

Interview

Von der Idee zur international Referenz – RASCORs Hybridtechnologie



Das führende Fachmagazin Geotechnik spricht mit Norbu Liebetrau über RASCOhybrid HMS317, das Zusammenspiel von Forschung und Praxis, die Bedeutung des Bypass-Systems sowie die innovative Weiterentwicklung der CCP-Anlage.



Norbu Liebetrau
Head of Sales
RASCOR International AG

Herr Liebetrau, Sie gehören zu den Mitentwicklern der kombinierten Polyurethan-Zementsuspension. Können Sie unseren Lesern den Weg der Entwicklung von den Anfängen bis heute ein klein wenig umreißen?

Die Idee, Polyurethan mit Zement zu kombinieren, war schon vor vielen Jahren in der Diskussion. Es gab schon vor den 2000er Jahren entsprechende Überlegungen dazu und es wurden auch vereinfachte Versionen davon umgesetzt. Diese Versionen waren jedoch nicht richtig zielführend oder es fehlten noch die genaueren technischen Voraussetzungen. Schlussendlich verfolgte man diese Versionen und Ideen nur begrenzt weiter. 2017 haben wir dann das Thema im Rahmen eines fachübergreifenden Arbeitskreises wieder aufgegriffen. Ziel war es, die Vorteile beider Materialwelten ein für alle Mal zu vereinen: Also die Verbindung von Reaktivität und Penetrationsfähigkeit des Polyurethans mit der Volumenstabilität und Wirtschaftlichkeit von Zement.

Und da gab es dann erste erfolgreiche Tests, ja?

Ganz genau, und dann wurde das System 2018 technisch weiterentwickelt. Dabei ging es besonders um die Anpassung der Polyurethan-Komponenten und die Entwicklung eines geeigneten Bypass-Mischsystems, mit dem sich eine homogene und kontrollierte Beimischung realisieren ließ. Im Anschluss wurden die bisherigen Erkenntnisse auch mit Fachkollegen diskutiert – daraus entstand die Idee, das System gezielt im Semmering-Basistunnel einzusetzen. Genau dort zeigte sich schließlich eindrucksvoll, welches Potenzial in der Hybridtechnologie steckt.

Und wie ging es dann weiter?

Kaum ein Jahr später, 2019, folgten erste Pilotanwendungen auf Baustellen – ein entscheidender Schritt, um das System gezielt zu testen und weiter zu optimieren. Ab 2020 konnten wir es dann als definierte Systemlösung ausliefern. Seit 2022 kommt es nun neben dem Semmering-Basistunnel in weiteren anspruchsvollen Projekten wie auf Helgoland oder im Brenner-Basistunnel zum Einsatz. RASCOhybrid HMS317 ist heute ein international bewährtes System für Situationen, in denen klassische Injektionsmethoden an ihre Grenzen stoßen – etwa bei hohen Zuflussraten, Salz- oder Druckwasser – eben da, wo eine volumenstabile und reaktive Lösung gefordert ist.

Wie kam es letztlich zu der Polyurethan-Lösung?

Diese Frage als eine zum Verhältnis von Labor und Praxis.

Die Initiative kam ganz klar aus der Baustellenpraxis. In stark wasserführenden Bereichen ist der Materialverlust bei reinen Zementsuspensionen oftmals zu hoch. Gleichzeitig ist der Einsatz von reinem Polyurethan für großflächige Anwendungen aus Bauherrensicht zu teuer.

Und genau wegen solcher Dilemmas starteten die ersten Versuche im Labor: Dort testeten wir zuerst verschiedene Arten von Injektionsmitteln, indem wir sie mit Zementsuspensionen vermischten, um zu sehen, was für Reaktionen auftraten und ob die Mischung brauchbar war bzw. sich injizieren ließ. Wichtig waren dabei die Wärme-Entwicklung und Mischbarkeit. Der richtige System-Typ war das Polyurethan. Wir entdeckten, dass die exotherme Reaktion des PU eine schnelle Frühfestigkeit auslöst, die gleichzeitig zur gewünschten Verdickung der Suspension führt. So wird der Wasseraustrag reduziert und die Stabilität im wasserführenden Baugrund erheblich erhöht. Später, auf der Baustelle entwickelten

wir dann eine Methodik, mit der sich Polyurethan anteilig und kontinuierlich in eine Zementmatrix einbringen lässt.

Sie waren die ersten mit dieser Anwendung.

Wie hat der Markt damals reagiert und wie sieht das heute aus, auch im Vergleich zu Marktbegleitern mit anderen Lösungen?

Anfangs war natürlich allerlei Aufklärungsarbeit nötig. Die Kombination aus zwei so unterschiedlichen Materialwelten war insbesondere im Hinblick auf die Maschinen- und Prozesssicherheit erklärungsbedürftig. Gerade Planer wie auch Bauherren zeigten sich zunächst eher skeptisch gegenüber einem neuen System, da – wie immer – ein neues System zuerst Referenzen braucht. Mein Punkt war aber immer, es ist kein neues Produkt, sondern eine zusätzliche Hilfsmaßnahme der Zementsuspension und soll auch immer so betrachtet werden.

Das sieht heute aber anders aus, oder?

Absolut! Heute, nach erfolgreichen Projekten im Tunnel-, Schacht und Wasserbau, verzeichnen wir eine deutlich steigende Akzeptanz – nicht zuletzt aufgrund eben dieser verlässlichen Referenzen, welche auch auf verschiedenen Kongressen präsentiert werden. In unseren Referenzen zeigen wir Anwendungsbeispiele mit Abdichtungen bei extremen Zuflüssen, Projekten mit Bergwasserdrücken von über 70 Bar und Anwendungen in salzhaltigem Wasser.

Außerdem arbeiten wir heute als drei spezialisierte Unternehmen in enger Kooperation an einem vollautomatischen Injektionssystem. Die kompakte CCP-Anlage ist das Ergebnis eines gemeinsamen Entwicklungsprozesses, bei dem Häny als Systementwickler für automatisierte Injektionsanlagen, RASCOR mit seiner langjährigen PU-Kompetenz und WIWA als Spezialist für PU-Pumpentechnik ihre jeweiligen Stärken eingebracht haben. Entstanden ist ein integriertes System, das hybride Injektionstechnologien unter anspruchsvollen Bedingungen sicher, präzise und reproduzierbar einsetzbar macht – weit über die Funktion einer Einzelmachine hinaus. Gemeinsam verbinden wir in 3 Unternehmen Systemkompetenz und Materialexpertise für sichere, hochpräzise Lösungen in jedem Baubereich.

In einem Interview in der Geomechanics and tunneling 17/2024 (Nr. 3, S. 239) sprechen Sie davon, dass die Komponentenmischung lange Zeit die Herausforderung war. Kann man sagen, dass sie mit RASCoRs Entwicklung des Mischrohrs im Jahr 2018 erst richtig Fahrt aufgenommen hat? und können Sie die Vorteile des Mischrohrs ein wenig ausführen?

Ja, ganz klar! Es war schon so, dass der entscheidende Durchbruch mit der Entwicklung des Bypass-Mischsystems im Jahr 2018 kam. Damit ließ sich erstmals eine reproduzierbare und inline durchgeführte Homogenisierung von PU und Zement realisieren. Wichtig war dabei zudem die Möglichkeit, die Dosierung des PU stufenlos während des Injektionsvorgangs anzupassen – etwa zur Steuerung von Reaktionszeit, Viskosität oder Durchdringungsverhalten. Das hat die Anwendung enorm flexibel gemacht und auch bei variierenden Baugrundverhältnissen eine sichere Verarbeitung ermöglicht. Zudem hat diese Technologie den Weg für eine automatisierte Prozessführung geebnet – wie sie später in der CCP-Anlage realisiert wurde.

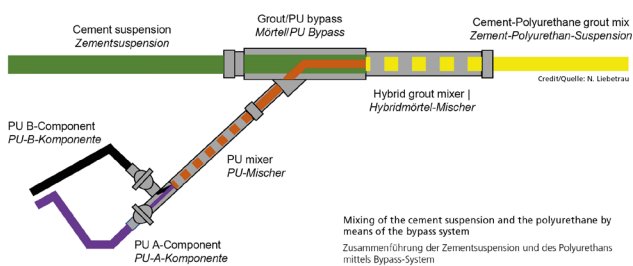


Bild 1: Zusammenführung der Zementsuspension und des Polyurethans mittels Bypass-System

Sie nennen RASCoR einen Spezialisten für Markt-Nischen. Davon scheint es für ein weltweit agierendes Unternehmen off enbar genug zu geben, ja?

Sicher nicht ausschließlich, aber es stimmt schon: Unsere Stärke liegt gerade in solchen Nischen, die technisch besonders anspruchsvoll sind und oft problematische Randbedingungen haben – überall dort also, wo Standardlösungen nicht greifen.

Das betrifft geologisch schwierige Verhältnisse, Sanierungsbereiche, hydraulisch aktive Klüfte oder Arbeiten unter hohem Druckwasser. Genau in solchen Situationen bietet der RASCOhybrid HMS317 als hybrides System eine überlegene Performance – technisch, wirtschaftlich und logistisch.

und solche Nischen finden sich ...

(nickt) ... weltweit, ja – im DACH-Bereich, aber auch in Asien, Arabien und Amerika. Wir beobachten dabei übrigens, dass diese sogenannten Nischen kaum noch welche sind, also zunehmend als strategisch wichtige Spezialmärkte erkannt werden.

Sie heben gern den schönen begriff der Harmonie von Materialien hervor. Können Sie das ein wenig ausführen?

Aber gern doch! Mit Harmonie meine ich, dass sich Materialien nicht gegenseitig behindern, sondern funktional ergänzen. In unserem Fall übernimmt der Zement die Rolle des volumenstabilen Trägers und das PU steuert gezielt Reaktivität und Viskosität – perfect harmony! (lächelt)

Nun ist es so, dass sich während der Hydratationsphase des Zements das PU in die entstehende Struktur einlagert. Und da sind wir wieder im Labor ... Denn diese Mikroeinlagerung konnten wir auch mikroskopisch nachweisen. Dabei entsteht eine homogene, fein verzahnte Matrix. Die hat den Vorteil, dass sie deutlich auswaschresistenter ist und eine höhere Frühfestigkeit aufweist.

Das Polyurethan könnte man dabei als ein inneres Gerüst beschreiben, das dem Zementstein zusätzliche Stabilität verleiht. Und diese Wechselwirkung zwischen anorganischem

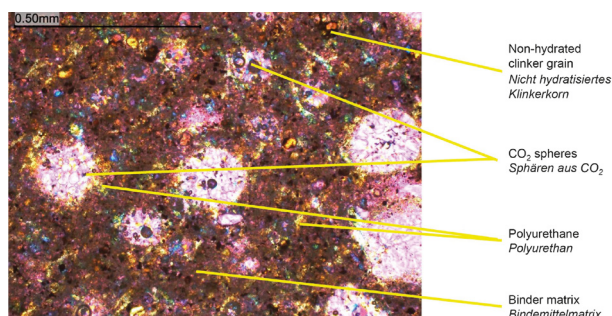


Image 2: Microscopic view of a combined cement-polyurethane suspension

und organischem Bestandteil macht die Besonderheit des Systems aus.

Zur Rolle der Materialeigenschaften: Sie sagen, Polyurethan harmoniere mit vielen Zementen; es gebe aber auch Projekte, in denen die Verwendung ausgefallenerer Zemente zunächst einen Probe-Einsatz ratsam mache. Wie ist Ihre vorgehensweise bei solchen Ausnahmefällen?

In solchen Fällen empfehlen wir projektspezifische Praxisversuche mit den lokalen Zementen. Wichtig ist, dass der Zement nicht nur chemisch passt, sondern auch rheologisch – also hinsichtlich seines Fließverhaltens.

Zeigt sich ein Zement als kritisch, was eher selten passiert, passen wir entweder die PU-Zugabemenge an oder schlagen einen alternativen Zementtyp vor. Entscheidend ist dabei, dass die Suspension stabil, homogen und pumpfähig bleibt – insbesondere unter wasserführenden Bedingungen.

Aber in den meisten Fällen finden wir eine Lösung, noch bevor das erste Bohrloch gesetzt wird. Nur durch eine solche frühe Abstimmung sind unnötige Kosten und Verzögerungen vermeidbar.



Bild 3: Schlauchtest 30 m mit RASCOhybrid HMS317

Polyurethan ist ja ganz klar teurer als die diversen Zementsorten. Warum ist es aber trotzdem nicht teuer?

Einfach, weil es in der Anwendung deutlich effizienter ist. Die Reaktionszeit lässt sich beschleunigen und/oder auch die Viskosität erhöhen. In Situationen, wo eine reine Zementsuspension einfach abfließen würde, lässt sich durch Zugabe von Polyurethan schnell und sofort eine stabile und standfeste Suspension erzeugen.

Das spart also Material ...

... und vor allem Zeit sowie Aufwand für Nachinjektionen. In q/p-Versuchen nach Lombardi, die wir in der Arbeitsgruppe durchgeführt haben, zeigte sich, dass PU-Zement-Mischungen bis zu 90 % weniger Auswaschung aufweisen als reine Zementsuspensionen.

Ähnliches würde man nur mit einer Zugabe von Zementsuspensions-Additiven haben, welche man bei der Vermischung von Zement mit Wasser dazugibt. Der Nachteil ist aber ganz klar, dass dann das auf die fest eingestellten Eigenschaften gemischte Injektionsgut verpresst werden muss und nicht wieder abgeändert werden kann.

Wird hingegen das kombinierte Polyurethan-Zementsuspensionssystem eingesetzt, bedeutet das im Umkehrschluss: weniger Nacharbeit, geringerer Gesamtverbrauch – und somit trotz höherem Materialpreis für das Polyurethan niedrigere Gesamtkosten.

Spielt bei einer Kostenbetrachtung nicht auch die Nutzungsdauer eine erhebliche Rolle? Und wie würden Sie die im Vergleich beschreiben?

Absolut. Ein dauerhaft funktionierendes System spart über Jahrzehnte Instandhaltungskosten. Kombinierte Polyurethan-Zementsuspensionen zeichnen sich durch ihre hohe Dichtigkeit, chemische Stabilität und mechanische Verzahnung aus – und das selbst bei dynamischen Belastungen oder aggressivem Grundwasser. Man kann sich das wie einen hochwertigen Zementstein vorstellen, in den das Polyurethan fein verteilt und vollständig eingebettet ist. Da das PU während der Hydratationsphase eingebracht und vom Zementstein umschlossen wird, ist es dauerhaft gegen Auswaschung geschützt. Der PU-Anteil bleibt also stabil eingebunden – und das über Jahrzehnte hinweg. Und genau das ist der entscheidende Punkt: Langfristig zahlt sich das System nicht nur technisch, sondern auch wirtschaftlich aus.



Bild 4: Fertiges Zement-Polyurethan-Gemisch mit RASCOHybrid HMS317

Wie sieht es mit der Deponierbarkeit von Polyurethan-Zementsuspensionen aus?

Vollständig ausreagierte Mischungen wie unser RASCOHybrid HMS317 gelten als inert. Das bedeutet: Es liegen keine flüchtigen organischen Bestandteile mehr vor, und es findet auch keine nennenswerte Auslaugung statt.

Da die Reaktion des Polyurethans schon vor der Einbringung in die Zementsuspension initiiert wird, läuft sie irreversibel und vollständig ab – noch während des Mischvorgangs. Die PU-Anteile binden sich – wie oben angesprochen – fest in die Zementmatrix ein.

Eluat-Tests nach DIN 19631 zeigen im Übrigen, dass keine relevanten Schadstoffe freigesetzt werden. Und so ist die Deponierung in der Regel als nicht-gefährlicher mineralischer Baustoff möglich.

Noch eine ökologische Frage, die Ihnen, wie Sie sagen, auch Planer gerne stellen: Wie beeinflussen Ihre Produkte das Grundwasser?

Die PU-Komponenten sowie die gesamte Hybridmischung mit Zementsuspension haben wir selbstverständlich gezielt auf ihre Umweltverträglichkeit prüfen lassen. Das heißt: Es findet keine nachweisbare Migration relevanter Stoffe ins Grundwasser statt.

Durch die vollständige Reaktion des PU und seine feste Einbindung in die Zementmatrix kann es zu keinem relevanten Austrag kommen. Unser Anspruch ist klar: maximale Dichtwirkung bei minimaler Umweltauswirkung.

Kommen wir zur oben bereits erwähnten CCP-Anlage (Combined Cement PU). Sie ging dieses Jahr in Betrieb. Warum bezeichnen Sie sie als Sprungbrett in die großen Zusammenhänge?

Weil wir mit dieser Anlage den nächsten Entwicklungsschritt in der Injektionstechnologie vollzogen haben. Die CCP-Anlage kombiniert automatisierte Zement- und PU-Injektion in einem modularen, praxistauglichen System. In enger Zusammenarbeit mit Häny – dem Entwicklungspartner für das Injektionssystem – und WIWA als Spezialist für PU-Pumpentechnik entstand eine Lösung, die standardisiert, flexibel einsetzbar und für komplexe Anforderungen auf dem Bau ausgelegt ist.

Existieren denn am Markt noch keine ähnlichen Hochleistungssysteme?

Es gibt welche, die Zement- und PU-Injektionen digital abbilden. Doch sie sind meist unternehmensinterne Entwicklungen, also ausschließlich für den Eigenbedarf konzipiert. Die CCP dagegen ist kein internes Sonderprodukt, sondern ein offenes, kommerziell verfügbares System. Sie kann gekauft, projektspezifisch konfiguriert und weltweit eingesetzt werden. Auch vereint die CCP Zement- und PU-Injektion in einem durchgängigen, digital steuerbaren System – mit stufenlos einstellbaren Mischverhältnissen, Echtzeit-Logging und hoher Prozesssicherheit.

Und wie kam es zu dieser spektakulären Entwicklung?

Entstanden ist sie in einer engen Kooperation von RASCOR (chemische Injektionsmittel und Mischtechnologie), Häny – Mixing and Injection Technology und WIWA (PU-Pumpentechnik). Damit steht ein standardisiertes, aber vielseitig konfigurierbares System zur Verfügung – ein echter Schritt in Richtung industrieller, automatisierter Bauinjektion.

Welche ökologischen Benefits realisiert denn eine solche Anlage?

Die CCP-Anlage optimiert nicht nur den Injektionsprozess technisch, sondern bringt auch klare ökologische Vorteile mit sich. Durch die präzise Dosierung lassen sich Materialverluste minimieren und Nachinjektionen reduzieren – das spart nicht nur Ressourcen, sondern senkt auch unnötige Emissionen. Zudem ermöglicht die kompakte Bauweise kürzere Transportwege, denn sie erlaubt dezentrale oder mobile Einsätze. Auch die energieeffizienten Mischprozesse –



Image 5 CCP plant (combined cement-PU)

insbesondere bei Zement – tragen zur Reduktion der CO₂-Bilanz bei. Und nicht zuletzt: Durch die Echtzeitsteuerung und Dokumentation wird der gesamte Injektionsprozess transparenter, sauberer und effizienter – was auch den ökologischen Fußabdruck auf der Baustelle selbst deutlich reduziert.

Eine Frage für die Planer unter unseren Lesern: Ab welcher Planungsphase wären Sie gern in einem Projekt, oder ist die Frage so falsch gestellt?

(lächelt) Im Gegenteil – die Frage ist absolut berechtigt: Je früher wir eingebunden sind, desto größer ist der Einfluss auf Effizienz, Sicherheit und Wirtschaftlichkeit. In vielen – für uns vorbildlichen – Fällen erreichen uns Anfragen bereits Jahre vor der Ausschreibung, wenn es um grundsätzliche Überlegungen zur Baugrundklassifizierung, Abdichtungsstrategie oder Logistik geht.

Es ist einfach so, dass sich gerade bei komplexen Injektionsaufgaben durch ein früh abgestimmtes Konzept spätere Probleme vermeiden lassen – ob es nun technische, terminliche oder wirtschaftliche sind. Ein gut geplantes Injektionskonzept spart Zeit, Geld und Nerven. Deshalb ist unsere klare Empfehlung: Einbindung bereits ab der Vorplanung – nicht erst, wenn das Wasser fließt.

Vielleicht noch ein Blick in die Zukunft, oder die „gegenwärtige Zukunft“: wie wäre Ihr Ausblick auf die Bedeutung der KI beispielsweise im Hinblick auf bestimmte Geologien?

KI wird in der Injektionstechnik eine immer größere Rolle spielen – vor allem bei der Analyse geologischer Daten, der Optimierung von Injektionsparametern und der Vorhersage von Materialverbräuchen. Gerade bei heterogenen Baugrundverhältnissen oder bei Echtzeitanpassungen von Rezepturen kann KI wertvolle Dienste leisten – schneller, verlässlicher und mit mehr Datenhintergrund als bisher möglich.

KI also als Allround-Lösung?

(schmunzelt) Genau das nicht! Entscheidend wird vielmehr sein, dass KI als Assistenzsystem verstanden wird – eingebettet in ein erfahrenes Team von Ingenieuren, Planern und Ausführenden. Dann kann sie unsere Arbeit nicht nur beschleunigen, sondern auch qualitativ verbessern. Für mich liegt die Zukunft eindeutig in der Kombination aus Erfahrung, Technologie – und intelligenter Unterstützung.

Gibt es auch geologische oder bautechnische Bedingungen, bei denen Sie von einem Hybridsystem abraten würden und eine klassische Zementinjektion die bessere Wahl bleibt?

Ja, durchaus. Ein Hybridsystem spielt seine Vorteile überall dort aus, wo komplexe Bedingungen wie stark wasserführenden Schichten, instabilen Gebirgsformationen oder hohen Drücken vorliegen. Geht es jedoch um einfache, gut kontrollierbare Bedingungen – etwa relativ trockener, homogener Fels oder gut definierte, stabile Klüfte – reicht meist eine klassische Zementinjektion völlig aus. Hier wäre eine kombinierte Polyurethan-Zementsuspension zwar technisch möglich, aber wirtschaftlich nicht sinnvoll. Die Entscheidung sollte immer basierend auf Wirtschaftlichkeit, technischen Erfordernissen und ökologischen Rahmenbedingungen getroffen werden.