

# Steigerung der Zementsteifigkeit durch „Magnetisieren“ und elektrischen Funkendurchschlag

Von Werner Richartz, Düsseldorf

## Übersicht

*Die Festigkeit des Zementsteins beeinflusst wesentlich die Festigkeit des Betons. Deshalb haben Verfahren, die die Festigkeit des Zementsteins erhöhen, dann Bedeutung für die Betontechnologie, wenn sie zuverlässig durchgeführt werden können und vom Stadium des Laboratoriumsversuchs in die Praxis übertragbar sind.*

*In Rußland wurden in den letzten Jahren zwei Verfahren zur Steigerung der Zementsteifigkeit entwickelt. Sie wurden durch Untersuchungen des Forschungsinstituts der Zementindustrie und durch kritische Überlegungen auf ihre praktische Bedeutung geprüft. Es zeigte sich, daß die Bedingungen für eine Festigkeitssteigerung des Zementsteins durch „magnetische“ Behandlung des Anmachwassers noch nicht hinreichend erforscht sind, um nach diesem Verfahren Festigkeitssteigerungen zuverlässig zu erzielen.*

*Das mit hohen Gerätekosten verbundene elektro-hydraulische Impulsverfahren ermöglicht zwar erhebliche Festigkeitssteigerungen, es lassen sich aber nur sehr geringe Zementleimmengen entsprechend „behandeln“.*

*Beide Verfahren entsprechen somit z. Z. nicht den Anforderungen der Praxis.*

## 1. Allgemeines

In einer russischen Fachzeitschrift erschienen 1967 und 1968 zwei voneinander unabhängige Arbeiten, die sich mit der Erhöhung der Festigkeit des erhärteten Zements durch eine magnetische Behandlung des Anmachwassers [1] und mit der Behandlung des Zementleims in einer elektrischen Funkenstrecke [2] befassen\*). Das Forschungsinstitut der Zementindustrie interessierte sich für beide Verfahren und verschaffte sich, auch durch Anfragen veranlaßt, mit eigenen Feststellungen und Messungen einen Überblick und weitere Unterlagen für die Beurteilung der mit diesen Verfahren gebotenen praktischen Möglichkeiten.

\*) Die beiden Verfahren wurden durch Übersetzungen bekannt, die das Übersetzungsbüro Werner Welten, 2 Hamburg 61, Bindfeldweg 8, anbot. Die Ausführungen dieses Beitrags beziehen sich auf die Angaben in den Übersetzungen.

## 2. Festigkeitssteigerung durch magnetische Behandlung des Anmachwassers

### 2.1 Angaben aus der russischen Veröffentlichung [1]

Die Untersuchungen über die „Verbesserung der Mikrostruktur und Festigkeit des Zementsteins durch magnetische Behandlung des Anmachwassers“ wurden mit gewöhnlichem Leitungswasser und einem normalen Portlandzement durchgeführt. Das Wasser wurde im elektromagnetischen Gleich- oder Wechselfeld Feldstärken von etwa 1000 Oersted ausgesetzt.

Bei der magnetischen Behandlung im Gleichfeld durchlief das Wasser eine gläserne Rohrschlange, die zwischen den Polen mehrerer, nacheinander angeordneter Elektromagneten lag. Die elektromagnetischen Gleichfelder waren dabei abwechselnd gegensinnig gerichtet. Die Strömungsgeschwindigkeit des Wassers betrug 3 bis 5 m/s.

Für das „Magnetisieren“ im Wechselfeld wurde das Wasser in einem Behälter 10 s lang dem Wechselfeld ausgesetzt.

Mit dem „magnetisch“ behandelten Wasser und dem Portlandzement wurde Zementleim hergestellt, und zwar direkt nach dem „Magnetisieren“ sowie 2, 4 und 24 Stunden nach dem „Magnetisieren“. Der Wasserzementwert des Zementleims ist nicht angegeben.

Zum Vergleich diente ein Zementleim mit normalem, nicht behandeltem Wasser. Aus diesen Zementleimen wurden anschließend würfelförmige Prüfkörper hergestellt (die Abmessungen werden nicht mitgeteilt) und nach 1, 3, 7 und 28 Tagen auf Druckfestigkeit geprüft. Die Ergebnisse dieser Prüfung sind in Tafel 1 wiedergegeben.

Setzt man voraus, daß mit diesen wenigen Versuchswerten einer einzelnen Versuchsreihe der Sachverhalt ausreichend beurteilbar

Tafel 1 Druckfestigkeit von Zementleim mit "magnetisiertem" und nicht "magnetisiertem" Leitungswasser ("Magnetisierung" im Gleichfeld)  
Nach I. Bobyk und I. Nikonec [1]

Behandlung und Verwendung des Anmachwassers	Druckfestigkeit in $\text{kp/cm}^2$ nach			
	1 Tag	3 Tagen	7 Tagen	28 Tagen
nicht "magnetisiert"	308	578	619	956
sofort nach dem "Magnetisieren"	272 (- 12%)	500 (- 14%)	637 (+ 3%)	1012 (+ 6%)
2 h nach dem "Magnetisieren"	300 (- 3%)	680 (+ 18%)	863 (+ 39%)	1080 (+ 13%)
4 h nach dem "Magnetisieren"	263 (- 15%)	521 (- 10%)	587 (- 5%)	800 (- 16%)
24 h nach dem "Magnetisieren"	376 (+ 22%)	545 (- 6%)	660 (+ 7%)	690 (- 28%)

Die Prozentwerte in Klammern geben die errechneten Festigkeitsänderungen an im Vergleich zu den Prüfkörpern, die mit nicht "magnetisiertem" Wasser hergestellt wurden; sie sind in der Übersetzung nicht angegeben.

ist, so ergibt sich folgendes: Wurde der Zement sofort nach dem „Magnetisieren“ des Wassers *im Gleichfeld* angemacht, so wurde im Alter von 1 Tag und von 3 Tagen eine geringere Festigkeit des Zementsteins als beim Zementstein mit nicht „magnetisiertem“ Wasser erhalten. Die 7-Tage- und die 28-Tage-Festigkeiten lagen mit „magnetisiertem“ Wasser etwas höher. Die größte Zunahme der Druckfestigkeit wurde erhalten, wenn der Zement 2 Stunden nach der „magnetischen“ Behandlung des Wassers angemacht wurde. Die Steigerung betrug nach 3 Tagen 18 %, nach 7 Tagen 39 % und nach 28 Tagen 13 %.

Bei der „Magnetisierung“ des Anmachwassers *im Wechselfeld* konnte vor allem die Druckfestigkeit des Zementsteins bis zum Alter von 7 Tagen erhöht werden. Die Erhöhung der Wechselstromstärken beim „Magnetisieren“ des Wassers bewirkte eine Festigkeitssteigerung. Durch eine „magnetische“ Behandlung des Wassers bei einer Stromstärke von 4 A erhöhte sich im Vergleich zu nicht „magnetisiertem“ Wasser z. B. die Festigkeit des Zementsteins im Alter von 1 Tag um etwa 20 %, bei einer Stromstärke von 6 A um 50 % und bei einer Stromstärke von 8 A um 42 %. Insgesamt sind die Ergebnisse (siehe auch Tafel 1) z. T. widersprüchlich oder nicht erklärbar.

## 2.2 Untersuchungen des Forschungsinstituts

Insgesamt wurden 6 Versuchsreihen angesetzt. Das „Magnetisieren“ des Wassers erfolgte ausschließlich im elektromagnetischen Wechselfeld. Die Angaben zur „magnetischen“ Behandlung des Wassers sowie über die Abmessungen der Mörtelprüfkörper sind aus Tafel 2 zu ersehen.

### 2.2.1 Versuchsreihe 1

Zur Behandlung des Wassers im elektromagnetischen Wechselfeld wurde eine Spule mit einem Fensterquerschnitt von  $49 \text{ cm}^2$  ( $7 \times 7 \text{ cm}$ ) und einer Länge von  $10 \text{ cm}$  benutzt. Sie hatte 800 Windungen und konnte etwa  $15 \text{ s}$  lang mit  $10 \text{ Ampere}$  belastet werden. Nach dieser Behandlungsdauer hatte sich die Spule stark erwärmt. (Die Wassertemperatur wurde dadurch jedoch nicht meßbar erhöht.) Es war deshalb nicht möglich, ohne Abkühlung mit dieser Spule innerhalb einer Stunde mehr als eine „Magnetisierung“ durchzuführen.

Bei der „magnetischen“ Behandlung wurde das Wasser in einer Plastikflasche von etwa  $5 \text{ cm}$  Außendurchmesser und etwa  $8 \text{ cm}$  Höhe in das Spulenfenster eingebracht und  $15 \text{ s}$  lang dem elektromagnetischen Wechselfeld ausgesetzt. Mit diesem Wasser wurden Prismen  $1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm} \times 6 \text{ cm}$  aus Mörtel nach DIN 1164 mit Portlandzement Z 275 durch Verdichten auf dem elektromagnetischen Rütteltisch hergestellt, und zwar sofort nach dem „Magnetisieren“ des Wassers sowie 1, 2 und 4 Stunden nach „Magnetisieren“ des Wassers.

Nach 1-, 3-, 7- und 28tägiger Wasserlagerung wurden die Biegezugfestigkeit und die Druckfestigkeit der Mörtel bestimmt. Die Ergebnisse sind in Tafel 3 im Vergleich mit Mörtel aus nicht

Tafel 2 Angaben zur "magnetischen" Behandlung des Anmachwassers und über die Abmessungen der Prüfkörper

Versuchsreihe	Länge der Spule	Querschnitt des Spulenfensters	Anzahl der Windungen	Anzahl der Wicklungen	Stromstärke	Behandlungsdauer des Wassers	Höchstmögliche Wassermenge je 1 Behandlung	Abmessungen der Mörtelprüfkörper	Bemerkungen
	cm	cm <sup>2</sup>			A	s	ml	cm	
1	10	49	800	7	10	15	100	1 × 1 × 6	Spulenfenster mit 4fach durchbohrtem, wassergekühltem Weicheisenkern; Durchlaufmenge des Wassers 100 ml/15 s wie bei Versuchsreihe 2
2	10	49	2400	21	10			4 × 4 × 16	
3	10	49	2400	21	10			1 × 1 × 6	
4	100	4,9	3500	3	$\left. \begin{matrix} 2 \\ 4 \\ 6 \\ 8 \\ 10 \end{matrix} \right\}$	15	300	1 × 1 × 6	
5	100	4,9	3500	3	10	15	300	4 × 4 × 16	
6	100	4,9	9000	8	12	10	300	4 × 4 × 16	

Tafel 3 Versuchsreihe 1; Biegezug- und Druckfestigkeiten von Mörtel nach DIN 1164 mit "magnetisiertem" und nicht "magnetisiertem" Leitungswasser (Prüfung von Prismen 1 cm × 1 cm × 6 cm)

Behandlung und Verwendung des Anmachwassers	Biegezugfestigkeit in kp/cm <sup>2</sup> nach				Druckfestigkeit in kp/cm <sup>2</sup> nach			
	1 Tag	3 Tagen	7 Tagen	28 Tagen	1 Tag	3 Tagen	7 Tagen	28 Tagen
nicht "magnetisiert"	30	42	59	76	129	209	314	488
sofort nach dem "Magnetisieren"	27 (- 10%)	45 (+ 7%)	63 (+ 7%)	86 (+ 13%)	131 (+ 2%)	255 (+ 22%)	337 (+ 7%)	556 (+ 14%)
1 h nach dem "Magnetisieren"	31 (+ 3%)	51 (+ 21%)	61 (+ 3%)	83 (+ 9%)	122 (- 5%)	256 (+ 22%)	358 (+ 14%)	577 (+ 18%)
2 h nach dem "Magnetisieren"	29 (- 3%)	47 (+ 12%)	65 (+ 10%)	80 (+ 5%)	137 (+ 6%)	237 (+ 13%)	392 (+ 25%)	523 (+ 7%)
4 h nach dem "Magnetisieren"	26 (- 13%)	44 (+ 5%)	60 (+ 2%)	83 (+ 9%)	114 (- 12%)	221 (+ 6%)	326 (+ 4%)	501 (+ 3%)

Die Prozentwerte in Klammern geben die errechneten Festigkeitsänderungen an im Vergleich zu den Prüfkörpern, die mit nicht "magnetisiertem" Wasser hergestellt wurden

„magnetisiertem“ Wasser (Null-Mörtel) wiedergegeben. Daraus geht hervor, daß die 1-Tage-Festigkeiten im Vergleich zum Null-Mörtel z. T. kleiner oder nur wenig größer ausfielen. Im Alter von 3, 7 und 28 Tagen lagen die Biegezugfestigkeit und die Druckfestigkeit des Mörtels mit „magnetisch“ behandeltem Anmachwasser immer etwas höher als die des Null-Mörtels. Die größte Steigerung der Druckfestigkeit stellte sich dann ein, wenn die Mörtel eine Stunde oder zwei Stunden nach der Behandlung des Wassers im Wechselfeld hergestellt wurden, z. B. nach drei Tagen zwischen 13 und 22 %, nach sieben Tagen zwischen 14 und 25 % und nach 28 Tagen zwischen 7 und 18 %.

### 2.2.2 Versuchsreihe 2

Dazu wurden drei Zemente verwendet, und zwar ein Portlandzement Z 275, ein Portlandzement Z 475 sowie ein Hochofenzement Z 275. Aus diesen Zementen wurden Mörtelprismen  $4\text{ cm} \times 4\text{ cm} \times 16\text{ cm}$  nach DIN 1164 durch Verdichten auf dem elektromagnetischen Rütteltisch hergestellt. Das Anmachwasser wurde 2 Stunden vor dem Herstellen der Prismen im elektromagnetischen Wechselfeld behandelt. Zum Vergleich diente wieder Mörtel mit nicht „magnetisiertem“ Wasser.

Die für die erste Versuchsreihe mit Prismen  $1\text{ cm} \times 1\text{ cm} \times 6\text{ cm}$  verwendete Magnetspule reichte nicht aus, um die erforderliche größere Wassermenge zu „magnetisieren“. Um eine starke Erwärmung und den damit verbundenen Leistungsabfall der Magnetspule während des „Magnetisierens“ zu verhindern, wurde die Spule mit einem mehrfach durchbohrten, wassergekühlten Weicheisenkern versehen. Durch Einführung des Weicheisenkerns wurde zugleich eine Erhöhung der Feldstärke bewirkt. Darüber hinaus wurde durch Vergrößerung der Windungszahl von 800 auf 2400 die Feldstärke im Eisenkern noch weiter gesteigert, so daß mit einem stärkeren „Magnetisieren“ des Wassers gerechnet werden konnte.

Bei der „magnetischen“ Behandlung des Wassers wurde die Durchflußgeschwindigkeit so eingestellt, daß 100 ml Wasser den Weicheisenkern in 15 s durchflossen.

Die Biegezugfestigkeit und Druckfestigkeit der Mörtel wurden nach 1, 3, 7 und 28 Tagen ermittelt. Durch „magnetisiertes“ Wasser wurde bei dieser Versuchsreihe keine Steigerung der Festigkeit erreicht. Die Wiederholung der Versuchsreihe 2 führte zu den gleichen Ergebnissen.

### 2.2.3 Versuchsreihe 3

Um festzustellen, ob die unterschiedlichen Ergebnisse zwischen Versuchsreihe 1 und Versuchsreihe 2 auf die unterschiedlichen Abmessungen der Prismen oder auf die verschiedenartige „magnetische“ Behandlung des Anmachwassers zurückzuführen ist, wurden erneut Mörtelprismen  $1\text{ cm} \times 1\text{ cm} \times 6\text{ cm}$  durch Verdichten auf dem elektromagnetischen Rütteltisch (wie bei Versuchsreihe 1) hergestellt. Die für die Kleinprismen erforderliche geringere Wassermenge wurde jedoch in der Spule mit Weicheisenkern, wie bei Versuchsreihe 2, „magnetisch“ behandelt. Nach 7- und 28tägiger Wasserlagerung wurde aber weder eine

Erhöhung der Biegezugfestigkeit noch der Druckfestigkeit festgestellt.

Bei den Versuchsreihen 2 und 3 wurde durch Erhöhung der Windungszahl der Magnetspule und Einführung des Weicheisenkerns die elektromagnetische Feldstärke zwar erhöht, die „magnetisierende“ Wirkung auf das Wasser aber möglicherweise vermindert, da die magnetischen Feldlinien im wesentlichen den Weicheisenkern durchsetzen.

#### 2.2.4 Versuchsreihe 4

Deshalb wurde bei weiteren Versuchen das Wasser direkt in das Spulenfenster eines Elektromagneten mit kreisförmigem Querschnitt und 100 cm Länge eingefüllt und unterschiedlichen Feldstärken ausgesetzt, die durch Erregung der Magnetspule mit Stromstärken zwischen 2 und 10 A erzeugt wurden (s. Tafel 2). Die Behandlungsdauer betrug wieder 15 s. Mit jedem bei verschiedener Stromstärke „magnetisierten“ Wasser wurden nach 2 Stunden Prismen 1 cm × 1 cm × 6 cm aus Mörtel nach DIN 1164 mit Portlandzement Z 275 durch Verdichten auf dem elektromagnetischen Rütteltisch hergestellt. Nach 7- und 28tägiger Wasserlagerung konnte jedoch weder eine Erhöhung der Biegezug- noch der Druckfestigkeit im Vergleich zum Null-Mörtel festgestellt werden.

#### 2.2.5 Versuchsreihe 5

Bei dieser Reihe wurde gegenüber der Versuchsreihe 4 das Anmachwasser nur bei 10 A behandelt; die Prüfkörper hatten die Abmessungen 4 cm × 4 cm × 16 cm, und der Mörtel sowie die Prüfung entsprachen DIN 1164 E (Entwurf Juli 1967). Alle anderen Versuchsbedingungen waren dieselben wie bei Versuchsreihe 4. Auch in dieser Reihe wurde keine Festigkeitssteigerung im Vergleich zum Null-Mörtel gemessen.

#### 2.2.6 Versuchsreihe 6

Zur Erhöhung der Feldstärke wurde die Windungszahl der bei den Versuchsreihen 4 und 5 verwendeten Spule auf 9000 erhöht. Bei der „Magnetisierung“ des Wassers wurde die Spule 10 s lang mit 12 A belastet. Prismen 4 cm × 4 cm × 16 cm aus Mörtel nach DIN 1164 E mit Portlandzement Z 275, die 2 Stunden nach der „Magnetisierung“ des Wassers durch Verdichten auf dem elektromagnetischen Rütteltisch hergestellt wurden, hatten nach 2-, 7- und 28tägiger Wasserlagerung keine höheren Festigkeiten als der Null-Mörtel.

### 2.3 Zusammenfassung und Beurteilung des Verfahrens

Bei den russischen Untersuchungen wurden durch „magnetische“ Behandlung des Anmachwassers unter Bedingungen, die nicht genau mitgeteilt wurden, z. T. kleinere Druckfestigkeiten, z. T. aber auch höhere Druckfestigkeiten festgestellt (bis zu 50 % nach 1 Tag, bis zu 36 % nach 7 Tagen, bis zu 20 % nach 28 Tagen). Bei den Untersuchungen des Forschungsinstituts konnten in einer ersten Versuchsreihe mit Mörtelprismen 1 cm × 1 cm × 6 cm

diese Feststellungen qualitativ bestätigt werden. In weiteren Versuchsreihen, bei denen die „magnetische“ Behandlung des Wassers verändert und Mörtelprismen  $4\text{ cm} \times 4\text{ cm} \times 16\text{ cm}$  sowie  $1\text{ cm} \times 1\text{ cm} \times 6\text{ cm}$  hergestellt wurden, ließ sich keine Festigkeitssteigerung durch „magnetische“ Behandlung des Anmachwassers beobachten.

Nach den eigenen und russischen Untersuchungsergebnissen kann offenbar unter gewissen Verhältnissen durch „magnetische“ Behandlung des Anmachwassers eine Erhöhung der Festigkeit erreicht werden. Die Bedingungen für eine zuverlässige Festigkeitssteigerung waren jedoch bei den eigenen Versuchen nicht beherrschbar. Durch umfassendere Laboratoriumsuntersuchungen müßte — wenn dies überhaupt praktisch sinnvoll erscheint — geklärt werden, wie sich die Versuchsstreuung selbst, vielleicht auch unterschiedliche Feldstärken oder andere noch nicht beachtete oder bekannte Einflüsse in den Festigkeitsergebnissen auswirken.

Eine ähnliche Einstellung zu dem Verfahren kommt auch in einem amerikanischen Bericht zum Ausdruck [3]. In einem erst kürzlich erschienenen russischen Tagungsbericht [4] wird mitgeteilt, daß zur Zeit noch eine einheitliche Methode zur Durchführung des Verfahrens fehlt und daß der Zusammenhang zwischen physikalischen und chemischen Vorgängen und ihrem Einfluß auf die Eigenschaften des Betons noch nicht hinreichend geklärt ist.

### **3. Das elektro-hydraulische Impulsverfahren**

Das elektro-hydraulische Impulsverfahren ist in der Veröffentlichung von G. Sengur [2] wie folgt beschrieben:

Mit einem 3phasigen Hochspannungstransformator (Leistung etwa 30 kVA) werden Spannungen zwischen 60 und 80 kV erzeugt, über Halbleiterdioden gleichgerichtet und einem Impulskondensator zur Aufladung zugeführt. Dieser Kondensator wird je Sekunde einmal über eine „Arbeitsfunkenstrecke“ von 12 mm Länge entladen. Durchschlägt der Funken Zementleim, so entsteht während der elektrischen Entladung im Bereich der Funkenstrecke kurzzeitig eine Temperatur- und Druckerhöhung, die eine „Aktivierung“ des Zements bewirken soll.

#### **3.1 Versuche**

Nach den Angaben der Veröffentlichung wurden die Versuche mit einem Portlandzement und einem Hochofenzement mit 51 Gew.-% Hüttensand durchgeführt. Der Zementleim mit Wasserzementwerten von 0,40, 0,45 und 0,50 wurde unmittelbar nach dem Anmachen in einer Schichtdicke von 12 mm je Sekunde einmal, insgesamt 200mal vom Funken durchschlagen. (Die Größe der beanspruchten Fläche ist nicht angegeben.) Nach dieser Behandlung betrug die Temperatur des Zementleims etwa 35 bis 45 °C; die Temperatur des nichtbehandelten Zementleims ist nicht angegeben. Aus dem behandelten und dem nichtbehandelten Zementleim wurden anschließend Würfel mit einer Kantenlänge von 40 mm hergestellt

und nach dem Entformen bis zu 28 Tage unter Wasser gelagert (je Prüftermin 6 Würfel). Die Druckfestigkeit des behandelten Zementleims aus Portland- und Hochofenzement lag nach 7, 14 und 28 Tagen im Mittel um etwa 100 % höher als die von unbehandeltem Zementleim (Druckfestigkeiten von Zementleim aus Portlandzement ohne Behandlung z. B. nach 7 Tagen 99 kp/cm<sup>2</sup>, nach 14 Tagen 149 kp/cm<sup>2</sup> und nach 28 Tagen 192 kp/cm<sup>2</sup>; mit Behandlung: nach 7 Tagen 178 kp/cm<sup>2</sup>, nach 14 Tagen 292 kp/cm<sup>2</sup> und nach 28 Tagen 403 kp/cm<sup>2</sup>). Die Erhöhung der Druckfestigkeit wird sowohl auf die Temperaturerhöhung als auch auf die Zerkleinerung der Zementkörner und die damit gesteigerte Feinheit zurückgeführt. Die größte Steigerung der Druckfestigkeit wurde bei dem Zementleim mit Wasserzementwert 0,50 erreicht. Außerdem soll bei „schlechteren Zementsorten“ (vielleicht solchen, die grob gemahlen sind) eine höhere Steigerung der Druckfestigkeit erzielt werden als bei „guten Zementsorten“.

### **3.2 Beurteilung der Anwendbarkeit**

Die Kosten für den Hochspannungstransformator hoher Leistung, den Gleichrichter und den Impulskondensator, die hier für die Behandlung von sehr kleinen Zementleimmengen im Laboratorium gebraucht wurden, werden auf mindestens DM 30 000,— geschätzt. Ein elektro-hydraulisches Impulsverfahren der Praxis für große Mengen Mörtel oder Beton wäre sicher — wenn man von Schwierigkeiten bei der Durchführbarkeit einmal absieht — mit ungewöhnlich hohen Gerätekosten verbunden. Darüber hinaus ist im Hinblick auf eine praktische Anwendung des Verfahrens zu beachten, daß die „Arbeitsfunkenstrecke“ nur 12 mm betrug. Wenn diese Schichtdicke bereits als Grenze anzusehen ist, dürfte es sicher nicht möglich sein, große Zementleimmengen nach diesem Verfahren wirtschaftlich zu behandeln.

## **4. Schlußbemerkung**

4.1 Verglichen mit dem Aufwand und den praktisch nötigen Vorkehrungen läßt sich die mit „magnetisiertem“ Wasser vielleicht mögliche Steigerung der Festigkeit zuverlässiger und billiger durch einfache betontechnologische Maßnahmen erreichen.

4.2 Es ist noch nicht vorstellbar, wie das elektro-hydraulische Impulsverfahren nach der im Bericht beschriebenen Verfahrensweise der Laboratoriumsversuche in die Praxis übertragen werden könnte.

Den in Laboratoriumsversuchen erzielten erheblichen Festigkeitssteigerungen müßte gegenübergestellt werden, welches Ergebnis sich eingestellt hätte, wenn die Zemente ohne diese ungewöhnlich aufwendige Einwirkung bereits feiner gemahlen verwendet worden wären. Man muß außerdem in Betracht ziehen, daß durch den Funkendurchschlag wahrscheinlich Wasser aus dem Zementleim verdampfte und so dessen Wasserzementwert gesenkt wurde; allein dadurch sowie durch die festgestellte Erwärmung wäre eine Festigkeitssteigerung erklärbar.

## SCHRIFTTUM

- [1] Bobyk, I., und I. Nikonec: Verbesserung der Mikrostruktur und Festigkeit des Zementsteins durch magnetische Behandlung des Anmachwassers (Übersetzung aus dem Russischen). Budivelni materialy i konstrukciji (Baustoffe und Baukonstruktionen) Nr. 6/1967, S. 29/30.
- [2] Sengur, G.: Verdoppelung der Zementfestigkeit nach dem elektro-hydraulischen Impulsverfahren (Übersetzung aus dem Russischen). Budivelni materialy i konstrukciji (Baustoffe und Baukonstruktionen) Nr. 2/1968, S. 31/32.
- [3] Magnetic water makes concrete stronger . . . sometimes. World Construction, Nov. 1968, S. 58. Referat in HRIS (Highway Research Information Service) Abstracts 2 (1969) Nr. 2, S. 40.
- [4] Wolkonskij, J. W.: Über die Anwendung des magnetisierten Wassers in der Belontechnologie. Beton i zelezobeton (Beton und Stahlbeton, russ.) 15 (1969) H. 8, S. 46.