. Gegenseitige Lage und Beeinflussung verschiedener Feuchtigkeitshorizonte

Ursachen nach der Herkunft der Feuchtigkeit feststellen. Eine fehlerhafte Ursachenermittlung muss daher zum Misserfolg der Sanierung führen.

Sanierungsmethoden

Die Methoden überblickend stellt man fest, dass viele schon seit Jahrhunderten gehandhabt werden und zum Teil immer noch angewendet werden. Wie auf anderen Gebieten haben auch hier die verwendeten Methoden ihre Vor- und Nachteile. Gäbe es diese nicht, dann würde eine Universalmethode existieren und es wäre eine Diskussion müssig, welche Methode nun zu verwenden sei. Um eine optimale Beseitigung der Feuchtigkeit zu erreichen, muss nach dem Ermitteln der Ursachen die optimale Sanierungsmethode gesucht werden.

In einer *systematischen* Darstellung müssen auf einer ersten Stufe *vier verschiedene Wirkungsarten* ausgeschieden werden:

- Verminderung der Grundwasseraufnahme
- Beseitigung der durchfeuchteten Bauteile
- Wasserrückzug
- Erhöhte Verminderung des eingesogenen Wassers.

Ohne Zweifel ist die vorteilhafteste Methode die erste, weil sie die Ursache der Feuchtigkeitseinwirkung beseitigt. Sie lässt sich in drei weiteren Sanierungsmethoden verwenden:

- Absenkung des Grundwasserspiegels durch Dränage, die zwar empfehlenswert, aber nicht immer durchführbar ist.
- Verminderung der Aufnahmefläche durch Abtrennen der Bauteile und Erzeugung von Wölbungen. Sie wurde vom Architekten Koch bei der Sanierung der Kirche San Luigi de' Fracesi erfolgreich angewendet. Dabei wurde die Feuchtigkeitsgrenze nicht ganz abgesenkt. Kostbare Fresken blieben so erhalten.
- Unterbindung der Grundwasseraufnahme durch nachträgliche Isolierung. Sie schliesst die meisten Sanierungsmethoden ein:
  a) Stellenweises Herausbrechen von Mauerteilen;
  b) Durchtrennen von Wänden (Handsäge, Bandsäge, Massari-Bohrverfahren);
  c) durch Injektionen.

Das nachträgliche Einsetzen der Wassersperre durch das Herausbrechen oder Durchsägen von Mauerteilen hat aber seine Nachteile, weil es nur an Mauern mit horizontalen Fugen und in voller Bemessung durchgeführt werden kann. Dadurch geht man das Risiko einer *unregelmässigen Senkung des Mauerwerks* ein (besonders an schwachen und statisch unregelmässig belasteten Stellen). Der Arbeitsvorgang ist im übrigen lang und kompliziert, was sich auch auf die Preise auswirkt.

Mit verschiedenen Injektionsverfahren sucht man diese Nachteile aus dem Weg zu räumen.

Injektionen

Mit Injektionen soll eine *nachträgliche Isolierung* des Mauerwerks angestrebt werden. Das Vorgehen ist einfach und schnell. *Zwei* ähnliche Verfahren sind bekannt:

1. Anbohren der Mauer von ihrer zugänglichen Seite her in der gewünschten Sperriegelhöhe (Neigung bis auf zwei Drittel Wanddicke – horizontale Anordnung im Abstand von 20 bis 40 cm). Die Verteilung der Bohrungen hängt von der Wanddicke und ihrem Gefüge ab. In die Eingussröhrchen wird die isolierende Substanz gegeben, die durch ihr Eigengewicht in das Mauerwerk eindringt. Dabei füllt sie vorhandene Höhlungen in den Bohrlöchern aus. So wird die Absperrung der irregulären Formation erreicht.

2. Dieses Verfahren ist dem eben geschilderten ähnlich. Die Bohrungen jedoch werden horizontal angebracht mit

zentral verbundenen Eingussröhrchen (Bild 4). Die isolierende Lösung wird aus dem Behälter unter Druck eingepresst. So dringt die Injektionssubstanz tief ins Mauerwerk ein. Anfangs fliesst das gestaute Wasser aus, später dann die Injektionsmasse. Das Verhärten der Injektionsmasse erzeugt den Sperrriegel.

Diese Art des Vorgehens wird zu Unrecht als «chemische Methode» bezeichnet, weil ja im Mauerwerk keine chemische Reaktion (ausser der Verhärtung) vor sich geht.

Die Vorteile der Methode sind ohne Zweifel beträchtlich. Sie lässt sich schnell und einfach ausführen und kostet wenig. Die Nachteile liegen in der ungenügenden Sperrwirkung, ausserdem hinterlässt die hinausgepresste Lösung beidseitig der Mauer unregelmässige Flecken.

Gezielte Injektionen mit komprimierter Luft

Die Nachteile des Injektionsverfahrens wurden schon verschiedentlich erörtert; es wurde sogar irrtümlicherweise behauptet, die Moleküle der isolierenden Lösung seien zu gross, um in die feinsten Wandkapillaren einzudringen zu können und sie auszufüllen; die Kapillarwirkung würde so aktiv bleiben.

Die Überprüfung der Ursache dieser Nachteile ergibt folgendes:

1. Die Injektionsmasse bewegt sich unkontrolliert und ungezielt durch Hohlräume, Spalten, Poren, Risse und Kapillaren längs dem Weg des kleineren Widerstandes und verbreitet sich ober- und unterhalb des gewünschten Riegels. So werden zuerst die grössten Höhlungen ausgefüllt, während die feinsten (von grösster Kapillarpotenz) leer bleiben.

2. Die Injektionsmasse wird in die feuchte Mauer eingespritzt, deren Höhlungen noch von Wasser gefüllt sind, um es so auszutreiben. Dadurch kann ein feiner Wasserfilm zwischen der Lösung und den Oberflächen der Hohlräume bleiben. Die so verkleinerte Höhlung erhält eine grössere Kapillarwirkung.

3. Durch Härtung nimmt das Volumen der Lösung ab, wodurch neue kleinere und agressive sekundäre Poren erzeugt werden.

4. Die Injektionsmasse dringt durch die offen verbundenen Hohlräume, was später zu unregelmässigen Fleckenerscheinungen führt. Die Gestalt und die Ausbreitung dieser Flecken hängen nur vom Vorhandensein offener Hohlräume ab, die direkt an die Wandoberfläche münden und deren Zahl örtlich sehr verschieden ist.

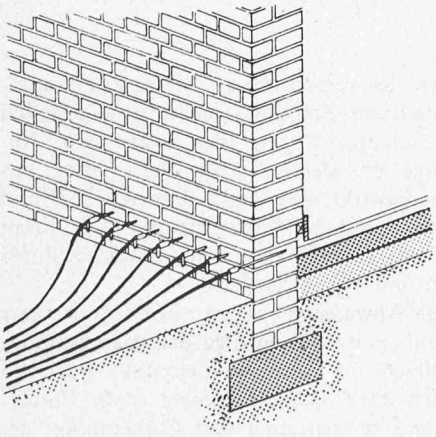


Bild 4. Horizontale Injektionen mit zentral verbundenen Eingussröhrchen

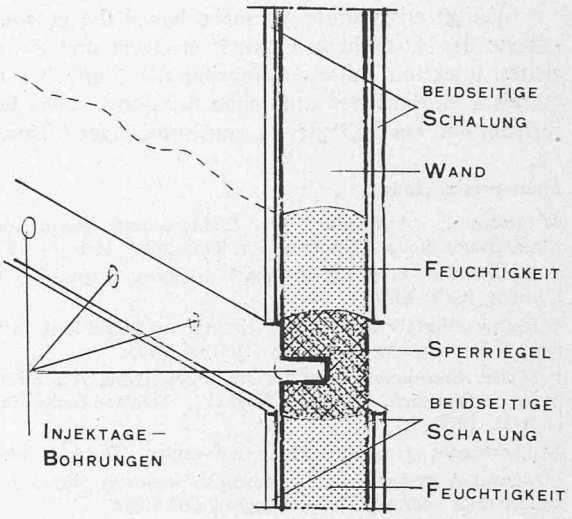


Bild 5. Schematische Darstellung einer gezielten Injektion mit komprimierter Luft

Um diese *unerwünschten* Nachteile zu verhindern, darf die gezielte Injektion *nur in der Sperriegelzone* ausgeführt werden. So ist die gezielte Injektion nur dann möglich, wenn ober- und unterhalb des gewünschten Sperriegels ein *Überdruck* erzeugt wird, der das Ausfliessen der Lösung ausserhalb des Riegels verhindert und das Ausfüllen aller Hohlräume im Bereiche des Riegels fördert. Um diesen Überdruck zu erzeugen, ist es vorher notwendig, in das Mauerwerk Luft als neutrales Medium einzudrücken und das Ausweichen an die Wandoberfläche zu verhindern. Deswegen soll die Wand beidseitig ober- und unterhalb der Riegelhöhe luftdicht eingeschalt werden. Das Belegen der Wand durch die mit Plastikfolie und Schaumstoff versehene und gegen die Wand gedrückte Schalung hat sich als zweckmässig und genügend erwiesen.

Nach solchem beidseitigen Abschalen der Mauer ober- und unterhalb der gewünschten Riegelhöhe und dem Einbohren von zugänglicher Seite, wird die komprimierte Luft durch die befestigten Eingussröhrchen gedrückt (Bild 5). So fliesst die Luft intensiv an der ungeschalt gebliebenen Oberfläche des künftigen Riegels aus, und füllt gleichzeitig die Hohlräume ober- und unterhalb des Riegels. Das Austrocknen der Mauerzone in Riegelhöhe sowie in den benachbarten Zonen und das Erzeugen eines entsprechenden Überdrucks des Luftkissens in den Zonen ober- und unterhalb des Riegels, liegen diesem «Luft-Eindrücken» zu Grunde. Jetzt erst wird die isolierende Lösung in den Luftstrom eingebracht, wodurch die Hohlräume nur im Riegelvolumen ausgefüllt werden.

Abhängig von der Qualität und der Dicke der Mauer wird die künftige Riegelhöhe, der Abstand zwischen Schalung, Dauer und Grösse des Eindrückens von komprimierter Luft ermittelt sowie der Zeitpunkt des Injektionsanfangs, wodurch man drei neue Parameter erhält. Durch die richtige Auswahl dieser Parameter kann man optimale Ergebnisse erreichen.

Durch die weitere Entwicklung des Verfahrens müsste in den entsprechenden Fällen zusätzliche Luft in die Zonen ausserhalb des gewünschten Riegels zugeführt werden, wie zum Beispiel bei der Erhöhung des Luftkissens bei einer Hidrophor-Anlage, was dann zum vierten Parameter führt.

Nach Ende der Injektion und der Erhärtung der isolierenden Lösung wird die beidseitige Schalung entfernt. Der neuerzeugte Sperriegel erscheint auf der Wandoberfläche wie ein schmaler horizontaler Streifen; er ist ästhetisch annehmbar.

Dieses Verfahren der gezielten Injektion mittels komprimierter Luft hat der Verfasser beim Jugoslawischen Patentamt am 4. 11. 1974 unter Nummer 2943/74 angemeldet.

Wenige ausgeführte Versuche haben die grossen Unterschiede der Ausfüllungs-Qualität erwiesen und zwar bei gezielter Injektion mittels komprimierter Luft, bei Injektion mittels komprimierter Luft ohne Schalung, sowie beim Einspritzen und beim Eingiessen von isolierender Lösung.

Literaturverzeichnis

M. Anderegg: «Anwendung von Elektroosmose gegen aufsteigende Mauerfeuchtigkeit», Schweizerische Bauzeitung, Heft 39, 1972.

R. T. Gratwick: «L'humidité dans le bâtiment – causes et remèdes», Eyrolles, Paris, 1970.

P. Haller: «Verfahren zur Entfeuchtung von Mauerwerk in Hochbauten», Schweizerische Bauzeitung, Heft 46, 1968.

P. Haller: Entgegnung zum Aufsatz «Anwendung von Elektroosmose gegen aufsteigende Mauerfeuchtigkeit», Schweizerische Bauzeitung, Heft 35, 1973.

M. Hartmann: «Hochbauschäden und -fehler», Stuttgart, 1964.

J. Jovanović: Prikaz i analiza postupka saniranja zidova provlaženih podzemnom vodom», DGA, Beograd, 262, 1975.

H. Künzel: «Die Feuchtigkeitsaufnahme von Baustoffen bei Beregnung», Referat.

H. Künzel: «Zur Trocknungsauswirkung von Entfeuchtungsröhren in Grundmauern», Gesundheits-Ingenieur, 5 und 6, 1968.

Macmillan & Boineau: «Etude de l'assèchement des murs soumis a des remontées capillaires», CIB/RILEM Symposium, 1974.

G. Mason: «Rising Damp», Build. Science, 9, 1974.

G. Massari: «Risanamento igienico dei locali umidi», Hoepli, Milano, 1959.

G. Massari: «Bâtiments humides et insalubres», Eyrolles, Paris, 1971.

H. Reichert: «Sperrschicht und Dichtschicht im Hochbau», R. Müller, Köln, 1974.

A. Richardson: «Humidity», Archit. Build. News., 25, 26, 1967.

P. Wieden: «Das Entfeuchten von Mauerwerk», W. Ernst und Sohn, Berlin, 1965.

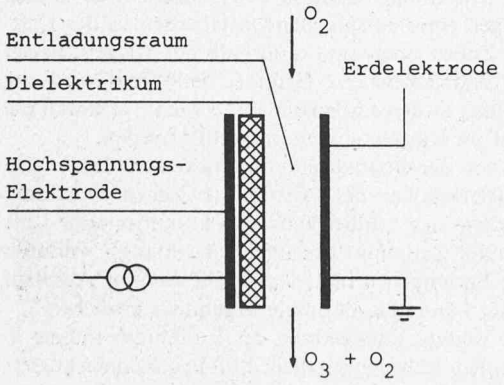
Adresse des Verfassers: *J. Jovanović,* dipl. habil. Ing. Arch., Nussbühlweg 4, 3600 Thun.

Herstellung und Wirkungsweise von Ozon

Ozon kann durch verschiedene Verfahren hergestellt werden: durch *stille elektrische Entladung,* durch *UV-Strahlen,* durch *Elektronenbestrahlung* und durch *Gammastrahlen.* Aus verschiedenen Gründen hat bis heute jedoch nur die Herstellungsmethode mittels stiller elektrischer Entladung eine grosstechnische Bedeutung erlangt.

Ozon wird dort hergestellt, wo es benötigt wird. Dazu braucht es elektrische Energie, Wasser zur Kühlung und Luft (evtl. reinen Sauerstoff). Es entstehen jedoch keine Kosten für Transport und Lagerung. Bei einer mittleren Anlage setzen sich die Betriebskosten etwa zur Hälfte aus den Kosten für elektrische Energie und zur andern Hälfte aus den Kapitalkosten und den Kosten für Unterhalt und Kühlwasser zusammen.

Bereits in *sehr verdünnter Form* wirkt das gasförmige Ozon *stark oxidierend,* und zwar bedeutend stärker als Chlor. Von den gut zugänglichen Substanzen besitzt nur Fluor noch höher oxidierende Eigenschaften.



$$3\,O_2 \rightleftharpoons 2\,O_3 \quad + 0{,}82\ \mathrm{kWh/kg}O_3$$

Schematische Darstellung einer Elementarzelle in ihrer einfachsten Form. Reiner Sauerstoff oder Luft strömt zwischen zwei Elektroden, die durch ein Dielektrikum getrennt sind. Durch die angelegte Spannung werden die Sauerstoffmoleküle in einen angeregten Zustand versetzt, und ein Teil dieser Moleküle spaltet sich in die Atome auf. Diese bilden anschliessend mit den Sauerstoffmolekülen die dreiatomige Modifikation O_3

Anwendungsmöglichkeiten

Wasseraufbereitung

Grosse Bedeutung hat Ozon bei der *Trinkwasseraufbereitung* in Europa und in letzter Zeit immer mehr auch in den USA und Kanada erlangt. Unter Ozoneinwirkung gehen praktisch alle krankheiterregenden Bakterien (z. B. Salmonellen) und Viren zugrunde. Daneben verbessert Ozon die *Qualität* des Trinkwassers hinsichtlich Farbe, Geschmack und Geruch.

Im Gegensatz zur Trink- und Brauchwasseraufbereitung wird bei der *Abwasseraufbereitung von Industriebetrieben* zwecks Rückführung in den Produktionsprozess infolge der höheren Schmutzfracht eine grössere Ozondosis benötigt. Die Entwicklung immer leistungsfähigerer Ozonisatoren und die ständig steigenden Abwassergebühren machen jedoch eine betriebsinterne Wasseraufbereitung immer attraktiver. In *Textilbetrieben* wird Ozon in erster Linie zur *Entfärbung des Abwassers* eingesetzt. In Verbindung mit den herkömmlichen Reinigungsverfahren (z. B. Fällung, Sedimentation, Flotation usw.) werden die übrigen Verunreinigungen derart vermindert, dass das behandelte Abwasser teilweise wiederverwendet werden kann.

In vereinzelten *Papierfabriken* wurde eine Kreislaufschliessung bereits realisiert, wobei die unerwünschte Schleimbildung durch den Einsatz von Ozon weitgehend vermieden wird.

Abwasserreinigung

Bei Inkrafttreten der verschärften Gesetzesbestimmungen wird es verschiedenen Betrieben nicht mehr möglich sein, das Abwasser unbehandelt in eine kommunale Abwasserreinigungsanlage einzuleiten. Eine Behandlung des Abwassers mit Ozon bewirkt eine Reduktion des CSB und BSB. Insbesondere werden dabei Schwermetalle (z. B. Eisen und Mangan), Trübstoffe und Tenside sowie toxische Stoffe (z. B. Cyanid, Nitrit) und Phenol entfernt.

Eine vollständige Abwasserreinigung mit Ozon ist zwar technisch durchaus möglich, aber infolge der dazu benötigten hohen Ozonmengen im heutigen Zeitpunkt noch zu teuer. Zurzeit können aber *Spezialprobleme* (z. B. Entfärbung, Entgiftung, Geruchbeseitigung und Entkeimung) gelöst werden. Dies bedingt eine selektive Verwendung des Ozons. Die Reaktionsgeschwindigkeiten der im Abwasser