

Eisensilikat-Gestein und Natursteine im Wasserbau

Susanne Gebauer, Hans-Theodor Grunder, Marion Idel, Reza Khorasani, Hans-Peter Lühr und Uwe Rieth

In einer Studie „Eisensilikat-Gestein und Natursteine im Wasserbau – Vergleichende Gegenüberstellung der Umweltauswirkungen (Produkt-Ökobilanz)“ (auf Anfrage anzufordern bei Peute Baustoff GmbH (Fax: 040/789160-19 oder E-mail: info@peute.de) wurden natürliche Wasserbausteine mit industriell hergestelltem Eisensilikat-Gestein in Bezug auf die Umweltverträglichkeit im Wasserbau verglichen. Die Bilanzierung erfolgt dabei nicht als vollständige Erfassung sämtlicher Umweltauswirkungen, sondern orientiert sich am Produktlebensweg der Gesteine vor allem in Hinblick auf Ressourcenverbrauch und Elutionsverhalten.

Der vorliegende Bericht stellt die Ergebnisse dieser Produkt-Ökobilanz zusammen und gibt einen Überblick über die bisherigen Erkenntnisse zu Eigenschaften von Wasserbausteinen aus Naturstein und dem Eisensilikat-Gestein.

1 Allgemeines

Steine- und Erden-Produkte stellen eine wesentliche Grundlage unseres Lebensstandards dar. In Deutschland wurden 1998 ca. 146 Mio. t [1] Natursteine zur Verwendung im Wohnungs- und Straßenbau, etc. produziert. Dies führt zu einer ständigen Verringerung der vorhandenen Rohstoffreserven. Aufwendiges Baustoffrecycling und die Substitution der natürlichen Baustoffe durch industriell hergestellte Baustoffe z.B. Schlacken (1998: ca. 14 Mio. t [2]) entlasten die natürlichen Ressourcen und stellen so langfristig eine Versorgung der Bevölkerung sicher.

Dabei ist jedoch eine sorgsame Betrachtung der alternativen Baustoffe einerseits technisch – bezogen auf den Einsatzzweck – und andererseits hinsichtlich ihrer Umweltverträglichkeit notwendig. Im Allgemeinen werden zur Beurteilung der Umweltverträglichkeit eines Stoffes vor allem chemische Kenngrößen des Materials ermittelt und diese in Bezug zur Praxis gebracht.

Diese Herangehensweise ist, insbesondere vor dem Hintergrund der Erfahrungen aus dem z.T. sorglosen Umgang mit durchaus hochbelasteten industriellen Abfällen in der Vergangenheit, sinnvoll.

In Anbetracht der oben angesprochenen Ressourcenschonung und einer nachhaltigen Bewirtschaftung unserer Umwelt insgesamt darf sich eine Bewertung der Umweltverträglichkeit eines Materials jedoch nicht alleine auf die chemischen Eigenschaften eines Stoffes beschränken, sondern muss auch die übrigen Umweltauswirkungen entlang des Lebensweges des Produktes berücksichtigen.

Wasserbausteine werden an Böschungen und im Sohlbereich von Fließgewässern und an der Küste zum Schutz vor Erosion und Auskolkung eingesetzt. Als Material werden Natursteine oder industriell hergestellte Baustoffe, z.B. Eisensilikat-Gestein aus Metallhüttenschlacken, verwendet.

Natursteine im Rahmen dieser Gegenüberstellung sind die vornehmlich im norddeutschen Raum eingesetzten natürlichen Gesteine Basalt, Gabbro / Norit, Diabas, Gneis, Granit und Grauwacke.

Eco-Balance Study for the Use of Iron Silicate and Natural Rocks for Hydraulic Engineering

The objective of the study was to compare natural and industrial iron silicate rocks for hydraulic engineering with respect to their environmental compatibility. The balance study did not consider the full range of environmental effects, but those concerning the life cycle of the rocks, especially criteria such as resource consumption and leachability.

The report compiles all results of the eco balance and presents an overview of the environmental qualities of the investigated hydraulic engineering rocks of natural stone and the iron silicate.

Betrachteter industriell hergestellter Baustoff ist das Eisensilikat-Gestein. Es handelt sich dabei um eine weiterverarbeitete Metallhüttenschlacke, die als Koppelprodukt bei der Kupferverhüttung produziert wird.

Zunächst wurde eine mineralogisch-petrographisch-geochemische Betrachtung der Ausgangsstoffe durchgeführt. Es wurden die Verwitterungsbeständigkeit und die Verteilung und Bindungsform der umweltrelevanten Schwermetalle im Gestein dargestellt und davon ausgehend auf die Eluierbarkeit der Schadstoffe geschlossen.

Dem Produktlebensweg der Gesteine folgend wurden desweiteren die Phasen Gewinnung und Aufbereitung sowie der Transport der Wasserbausteine erörtert und hinsichtlich der damit verbundenen Umweltauswirkungen bewertet.

Beim Einsatz der Wasserbausteine sind die variierenden bautechnischen Kennwerte der Gesteine zu berücksichtigen. Durch sie begründen sich die verschiedenen Bemessungsverfahren zur Dimensionierung von Deckwerken aus Naturstein bzw. Eisensilikat-Gestein, die wiederum zu einem unterschiedlichen Umweltverhalten der Gesteine führen.

Zur Beurteilung der Umweltverträglichkeit der Gesteine während ihrer Nutzungsphase am und im Gewässer werden die Auswirkungen der Wasserbausteine auf die Gewässergüte anhand des Elutionsverhaltens der Gesteine und ihrer Auswirkungen auf die Gewässerbiozönose vergleichend dargestellt.

Die qualitative bzw. semi-quantitative Betrachtung der Umweltauswirkungen der Gesteine im Rahmen der Produkt-Ökobilanz soll dazu beitragen, die Diskussion über die Verwendung industriell hergestellter Baustoffe im Wasserbau mit sachlichen Argumenten zu untersetzen und die Ergebnisse in nachvollziehbarer Form ausschreibenden Stellen, Behörden und Planern als

Argumentations- und Entscheidungshilfe zur Verfügung zu stellen.

2 Verwitterungsbeständigkeit der Gesteine

Wasserbausteine müssen gemäß den Technischen Lieferbedingungen (TLW) [3] eine hohe Trockenrohdichte aufweisen und verwitterungsbeständig, d.h. gegen chemische Einflüsse des Grund- und Oberflächenwassers unempfindlich und gegen mechanische Beanspruchung widerstandsfähig sein. Bei der Verwitterung von Gesteinen arbeiten physikalische und chemische Prozesse Hand in Hand, wobei im Wasserbau insbesondere pH-Wert, Redoxverhältnisse, Temperatur und Salzgehalte des Milieus eine Rolle spielen. Die Verwitterungsstabilität wird entscheidend bestimmt durch die Gefügemerkmale – die Verwitterungsvorgänge finden vorwiegend im Porensystem der Gesteine statt – und die Stabilität der mineralischen Phasen.

Die chemischen Verwitterungsvorgänge sind mit Mobilisation und Umlagerung der chemischen Elemente verbunden, die als Folge stets zu Mineralum- und -neubildungen führen. Dabei können durchaus die vorher in den mineralischen Phasen gebundenen umweltrelevanten Spurenelemente freigesetzt werden. Die ökologische Relevanz von Schwermetallen im System Wasser/Gestein wird allerdings nicht durch deren Gesamtgehalte bestimmt, sondern durch die Faktoren Löslichkeit, Mobilität und Bioverfügbarkeit.

Bei den Natursteinen ist zu bedenken, dass selbst innerhalb einer Gesteinsippe Mineralbestand und Gefüge, je nach Vorkommen und Genese, sehr unterschiedlich sein können.

Für die natürlichen magmatischen Gesteine – zu denen die meisten im Wasserbau eingesetzten Natursteine zählen – gilt zudem, dass sie bereits bei ihrer Genese, im sog. spätmagmatisch-hydrothermalen Stadium, Umwandlungsprozessen unterliegen, die auf Kosten der stabileren Mineralphasen ablaufen. Die Verwitterungsbeständigkeit kann durch solche spätmagmatischen Umwandlungen empfindlich herabgesetzt sein.

Je nach Erhaltungszustand des primären Mineralbestandes und Gefüges können die Natursteine durchaus in relativ kurzen Zeiträumen, z.B. innerhalb von 50 Jahren, starke verwitterungsbedingte Zersetzungserscheinungen aufweisen.

Das Eisensilikat-Gestein weist Parallelen zu natürlichen magmatischen Gesteinen auf. [4] Das Ausgangsmaterial ist hier wie dort eine vorwiegend silikatische Schmelze. Im Gegensatz zu einem natürlichen Magma ist die Eisensilikat-schmelze jedoch in ihrem Mineralbestand relativ einheitlich. Obwohl die Abkühlungszeit von zwei bis drei Tagen nur einen Bruchteil der in der Natur üblichen ausmacht, erstarrt die Schmelze zum größten Teil kristallin (Abb. 1). Nach der Erstarrung liegt dann aufgrund einer extrem engen Verwachsung und Verschweißung der mineralischen Phasen ein sehr dichtes Gestein mit sehr hoher Festigkeit vor, das Agenzien in Form von wässrigen Lösungen kaum Angriffsfläche bietet. Da der Mineralbestand des Eisensilikat-Gesteins kein spätmagmatisches Stadium durchlaufen hat, ist er absolut frisch und zeigt keinerlei Umwandlungserscheinungen. Mineralogisch-petrographisch-geochemische Untersuchungen an Eisensilikat-Gesteinen, die bereits seit mehr als 20 Jahren im Wasserbau eingesetzt sind (Salzwasser, Brackwasser, Süßwasser, anoxisches Milieu), haben gezeigt, dass in dieser Zeit keine Veränderung und Verschiebung der Elementkonzentration, auch nicht ansatzweise, stattgefunden hat [5, 6].

3 Verteilung und Bindungsformen umweltrelevanter Schwermetalle

In natürlichen Gesteinen sind Spurenelemente in der Regel mit einer Kon-

zentration von deutlich weniger als 0,1 Gew.-% vertreten. Der Anteil der Spurenelemente in den Eisensilikat-Gesteinen geht zurück auf das Ausgangsmaterial, den natürlichen Rohstoff sulfidisches Kupfererz mit seinem Anteil an Spurenelementen.

Bei den hier interessierenden umweltrelevanten Schwermetallen ist allerdings weniger ihre quantitative Beteiligung von Bedeutung als vielmehr ihr Einbau und Verbleib in den mineralischen Phasen, d.h. ihre Bindungsform und -festigkeit [7]. Da die Schwermetalle entweder selbst Minerale bilden oder an bestimmte Wirtminerale gebunden sind, hängt ihre Umweltverfügbarkeit von deren Beständigkeit ab. Im Eisensilikat-Gestein haben die Schwermetalle stabile Bindungsformen durch „mehrfache Absicherung“ gefunden: Sie sind vor allem gebunden in Mineralen (z. B. Sulfiden), die in anderen Mineralen (z. B. Magnetiten) eingeschlossen sind, die ihrerseits eingekapselt in oder gut geschützt zwischen den Olivinkristallen vorliegen (Abb. 1). Die Eluatwerte bestätigen diese Bindungsfestigkeit.

Fazit

Über das Eisensilikat-Gestein mit seiner quasi genormten Zusammensetzung lassen sich eher verbindliche, zuverlässige Prognosen zur Umweltverträglichkeit machen, als über die variabel zusammengesetzten Natursteine. Natursteine enthalten zwar weniger



Abb. 1: Mikroskopische Aufnahme eines Eisensilikat-Gesteins nach 20 Jahren im Wasserbau: absolut frische Olivin-Megakristalle; in den Zwickelräumen der Olivine und in ihnen eingeschlossen Erzaggregate aus Magnetit (schwarz), stark untergeordnet Sulfide (schwarz); mit Analysator, Bildbreite = 2,2 mm



Abb. 2: Stillgelegter Grauwacke-Steinbruch, Erdarbeiten zur Weiternutzung als Inertstoff-Deponie

Ausbau und Entsorgung nach der Nutzung werden wegen der geringen Erfahrungsdichte sowie der bislang selten vorhandenen Notwendigkeit nicht erfasst. Die Gewinnung der Natursteine erfolgt im Trockentagebau. Diese Abbauart bewirkt eine erhebliche Beeinflussung der natürlichen und sozialen Umwelt im Bereich der Lagerstätte während aller Nutzungsphasen des Steinbruchs [8-10]. Zur Erschließung der Lagerstätte werden Rodungen vorgenommen, Boden und nicht nutzbare Gesteinsschichten werden abgetragen, damit das Festgestein mittels Bohren und Sprengen gelöst werden kann. Die verursachten Umweltauswirkungen sind vor allem Flächeninanspruchnahme, irreversible

Veränderung des Landschaftsbilds, Staub- und Lärmemissionen sowie eine Veränderung der Abflussverhältnisse und ggf. Qualität von Oberflächen- bzw. Grundwasser. Der bedeutendste Eingriff der Natursteingewinnung ist jedoch der Abbau einer nicht erneuerbaren Ressource. Auch nach Stilllegung

des Steinbruchs bleiben Tagebau-Restlöcher als sichtbares Zeichen für diesen Ressourcenverbrauch (Abb. 2).

Das Eisensilikat-Gestein ist ein Koppelprodukt der Kupferverhüttung. Für die Produktion des Gesteins in gleichmäßiger Qualität ist eine hochwertige Qualitätssicherung bei der Kupferverhüttung erforderlich. Es werden jedoch keine zusätzlichen Ressourcen in Anspruch genommen. Der Herstellungsprozess des Eisensilikat-Gesteins beginnt somit beim Ableiten der Schmelze (Abb. 3). Die mit dem Herstellungsprozess verbundenen Umweltauswirkungen sind Flächenverbrauch durch Abstellflächen für das Abkühlen der Eisensilikat-Schmelze sowie Emissionen durch innerbetriebliche Transportvorgänge. Sie sind als gering zu bewerten.

Gleichzeitig trägt der Einsatz des Eisensilikat-Gesteins erheblich zur Schonung der natürlichen Lagerstätten bei: Die Jahresproduktion industriell hergestellter Wasserbausteine im Bundesgebiet beträgt ca. 0,62 Mio t (in 1999 ca. 0,38 Mio. t Eisensilikat-Gestein sowie weitere ca. 0,24 Mio. t Eisenhütten-schlacken [2]). Dies entspricht mehr als einem Viertel der jährlichen bundesdeutschen Produktion an Wasserbausteinen aus Naturstein (1999: ca. 2,13 Mio. t; [1]).

Demgegenüber bedeutet eine unterbleibende Nutzung des Eisensilikat-Gesteins einen weitergehenden Verbrauch von Ressourcen: einerseits durch steigende Natursteinproduktion und an-

Schwermetalle als die Eisensilikat-Gesteine, da sie jedoch aufgrund ihres Mineralbestandes und ihres Gefüges leichter verwitterbar sind, ist bei ihnen eher die Möglichkeit gegeben, dass Schwermetalle freigesetzt werden.

Das Eisensilikat-Gestein enthält dagegen mehr Schwermetalle als die hier betrachteten Natursteine, ist aber bedeutend verwitterungsbeständiger. Der auch nach mehr als 20 Jahren gute Erhaltungszustand der mineralischen Phasen, das dichte Gefüge sowie die relative Konstanz der Elemente sind ein eindeutiger Beweis dafür, dass Verwitterungseinflüsse, und zwar hier speziell Wasser, weder eine strukturelle noch eine stoffliche Veränderung bzw. Umwandlung in den Eisensilikat-Gesteinen haben herbeiführen können (Abb. 1). Eine nennenswerte und ökologisch bedenkliche Freisetzung der chemischen Elemente, also auch der umweltrelevanten Spurenelemente, kann somit ausgeschlossen werden.

4 Gewinnung und Aufbereitung

Der Produktlebensweg der Wasserbausteine umfasst im Wesentlichen die Phasen Gewinnung, Aufbereitung und Transport bis zum Einbau. Die Phasen

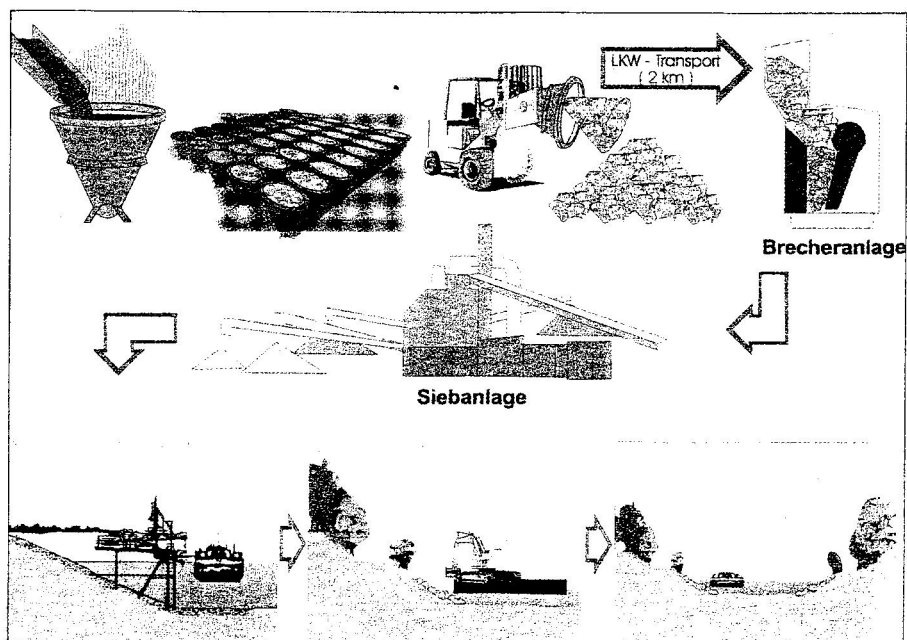


Abb. 3: Schematische Darstellung des Produktlebenswegs von Eisensilikat-Gestein

dererseits u.U. durch den Flächenbedarf für die Deponierung des Eisensilikat-Gesteins.

Zur Aufbereitung (Brechen des Gesteins, Klassieren) von Natursteinen und Eisensilikat-Gestein werden im Wesentlichen gleichartige Techniken eingesetzt. Es sind daher keine wesentlichen Unterschiede hinsichtlich der Qualität und Quantität der entstehenden Umweltauswirkungen feststellbar.

5 Transport der Wasserbausteine

Die Umweltauswirkungen im Bereich Transport sind überwiegend abhängig vom gewählten Transportmittel und von der Transportentfernung [11, 12]. Generell gilt, dass der Transport mittels Binnenschiff umweltfreundlicher ist als Lkw-Transporte. Erst an zweiter Stelle ist dann die Transportentfernung für die transportbedingten Umweltbelastungen relevant.

Durch direkte Wasserstraßenanbindung der Produktionsstätten ist beim Einsatz des Eisensilikat-Gesteins eine ausschließliche Nutzung des umweltfreundlichen Transports mittels Binnenschiff möglich, während für den Transport der Natursteine häufig zunächst ein Lkw-Zwischentransport notwendig ist.

Die geringere Trockenrohdichte (s.u. Bautechnische Kennwerte) von Natursteinen bewirkt, dass in der Regel geringere Gesamttonnagen transportiert werden. Demgegenüber ermöglicht die hohe Trockenrohdichte des Eisensilikat-Gestein in der Regel eine Verringerung der Schichtdicken der Deckwerke (vgl. Dimensionierung von Deckwerken). Durch das verminderte Einbauvolumen verringert sich proportional die Zahl der Arbeitsspiele beim Einbau, so dass sich bei Einsatz von Eisensilikat-Gestein Zeit- und Energieeinsparungen von rechnerisch ca. 20 % mit einem dadurch entsprechend verringertem Schadstoffausstoß ergeben. Weiterhin bewirkt die gegenüber den Natursteindeckwerken verringerte Deckwerksdicke in der Regel einen verminderten Eingriff in das Schutzgut Boden. Dies hat zusätzlich Energieeinsparungen und Schadstoffverminderungen zur Folge, da weniger Bodenmaterial bewegt und verbraucht wird.

6 Bautechnische Kennwerte

Wasserbausteine werden als langlebige Deckwerke auf Böschungen und Sohlen von Bächen, Flüssen, Kanälen und an der Küste eingesetzt. Sie schützen

die Uferlinie vor Auskolkungen und vor mechanischen Beschädigungen, die z.B. durch Schiffsstöße oder Anker verursacht werden.

Die wesentlichen, für die Stabilität eines Deckwerks maßgeblichen Kennwerte von Wasserbausteinen sind Trockenrohdichte, Frost- und Verwitterungsbeständigkeit sowie Druckfestigkeit und Kornform.

Aufgrund der bereits beschriebenen stark variierenden und inhomogenen Zusammensetzung von Natursteinen gilt auch für ihre bautechnischen Kennwerte, dass je nach Art und Herkunft der Gesteine weit differierende Qua-

sensilikat-Gestein durch Frost-Tauwechsel sind kleiner als 0,1 Gew.-%, die Druckfestigkeit beträgt rd. 230 N/mm². Die Kornform ist kompakt. Diese Eigenschaften haben einen positiven Einfluss auf die Lagestabilität von Deckwerken (u.a. hohes Flächengewicht und gute Verzahnung) und ermöglichen eine Minimierung der Einsatzmengen von Eisensilikat-Gestein (s.u.).

7 Dimensionierung von Deckwerken

Die für die Bemessung eines Deckwerks ausschlaggebenden Belastungsfälle lassen sich in der Regel auf die Belastun-

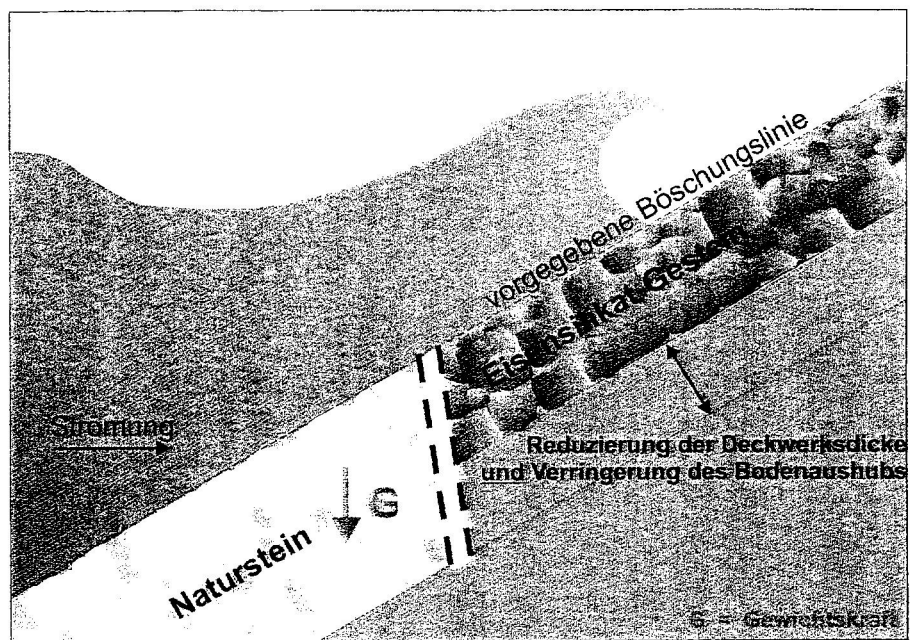


Abb. 4: Deckwerksdicke von Natursteinen und Eisensilikat-Gestein unter Berücksichtigung der Bodenaushubmassen

litäten bezogen werden können. So liegt die Trockenrohdichte von Natursteinen zwischen 2,3 kg/dm³ und 3,0 kg/dm³. Die Frostbeständigkeit, ausgedrückt als Absplitterungen in Gew.-%, variiert von 0,0 bis 1,0 Gew.-%, ist jedoch für Wasserbausteine auf 0,5 Gew.-% gemäß TLW beschränkt. Die Druckfestigkeit liegt zwischen 120 N/mm² und 400 N/mm². Das ungleichmäßige Gefüge der Natursteine kann zu Trennfugen im Gestein und damit zu einem erhöhten Anteil von Steinen mit „ungünstiger“ (z.B. plattiger) Kornform führen. Die Kennwerte des Eisensilikat-Gesteins unterliegen deutlich geringeren Schwankungen: Die Trockenrohdichte liegt zwischen 3,6 kg/dm³ und 3,9 kg/dm³ und ist damit um bis zu 70 % höher als die Trockenrohdichte von Natursteinen. Die Absplitterungen am Ei-

gen durch Strömung, Wellen und Druckänderungen, z.B. durch das Absinken des Wasserspiegels, reduzieren. Betrachtet werden Deckwerke ohne Verguss auf geotextilem Filter oder Kornfilter. Die wesentlichen Bemessungsgrößen eines Deckwerkes sind Flächengewicht und Mindestschichtdicke.

Für die Dimensionierung von Natursteindeckwerken gibt das Merkblatt „Anwendung für Böschungs- und Sohlensicherungen an Wasserstraßen“ (MAR) [13] unter Berücksichtigung bestimmter Bodenverhältnisse und Regelbelastungen Empfehlungen für die erforderlichen Mindestdicken und Flächengewichte vor.

Die Anwendung der für den Regelfall nach MAR empfohlenen Schichtdicken beim Einsatz von Eisensilikat-Gestein

WASSERSTRASSEN UND HÄFEN

führt, aufgrund der hohen Trockenrohdichte des Gesteins, zu deutlich höherem Flächengewicht und damit in der Regel zur Überdimensionierung des Deckwerkes. Um dem zu begegnen, kann für den Einsatz von Eisensilikat-Gestein das von der Bundesanstalt für Wasserbau veröffentlichten graphische Dimensionierungsverfahren [14] angewendet werden.

In der Folge ergeben sich bei nachweislich gleicher Stabilität des Deckwerks für Eisensilikat-Gestein bis zu 40 % geringere Deckschichtdicken als bei Natursteinen (s. Abb. 3) [14]. Die Reduzierung der Schichtdicke kann jedoch aufgrund von z.B. Ankerwurf und Lichteinstrahlung auf Geotextilen auf Grenzen stoßen. In der Praxis zeigt sich, dass eine Reduzierung des Einbauvolumens von ca. 20–30 % durchaus üblich ist.

8 Elutionsverhalten der Gesteine

Im Gewässer wird das Elutionsverhalten von Wasserbausteinen durch das Zusammenwirken vieler Faktoren (Oberfläche, Strömungsverhältnisse, Bewuchs, Hintergrundbelastung des Gewässers, etc.) bestimmt, deren naturgetreue Simulation kaum möglich ist. Zur Beurteilung des Elutionsver-

haltens der Gesteine wurden daher mittels unterschiedlicher Elutionsverfahren vergleichende Laboruntersuchungen zur Schwermetall-elution aus Natursteinen und aus Eisensilikat-Gestein durchgeführt [17–20]. Aus diesen Elutionsversuchen läßt sich folgendes ableiten:

Geringe Schwermetallgehalte finden sich sowohl im Eluat der untersuchten Natursteine (Basalt, Diabas und Norit) als auch im Eluat des Eisensilikat-Gesteins. Die für das Eisensilikat-Gestein ermittelten Werte für Kupfer und Blei liegen oberhalb der für die Natursteine ermittelten Werte. Für Nickel zeigen sich die Eluatgehalte der Natursteine leicht erhöht. Die Gehalte der übrigen betrachteten Schwermetalle (Zink, Chrom, Arsen, Cadmium, Quecksilber und Kobalt) im Eluat der Gesteine sind vergleichbar, bzw. liegen im Bereich der Nachweisgrenzen der angewandten Analyseverfahren.

Für die Betrachtung des Langzeitverhaltens der Gesteine hinsichtlich ihrer Schwermetall-elution liegen Ergebnisse aus Mehrfachelutionen (Trog- und S4-Verfahren) am Eisensilikat-Gestein und aus einem vergleichend für Naturstein (Basalt) und Eisensilikat-Gestein durchgeführten Perkolationsversuch

vor. Für alle drei angewandten Elutionsverfahren ergibt sich, dass die Gehalte der eluierbaren Schwermetalle nach mehrfacher Elution stark abnehmen. Insgesamt ergeben sich Schwermetallgehalte der gleichen Größenordnung für beide Gesteinstypen.

Zur Bewertung der durch die Elutionsversuche ermittelten Ergebnisse ist in erster Linie die TLW heranzuziehen. Gemäß TLW gilt für das Eisensilikat-Gestein ein Grenzwert von 0,05 mg Kupfer/l Eluat, ermittelt nach dem Trogverfahren. Dieser Wert wird von den vorliegenden umfangreichen Analysedaten [15–18] sicher unterschritten. Die im weiteren zur Bewertung der Eluatgehalte herangezogenen Zuordnungswerte der LAGA [21] für Boden (Eluat) und Prüfwerte nach BodSchV [22] für (Boden-)Sickerwasser werden für die im S4-Verfahren gewonnenen Eluate der Gesteine angewandt. Es ergibt sich, dass die Eluatgehalte beider Gesteinstypen im Bereich der dort vorgegebenen, maßgeblich für das Schutzgut Grundwasser aufgestellten Richtwerte liegen.

9 Auswirkungen auf die Gewässerbiozönose

Ein wesentlicher Indikator für die Um-

Tabellarische Übersicht der Ergebnisse

	Natursteine	Eisensilikat-Gestein
Vorkommen	natürliche Lagerstätten	industrielle Herstellung als Koppelprodukt der Kupferverhüttung
Verwitterungsbeständigkeit	Unterliegen aufgrund ihrer Genese bereits Umwandlungs- und Umlagerungsprozessen; mäßig verwitterungsbeständig bis verwitterungsbeständig	Als 'frisches' Gestein, das keinen spätmagmatischen Umwandlungs- bzw. Alterungsprozessen unterliegt, anzusehen; sehr verwitterungsbeständig
Umweltrelevante Inhaltsstoffe	niedrigere Schwermetallgehalte (< 0,1 Gew.%)	Schwermetalle sind stabil gebunden
Gewinnung	Trockentagebau mit erheblichen Auswirkungen auf die natürliche und soziale Umwelt der Abbaustätte Nutzung einer nicht erneuerbaren Ressource	Geringe Umweltauswirkungen bei Herstellung (Koppelprodukt) Durch Nutzung des Eisensilikat-Gesteins werden natürliche Ressourcen geschont, und der Verbrauch von z.B. Deponievolumen vermieden
Aufbereitung	Keine Unterschiede aufgrund gleicher Aufbereitungsverfahren	
Transportvorgänge	I.d.R. zusätzlicher Lkw-Transport nötig; damit höherer spezifischer Energieverbrauch und Schadstoffausstoß Transportierte Gesamttonnage i.d.R. geringer	Nutzung des umweltfreundlicheren Wasserweges aufgrund direkter Anbindung möglich Geringeres Einbauvolumen bewirkt ca. 20%ige Energieeinsparungen beim Einbau und einen verminderten Eingriff in das Schutzgut Boden sowie Bodenmindermassen beim Transport
Bautechnische Kennwerte:		
Trockenrohdichte	2,3–3,0 kg/dm ³ (je nach Gesteinsart)	3,6–3,9 kg/dm ³ (annähernd konstant)
Druckfestigkeit	120–400 N/mm ² (je nach Gesteinsart stark variierend)	rd. 230 N/mm ² (annähernd konstant)
Kornform	Trennfugen im Gestein bewirken z.T. „ungünstige“ (z.B. plattige) Kornform	Kompakt; geringerer Anteil an Steinen mit „ungünstiger“ Kornform
Dimensionierung von Deckwerken	setzen Bemessungs-Standard [13] mit vorgesehenen Mindestschichtdicken	bis zu 40 % geringere Deckschichtdicken bei gleicher Stabilität des Deckwerks [14]
Elutionsverhalten der Gesteine	Geringe Mengen an Schwermetallen, bei Mehrfachelution stark abnehmend Keine Grenzwerte vorgegeben	Vergleichbare, z.T. leicht höhere Mengen an Schwermetallen, bei Mehrfachelution stark abnehmend; der Grenzwert von 0,05 mg Kupfer/l Eluat (TLW) wird sicher eingehalten
Auswirkungen auf die Gewässerbiozönose	Bewuchs durch Makroinvertebraten zeigt keine Unterschiede hinsichtlich Artenzahl und Besiedlungsdichte. - Es findet keine Akkumulation von Schadstoffen in Makroinvertebraten statt; krankhafte Gewebeveränderungen wurden nicht festgestellt	



Abb. 5: Uferbefestigung mit Wasserbausteinen

weltauswirkungen von Wasserbausteinen ist ihre Besiedlung mit Makroinvertebraten. Makroinvertebraten sind die auf dem Boden von Gewässern lebenden festgewachsenen und freien wirbellosen Tiere (z.B. Insekten, Mollusken und Krebstiere). Sie bilden den empfindlichsten Bestandteil der Gesamtbiozönose des Gewässers.

Die Besiedlung durch Makroinvertebraten auf Natursteinen und auf Eisensilikat-Gestein wurde vielfach untersucht. Dabei konnten weder in der Artenzahl noch in der Besiedlungsdichte signifikante Unterschiede festgestellt werden [23–28]. Beide Gesteinstypen bieten ausreichende Siedlungsmöglichkeiten für Makroinvertebraten. Auch bezüglich der zur Beurteilung des Langzeitverhaltens betrachteten Akkumulation von Schwermetallen in gewissen Makroinvertebraten (Strandschnecken und Larven von Köcherfliegen) [24, 29] und einer möglichen krankhaften Gewebeveränderung der Organismen (Strandschnecke) aufgrund des Eintrags toxischer Schwermetalle aus dem Gestein [30] wurde festgestellt, dass weder von den Natursteinen noch vom Eisensilikat-Gestein negative Effekte auf die untersuchten Makroinvertebraten ausgehen.

10 Ausblick

In Tab. 1 wird ein Überblick über die Ergebnisse der Studie gegeben. Eine Substitution nicht erneuerbarer natürlicher Rohstoffe durch umweltverträg-

liche Alternativprodukte ist im Sinne einer nachhaltigen Ressourcenschonung anzustreben.

Als Koppelprodukt der Kupferherstellung können Baustoffe aus Eisensilikat-Gestein umweltschonender produziert werden als in Steinbrüchen gewonnene Natursteine. Die Ergebnisse der Produkt-Ökobilanz zeigen, dass das Eisensilikat-Gestein auch hinsichtlich seiner Umweltverträglichkeit den Anforderungen an Wasserbausteine entspricht und beim Einbau in fließende Gewässer keine negativen Auswirkungen auf die Gewässergüte festgestellt wurden bzw. zu erwarten sind. Damit zeichnet sich das Eisensilikat-Gestein als eine umweltverträgliche Alternative zu Natursteinen im Wasserbau aus. Die besonderen technischen Möglichkeiten bei der Dimensionierung von Deckwerken aus Wasserbausteinen mit hoher Trockenrohddichte sollten in Zukunft verstärkt sowohl von planenden als auch von ausschreibenden Stellen berücksichtigt werden. Durch die Reduzierung der Deckwerksdicken bei gleichbleibend hoher Stabilität des Bauwerks ist dann, wie aufgezeigt, eine zusätzliche Ressourcenschonung möglich. Es ist zu erwarten, dass die dargestellte Betrachtung des Produktlebenswegs von Wasserbausteinen, die nunmehr vorliegenden Ergebnisse umfangreicher Untersuchungen an Eisensilikat-Gestein und die daraus gewonnene Sicherheit hinsichtlich seines Umweltverhaltens zu einer erhöhten Akzeptanz dieses umweltverträglichen Baustoffs

insbesondere bei Behörden führt.

11 Schrifttum

- [1] Statistisches Bundesamt: Auszug aus der Fachserie 4 Reihe 3.1 Produktion im Produzierenden Gewerbe; Produktionsdaten Jahr 1998 Natursteine für den Betonbau oder als Steinmaterial im Wege- und Bahnbau; Körnungen, Splitter und Mehl von Steinen ohne Dolomit und Marmor, Wiesbaden 2000
- [2] Angaben der Peute Baustoff GmbH, Hamburg
- [3] Bundesministerium für Verkehr: Technische Lieferbedingungen für Wasserbausteine (TLW), Ausgabe 1997
- [4] Khorasani, R.: Mineralogisch-petrographische Untersuchungen an Eisensilikat-Gesteinen der Norddeutschen Affinerie Hamburg.- Untersuchungsbericht, Hamburg 1995
- [5] Khorasani, R.: Mineralogisch-petrographisch-geochemische Untersuchungen an im Wasserbau eingesetzten Eisensilikat-Gesteinen der Norddeutschen Affinerie Hamburg zur Beurteilung von Verwitterungsbeständigkeit, Langzeitverhalten und Umweltverträglichkeit.- Untersuchungsbericht, Hamburg 1998
- [6] Khorasani, R.: Mineralogisch-petrographisch-geochemische Untersuchungen zu Verwitterungsbeständigkeit, Langzeitverhalten und Umweltverträglichkeit von Eisensilikat-Gesteinen der Norddeutschen Affinerie Hamburg im anoxischen Milieu (Insel Nordsee).- Untersuchungsbericht, Hamburg 1998
- [7] Khorasani, R.: Bindungsformen und Verteilung von Elementen am Beispiel der Eisensilikatschlacke.- Veröffentlicht in: Schlacken im Wasserbau, Schriftenreihe der Forschungsgemeinschaft Eisenhüttenschlacken e.V., Heft 4, Duisburg 1997
- [8] Bundesministerium für Wirtschaftliche Zusammenarbeit BMZ (Hrsg.): Umwelt-Handbuch: Arbeitsmaterialien zur Erfassung und Bewertung von Umweltwirkungen. Braunschweig 1993
- [9] Speetzen E. (Hrsg.): Rohstoffe und Umwelt: Die Steine- und Erden-Industrie Nordrhein-Westfalens im Spannungsfeld zwischen Rohstoffgewinnung und Umweltschutz (Geologie und Ökologie im Kontext). Berlin 1993
- [10] Herbstreit, Stolzenburg: Vermeidungs-, Verminderungs- und Kompensationsmaßnahmen von Eingriffen in Natur und Landschaft beim Felsgesteinsabbau, in Natur und Landschaft, 74. Jg. (1999) Heft 3
- [11] Spelthahn et al.: Umweltbewusstes Transportmanagement. S. 28 f, Bern 1993
- [12] Umweltbundesamt (Hrsg.): Materialien zu Ökobilanzen und Lebensweganalysen, Berlin 1997
- [13] Bundesanstalt für Wasserbau: Merkblatt Anwendung von Regelbauweisen für Böschungs- und Sohlensicherungen an Wasserstraßen (MAR), Ausgabe 1993
- [14] Abromeit, H.-U. in Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau Nr. 75: Ermittlung technisch gleichwertiger Deckwerke an Wasserstraßen und im Küstenbereich in Eisenhüttenschlacke und Metallhüttenschlacke im Bauwesen, 1997
- [15] Peute Baustoff GmbH: Laborergebnisse aus Eigenüberwachung der Analytischen Laboratorien der Norddeutschen Affinerie AG, Hamburg
- [16] Peute Baustoff GmbH: Laborergebnisse des Eluat-Laborvergleichs von fünf qualifizierten Laboratorien an Eisensilikat-Gestein der Norddeutschen Affinerie AG 1998; 20.05.1998
- [17] Peute Baustoff GmbH: Laborergebnisse des Eluat-Laborvergleichs von fünf qualifizierten Laboratorien an verschiedenen Gestei-

- nen 1998 (2. Laborvergleich), 23.10.1998
- [18] Bertsch, W.: Auszug aus einem Forschungsvorhaben der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) bezüglich der Elution von Inhaltsstoffen aus Schlackensteinen, hier: von Kupfer, Blei und Zink aus Kupferhütten-Schlackensteinen der Norddeutschen Affinerie, Stand: 4.2.1998
- [19] Blum, U., Larm, A., et al. (Niedersächsisches Landesamt für Ökologie, Hrsg.); Mobilisierbarkeit von Schwermetallen und Arsen aus Schlacken, Gläsern und Gesteinen. Anwendung des pHstat-Verfahrens für Sonderfragestellungen bei Verwertungsvorhaben; erschienen in der Reihe Nachhaltiges Niedersachsen - Dauerhaft umweltgerechte Entwicklung, Heft 9; Hildesheim, 2000
- [20] Mederer, J. et al. (Nieders. Landesamt für Bodenforschung, Bundesanstalt für Geowissenschaften): Die Schwermetallmobilität kristalliner und glasiger NE-Metallschlacken im Vergleich mit basischen und ultrabasischen Natursteinen; in Schriftenreihe der GDMB Heft 83, 1999
- [21] Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA): Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen - Technische Regeln, Hrsg.: LAGA, März 1994
- [22] Verordnung zur Durchführung des Bundesbodenschutzgesetzes (Bodenschutz- und Altlastenverordnung - BodSchV), Entwurf vom 1. September 1998 (Kabinettsfassung)
- [23] Tittizer, Th.: Vergleichende Untersuchungen zur Besiedlung von Schlackensteinen durch höhere wirbellose Tiere (Makrozoobenthos), in "Schriftenreihe der Forschungsgemeinschaft Eisenhütenschlacken e.V." Heft 4, S. 89-122, 1997
- [24] Mädler, K.; August, T.: Untersuchungen zu Unterschieden hinsichtlich Besiedelung und Akzeptanz verschiedener Substrate am Beispiel von Schlacken- und Natursteinen an der Elbe im Raum Dresden, Abschlußbericht eines Forschungsvorhabens im Auftrag der Umweltbehörde der Freien und Hansestadt Hamburg, Amt für Umweltschutz-Gewässer- und Bodenschutz, Mai 1995 sowie (Nachtrag) September 1995
- [25] Jähriing, K.-H.: Staatliches Amt für Umweltschutz Magdeburg: Wassergütemirtschaftliche und gewässerökologische Stellungnahme zum Einsatz von künstlichen Wasserbausteinen in der Gewässerunterhaltung, 23.8.1995
- [26] Rotter, K.: Die Auswirkungen von künstlichen Wasserbausteinen (Kupferschlacke) auf die Makrozoobenthosbesiedelung der Elbe; Diplomarbeit der Fachhochschule Magdeburg, Fachbereich Wasserwirtschaft, 16.9.1994
- [27] Hartwig, E. (Institut für Naturschutz- und Umweltschutzforschung - INUF - des Vereins Jordsand): Fachliche Stellungnahme zur Diplomarbeit von K. Rotter (siehe 13) vom 11.7.1993
- [28] Rotter, K.; Dreyer, U.: Auswirkungen von Schlackensteinen auf die Makrozoobenthosbesiedelung der Elbe, Wasser & Boden. 48. Jahrg. 12, S. 24-28, 1996
- [29] Langecker, T.G. (Institut für Naturschutz- und Umweltschutzforschung - INUF - des Vereins Jordsand): Akkumulation und Effekte von Schwermetallen bei weidenden Makrozoobenthosarten (hier: Littorina littorea, die Gemeine Strandschnecke) auf Natur- und Schlackensteinen im Wasserwechselfeldbereich, Bericht Nr. 1, August 1997
- [30] Langecker, T.G.; Hartwig, E. (Institut für Naturschutz- und Umweltschutzforschung - INUF - des Vereins Jordsand): Akkumulation und Effekte von Schwermetallen bei weidenden Makrozoobenthosarten (hier: Littorina littorea, die Gemeine Strandschnecke) auf Natur- und Schlackensteinen im Wasserwechselfeldbereich, Bericht Nr. 2, Februar 1998

Verfasser

Prof. Dr. rer. nat. Reza Khorasani, Fachhochschule Hamburg, Fb Bauingenieurwesen Labor für Baustofftechnologie u. Bauchemie, Hebebrandstr. 1, 22297 Hamburg, Tel.: 040/46 67-3793, Fax -3704 (Abschnitte 2 und 3) - Spiekermann GmbH Beratende Ingenieure unter maßgeblicher Mitwirkung von Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Lühr und Dr. Hans-Theodor Grunder, ehem. Institut für wassergefährdende Stoffe (IWS) an der Technischen Universität Berlin, Pfalzburger Str. 43-44, 10717 Berlin (Abschnitte 8 und 9) - Dipl.-Ing. Susanne Gebauer, Dipl.-Ing. Marion Idel, Dipl.-Geol. Uwe Rieth, Spiekermann GmbH Beratende Ingenieure, Fritz-Vormfelde-Str. 12, 40547 Düsseldorf, Tel.: 0211/52 36-0, Fax -458, email: info@spiekermann.de (Abschnitte 4 bis 7 sowie Gesamtkoordination) □

Millennium Link - Hebewerk in Schottland

Michael Behrendt

Anlässlich der PIANC-PIC Sitzung in London im Mai 2000 berichteten die Kollegen von „British Waterways“ über eine in Schottland geplante Attraktion. Zwar ist die von British Waterways betreute Binnenschifffahrt von deutlich kleinerem Maßstab als auf dem Kontinent, jedoch wird von dort in einer Vielzahl verschiedener Partnerschaften den regionalen Interessen und Auswirkungen auf das Freizeitverhalten der Bevölkerung ein Stellenwert eingeräumt, wie dies dem Bund in Deutschland aus gesetzlichen Gründen nicht möglich ist. Bedeutendstes Bauwerk im Rahmen der „Millennium Link“ ist das „Falkirk wheel“. Das Bauwerk dient der touris-

tischen Erschließung der Region und der Sport- und Freizeitschifffahrt. Insofern sind auch die Funds der National Lottery die wesentlichen Finanzierungsquellen für das Projekt.

Mit „Falkirk wheel“ wird ein in seiner Form einzigartiges Hebewerk für Sport- und Freizeitboote (Abmessungen dort bis zu 20 m x 3,80 m) bezeichnet, welches an ein Rad erinnert. Mit diesem Hebewerk wird eine neue Verbindung zwischen dem Union Kanal (Edinburgh - Falkirk v. 1822) und dem Forth and Clyde Canal (Glasgow - Grangemouth v. 1790) geschaffen (Abb. 1).

Das Hebewerk entsteht an einer Stelle, wo zu früherer Zeit eine Schleu-

senkette von 11 Schleusen einen Höhenunterschied von 33,50 m überwinden half. Zwar wurden die Kanäle in Anbetracht der technischen Entwicklung (Eisenbahn/Straßenbau) in den sechziger Jahren wegen anderer rasch zunehmender baulicher Erschließung endgültig geschlossen, sie sollen jedoch im Rahmen des „Millennium Link“ Projektes reaktiviert werden. Hierzu werden 110 km des Forth and Clyde Kanals und des Union Kanals so rekonstruiert, dass sie künftig für die Freizeitschifffahrt nutzbar sind und die Region um eine internationale technische Attraktion reicher ist. Das „Falkirk wheel“ soll im Rahmen der