

Matthias J. Rebhan Technische Universität Graz, Institut für Bodenmechanik, Grundbau und Numerische Geotechnik

Clemens Klass ASFINAG Baumanagement GmbH

Volker Reinprecht Technische Universität Graz, Institut für Angewandte Geowissenschaften

Stefanie Radinger Technische Universität Graz, Institut für Bodenmechanik, Grundbau und Numerische Geotechnik

Roman Marte Technische Universität Graz, Institut für Bodenmechanik, Grundbau und Numerische Geotechnik

Erhaltung von Stützbauwerken aus Spritzbeton im Bereich der Straßeninfrastruktur

Stützbauwerke aus Spritzbeton – Funktion, Tragverhalten und Verwendung

Durch seine dynamischen Einsatzmöglichkeiten eignet sich Spritzbeton für eine Vielzahl an konstruktiven Anwendungen. Die Bandbreite reicht von temporären Baugrubensicherungen, Tunnelauskleidungen bis zu permanenten Stützkonstruktionen (vgl. [1], [2] & [3]). Letztere können dabei in unterschiedlichen Varianten und Kombinationen hergestellt werden und umfassen beispielsweise freistehende Bauwerke (Abb. 1), Ausfachungen zwischen Ankerriegeln und Bohrpfählen (Abb. 2) und punktuelle Sicherungsmaßnahmen an Felsböschungen.



Abb. 1 Anwendungsbeispiel von Spritzbeton bei geotechnischen Bauwerken, alleinstehende Konstruktion

Hinsichtlich ihres funktionellen Einsatzgebietes können Konstruktionen zur Abstützung des Geländes (Abb. 1), Lastverteilung (Abb. 2) und zum Verwitterungsschutz abgegrenzt werden. Die Flexibilität von Spritzbeton ermöglicht darüber hinaus die Errichtung anspruchsvoller

Hybridkonstruktionen (Abb. 3), welche an die jeweiligen Gelände- und Standortverhältnisse angepasst werden können.



Abb. 2 Anwendungsbeispiel von Spritzbeton bei geotechnischen Bauwerken, kombiniert mit Ankerlisernen



Abb. 3 Sonderkonstruktion einer rippenartigen Spritzbetonkonstruktion zur Sicherung eines Hangeinschnittes

Zudem kommt Spritzbeton bei der Sanierung bzw. Instandhaltung schadhafter Bestands-

bauwerke [4] zur Anwendung, um deren Dauerhaftigkeit zu erhöhen und ihre Lebensdauer zu verlängern. Neben den Vorteilen bei der Herstellung können durch Anpassung der Schalendmächtigkeit, des Bewehrungsgrades und die Installation von Zuelementen (Vernagelung) unterschiedlichste Randbedingungen berücksichtigt werden.

Aus den obigen Aussagen kann daher abgeleitet werden, dass Spritzbetonkonstruktionen vor allem bei komplexen geometrischen und geologischen Randbedingungen zur Anwendung kamen und kommen. Im Streckennetz der ASFINAG (vgl. [5]) befinden sich ca. 80 Spritzbetonkonstruktionen. In Bezug auf die Erhaltung weisen diese ein mittleres Bauwerksalter von 26 Jahren auf und befinden sich im Durchschnitt in der Zustandsklasse 2 (guter Zustand nach RVS 13.03.61 [6]). Gegenüber der Gesamtanzahl von 1.687 Stützbauwerken sind reine Spritzbetonbauwerke daher eine Minderheit.

Schäden und Schadensbilder

Wie alle Konstruktionen und Bauelemente unterliegen auch Bauwerke aus Spritzbeton einem Alterungsprozess. Bei diesem Prozess wird die natürlich stattfindende Degradation der Baustoffe von äußeren Einwirkungen (mechanisch-chemische Schäden) überlagert und beschleunigt. Die Schadensbilder hängen von den Umweltverhältnissen ab und erfordern interdisziplinäre Kenntnisse auf den Gebieten des konstruktiven Ingenieurbaus, der Geologie und der Geotechnik. Darüber hinaus sind zur Schadensgenese auch Recherchen hinsichtlich der Bauwerkshistorie erforderlich, um beispielsweise herstellungsbedingte Schäden zu erkennen und bewerten zu können.

Vielen Schäden sind in ihrer Frühphase als optischer Mangel an der Konstruktion erkennbar und bieten die Möglichkeit, im Zuge einer Inspektion (vgl. [7] bis [11]) erfasst und im Zuge einer Instandhaltung beseitigt zu werden. Beispiele hierzu sind Moosbewuchs, kleinere Risse und Aussinterungen. Sofern diese eingegrenzt vorliegen und zeitnah beseitigt werden, handelt es sich meist nicht um dauerhaftigkeitsbedingte Probleme. Unbehandelte Risse, blockierte Drainagen und strauchartiger Bewuchs können

jedoch langfristig einen nachhaltigen Einfluss auf die Dauerhaftigkeit der Konstruktion und deren Standsicherheit haben.

Geologische und hydrogeologische Interaktionsprozesse beeinflussen zudem die Dauerhaftigkeit von Spritzbetonkonstruktionen durch strukturelle und mechanische Wechselwirkungen (vgl. [12] & [13]). Besonders exponiert gegenüber verformungsbedingten Schäden sind Konstruktionen in Gebieten mit saisonal variablen Bewegungsraten und im Anschlussbereich an Bauwerke mit inkompatiblem Verformungsverhalten. Dies betrifft insbesondere partielle Sicherungsmaßnahmen an Felsböschungen in verwitterungssensiblen Gesteinen oder in Rutschgebieten, wie in Abb. 4 dargestellt.

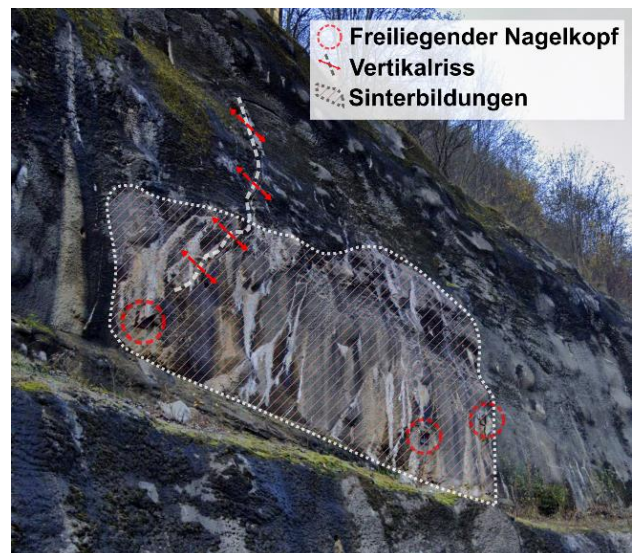


Abb. 4 Rissbildung, Abplatzungen und Sinterbildungen an der Oberfläche einer Spritzbetonschale unter komplexen geologischen Randbedingungen (verwitterungsanfällige Gesteine, Hangbewegungsgebiet)

Hydrochemische Wechselwirkungen beeinträchtigen zudem die strukturelle Integrität des Bauwerkes durch Karbonatisierung, Chlorid-, Sulfat- und Kohlensäureangriff. Die Intensität dieser Prozesse wird durch die jeweilige Exposition gesteuert und kann je nach Untergrundverhältnissen auch kleinräumig variieren. Darüber hinaus hängt die langfristige Funktion der Entwässerungseinrichtungen vom Chemismus der Wasserführungen und den Interaktionsprozessen beim Kontakt mit der Betonschale ab.

Der Gefährdungsgrad von Eisen- und Kalkabscheidungen (Abb. 5) kann anhand von Wasserproben auf Basis von

Indikatorparametern oder hydrochemischer Modellierungen bestimmt werden.

Durch die prognostizierte Zunahme der Jahresmitteltemperaturen und die Änderungen der Niederschlags- und Vegetationsdynamik sind die vorhandenen Bauwerke neuen Belastungen ausgesetzt. Wechselnde Nass-Trocken- Zyklen und Niederschlagsereignisse mit hoher Intensität erhöhen sowohl das strukturelle als auch das mechanische Schädigungspotential durch hydro- und geologische Prozesse.

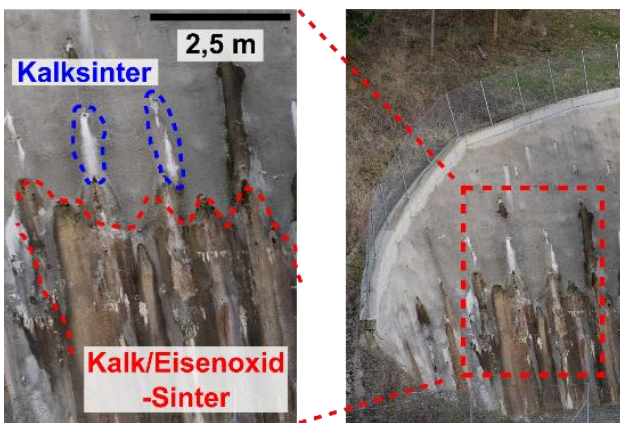


Abb. 5 Kalk- und Eisenoxidsinter aus den Drainageöffnungen einer Spritzbetonschale bei einer Knopflochgründung

Bei vernagelten Spritzbetonschalen sind Schäden an den Zuelementen der häufigste Grund für die Abnahme des Erhaltungszustandes. Korrosionsschäden (vgl. [14] & [15]) an den statisch relevanten Zuelementen beeinträchtigen bei diesen Hybridkonstruktionen sowohl die Dauerhaftigkeit als auch die Tragfähigkeit.



Abb. 6 Korrosionsschäden an der Nagelkopfausbildung einer Spritzbetonkonstruktion

Wesentliches Element sind dabei die Nagelköpfe, deren Konstruktion durch Abdeckkappen oder eine ausreichende Betondeckung vor

Umwelteinwirkungen geschützt werden muss. Liegt der Nagelkopf jedoch aufgrund mechanischer Beschädigungen oder generell fehlender Betonüberdeckung (Abb. 6) frei, sind die Elemente den Witterungseinflüssen direkt ausgesetzt. Im Bereich der Nagelplatte, Stab und Kugelbundmutter ist daher eine Abnahme des Erhaltungszustandes zu erwarten. Vor allem bei Beaufschlagung durch Oberflächenwässer und bei Beeinflussung durch Tausalze und Chloride – auch im Sprühnebelbereich – schreiten derartige Schädigungen teils sehr rapide voran.

Ebenso gefährdet ist die Bewehrung der Spritzbetonschale, wenn Risse (Abb. 7, oben), Herstellungsmängel (z.B. unzureichende Betondeckung; Abb. 7, unten) oder Frost-Tau Wechsel den Karbonatisierungsprozess beschleunigen. Wechselfeuchte Bedingungen und Risse in der Oberfläche wirken sich besonders ungünstig auf die Depassivierung der Bewehrung aus. Die daraus resultierenden Korrosionsschäden sind durch Rostfahnen an der Oberfläche erkennbar und führen zu einem Verlust der Verbundeigenschaften und einer Reduktion der Tragfähigkeit.



Abb. 7 Konstruktive Schäden Spritzbetonkonstruktion, freiliegende und korrodierende Bewehrung (oben), horizontaler Riss (unten)

Die geringe Wasserdurchlässigkeit von Spritzbetonschalen erfordert zudem gezielte Entwässerungsmaßnahmen, um den Aufbau von Porenwasser-Drücken zu verhindern. Entwässerungsöffnungen können dabei durch die Abscheidung von Mineralen aus den Wasserführungen, Pflanzenbewuchs oder Frosteinwirkung in ihrer Funktion beeinträchtigt werden. Beim Ausfall oder der Blockierung der Oberflächenentwässerung (Ableitungsrinnen, Gräben) können unkontrolliert abfließende Gerinne Schäden an der Wand und am angrenzenden Gelände verursachen.

Generell ist bei Schäden und Schadensbildern bei Spritzbetonkonstruktionen mit ähnlichen Ausprägungen wie auch bei anderen Ingenieurbauten und Kunstbauwerken ausgegangen werden. Vor allem Schäden mit Einfluss auf die Dauerhaftigkeit sind hier, bedingt durch das Bauwerksalter und klimawandelbedingte Einwirkungen, mit einer erheblichen Zunahme zu erwarten. Basierend hierauf wird es bei Fortschreiten auch zu einer Abnahme des Erhaltungszustandes kommen, welcher sich auf die Zuverlässigkeit der Konstruktion auswirken kann.

Prüfung und Inspektion

Wie andere Bauwerke der Straßeninfrastruktur sind auch Spritzbetonkonstruktionen in laufenden Intervallen einer Inspektionstätigkeit zu unterziehen um das Ziel, den Erhaltungszustand zu bestimmen und daraus folgend erforderliche Maßnahmen abzuleiten. In den Regelwerken der FSV, welche für die erhaltungsverpflichteten Organisationen im öffentlichen Straßennetz verpflichtend sind, wird hierzu ein dreistufiges Verfahren definiert. Während bei der Laufende Überwachung durch den Streckendienst im Zuge der Vorbeifahrt eine Erhebung möglicher Schadensentwicklung jährlich vorzunehmen, ist durch Kontrollen (dreijährig) und Prüfungen (sechsjährig) eine umfassende Erhebung und Bewertung des Zustandes der Konstruktion vorzunehmen.

Hierzu ist bei den zu kontrollierenden und prüfenden Bauwerken eine entsprechende Vorbereitung erforderlich. Neben der Aufbereitung bereits vorhandener Unterlagen und Dokumentationen muss hier vor allem die Zugänglichkeit und

Prüfbarkeit des Objektes ermöglicht werden. Nachfolgende Abbildung zeigt, dass beispielsweise durch Bewuchs eine erhebliche Beeinträchtigung für den Prüfprozess gegeben ist und damit eine visuelle und handnahe Erfassung von Schäden und Mängeln erschwert wird. Schlimmstenfalls kann es zu einer Verschleierung von Schadensbildern kommen, vor allem wenn die Schadenserhebung während der Vegetationsperiode durchgeführt wird.

In der Inspektion ist zudem zu unterscheiden, ob es sich um Spritzbetonkonstruktionen mit oder ohne Bodenvernagelung handelt. Wie bei der Tragwirkung beschrieben, dienen erstere meist als Erosions- und Schutzschicht, wohingegen zweitere als eine Form einer Gewichtskonstruktion zu betrachten sind. Damit einhergehend ist im Zuge einer Inspektion auf unterschiedliche Schadensbilder zu achten.



Abb. 8 Bewuchs als Einflussfaktor in der Inspektion

Bei beiden Konstruktionsformen sind vor allem Verformungen und Deformationen genauer zu untersuchen, Risse zu erheben und deren Einfluss in Kontext mit der Dauerhaftigkeit, der Tragfähigkeit und der Verkehrstauglichkeit zu bringen. Kommen Bodennägel zum Einsatz, ist zusätzlich der Erhaltungszustand dieser zu bestimmen. Vor allem auf freiliegende Nagelkopf-bereiche in Form von Abplatzungen sowie Korrosions- und Aussinterungsprodukte ist hier der Fokus zu legen.

In Bezug auf die verfügbaren Methoden sind bei der handnahe und visuellen Inspektion vor allem die Erfahrung und das Verständnis in Bezug auf die oben angeführten Schadensbilder

maßgebend. Neben dieser Beurteilung von sichtbaren Schäden kann beispielsweise auch das Abklopfen der Oberfläche als Methode verwendet werden, um beispielsweise Strukturschäden zu erkennen. Sollten tiefreichende Schäden vorliegen, so kann einerseits durch die Untersuchung der Entwässerung, beispielsweise durch eine Endoskopie, die Bestimmung der Betondeckung oder auch die Entnahme und Beprobung des Spritzbetons vorgenommen werden.

Durch die jüngsten Entwicklungen auf dem Gebiet der Drohnen-Technologie sind Kameradrohnen eine effiziente Ergänzung für die Bauwerkskontrolle und -prüfung. Kombinierte RGB- und Wärmebildkameras liefern hier beispielsweise in einem Aufnahmeschritt Daten für eine photogrammetrische Modellierung und thermographische Analysen. Damit können Problembereiche an dreidimensionalen Bauwerksmodellen verortet und Fehlstellen anhand von Differenzmodellen bestimmt werden. Bei schlanken Spritzbetonschalen ermöglichen thermographische Aufnahmen die Detektion von Entwässerungseinrichtungen und Wasserführungen hinter der Wandoberfläche (Abb. 9).

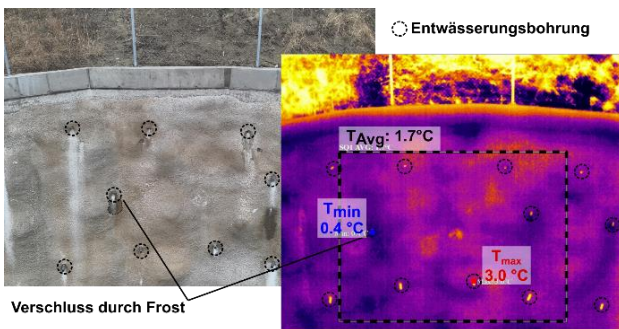


Abb. 9 Thermographische Aufnahme einer Spritzbetonkonstruktion zur Detektion der Entwässerungsöffnungen (helle Punkte, $T \sim 3,0^\circ\text{C}$) und vereister Entwässerungsöffnungen ($T \sim 0,4^\circ\text{C}$)

Die kompakte Baugröße und die vielseitigen Nutzlasten eröffnen neue Perspektiven für die Bauwerksdokumentation und die Analyse von Schadensmustern. Insbesondere bei der Prüfung von Hybridbauwerken in schwer zugänglichem Gelände sind Drohnen daher durch ihre flexiblen Einsatzmöglichkeiten und die automatische Verortung der Aufnahmen eine effiziente Ergänzung für die Erfassung und Prüfung von Stützbauwerken.

Ebenfalls kann als Teil der Prüfung das Auswerten bzw. die Beurteilung von installierten Monitoringsystemen bzw. Messeinrichtungen angesehen werden. Vor allem Bewegungen des Geländes, beispielsweise durch Inklinometer erfasst, oder auch die Überwachung von Rissen, kann hier einen wesentlichen Beitrag zur Beurteilung des Tragverhaltens bzw. deren Auswirkungen geben. Hierzu sind jedoch ausreichende Zeitreihen erforderlich, um von aussagekräftigen Daten ausgehen zu können. Auch hier kann durch aktuelle Entwicklungen wie Drohnen oder auch Laserscanning ein wesentlicher Beitrag für ein Monitoring gegeben werden. Vor allem unter Bezugnahme auf die flexiblen Einsatzmöglichkeiten von Spritzbeton kann ein Monitoring einen erheblichen Beitrag zur Bauwerksbeurteilung und damit zur Abschätzung der Effekte von Bauwerksschäden leisten.

Zusammenfassung & Ausblick

Mit dem hier vorliegenden Beitrag wurde versucht, einen kurzen Einblick in die Schäden, Schadensbilder und die Inspektion von Spritzbetonkonstruktionen zu geben. Der Fokus bei derartigen Tätigkeiten muss dabei auf einer interdisziplinären Betrachtung und Herangehensweise liegen, um die Interaktion zwischen der Konstruktion und dem Untergrund erfassen und beurteilen zu können.

Aktuelle Entwicklungen im Bereich der Drohnen-technologie, aber auch bei der digitalen Bauwerksprüfung sowie den damit verbundenen Prüfmethoden zeigen auf, dass hier neue Ansätze geschaffen werden. Dennoch ist eine handnahe und visuelle Beurteilung der Bauwerke und Objekte unerlässlich, um gemeinsam mit der Erfahrung und Kenntnis des Prüfpersonals eine zutreffende Beurteilung des Erhaltungszustandes zu gewährleisten.

Literatur

- [1] ÖNORM B 1997-1-5:2017-11: Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1-5: Gesamtstandsicherheit von Böschungen, Hängen und Geländesprüngen, Austrian Standards Institute, 2017.
- [2] ÖNORM EN 14490 (2010): Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau – Bodenvernagelungen. Austrian Standards Institute. Komitee 023 Geotechnik. Wien.
- [3] Wichter L., Meininger W. (2000): Verankerungen und Vernagelungen im Grundbau. Ernst & Sohn. Berlin.
- [4] Proske, D., 2021. Einsturzhäufigkeit von Bauwerken, Springer Vieweg Wiesbaden.
- [5] BMK, 2023. Statistik Straße und Verkehr, Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie.
- [6] RVS 13.03.61, 2021. Qualitätssicherung bauliche Erhaltung, Überwachung, Kontrolle und Prüfung von Kunstbauten, Nicht geankerte Stützbauwerke, Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr, FSV, Wien.
- [7] Nöhner, F.; Rebhan, M.J.; Saurug, B.; Marte, R.; Grubinger, S.S.; Mauerhofer, G. Long-term Experiences for the Safety Assessment of Existing Retaining Structures in Styria. *Geomechanics and Tunneling* 2019, 12, 515–522, doi:10.1002/geot.201900035.
- [8] Grubinger, Stefan S., et al. Digitalisierungspotential der Prüfung geotechnischer Bauwerke. Beiträge zum 37. Christian Veder Kolloquium. 2023, Bd. 37.
- [9] Grubinger, S. S., 2020. Risikomanagement bei bestehenden Stützbauwerken im Streckennetz des Landes Steiermark. Masterarbeit, Technische Universität Graz, Institut für Bodenmechanik, Grundbau und Numerische Geotechnik.
- [10] Reinprecht, V., Rebhan, M.J., 2022. Prüfung und Sonderprüfung von geankerten Stützbauwerken, FSV-Verkehrstag 2022, 22.06.2022, Wien.
- [11] RVS-AP Nr. 33. (2022) Sonderprüfmethoden für geankerte Konstruktionen und Zugelmente. Wien: FSV.
- [12] Rebhan, M., Daxer, H-P., Marte, R., Schuch, M., Stern, J., Burtscher, S. L., Breit, K., 2022. Dauerhaftigkeit von Mikropfählen und anderen Verankerungselementen, Beiträge zur 13. Österreichischen Geotechniktagung 2022, Messe Wien.
- [13] Rebhan, M., Daxer, H-P., Marte, R., Schuch, M., Stern, J., Burtscher, S. L., Breit, K., 2022. Dauerhaftigkeit von Mikropfählen und anderen Verankerungselementen, Beiträge zur 13. Österreichischen Geotechniktagung 2022, Messe Wien.
- [14] Rebhan, M.J.: *Korrosionsschäden bei Winkelstützmauern*, Dissertation, Technische Universität Graz, 2019
- [15] Nürnberger U. (1995) *Korrosion und Korrosionsschutz im Bauwesen*. Band 1. Bauverlag. Wiesbaden und Berlin.