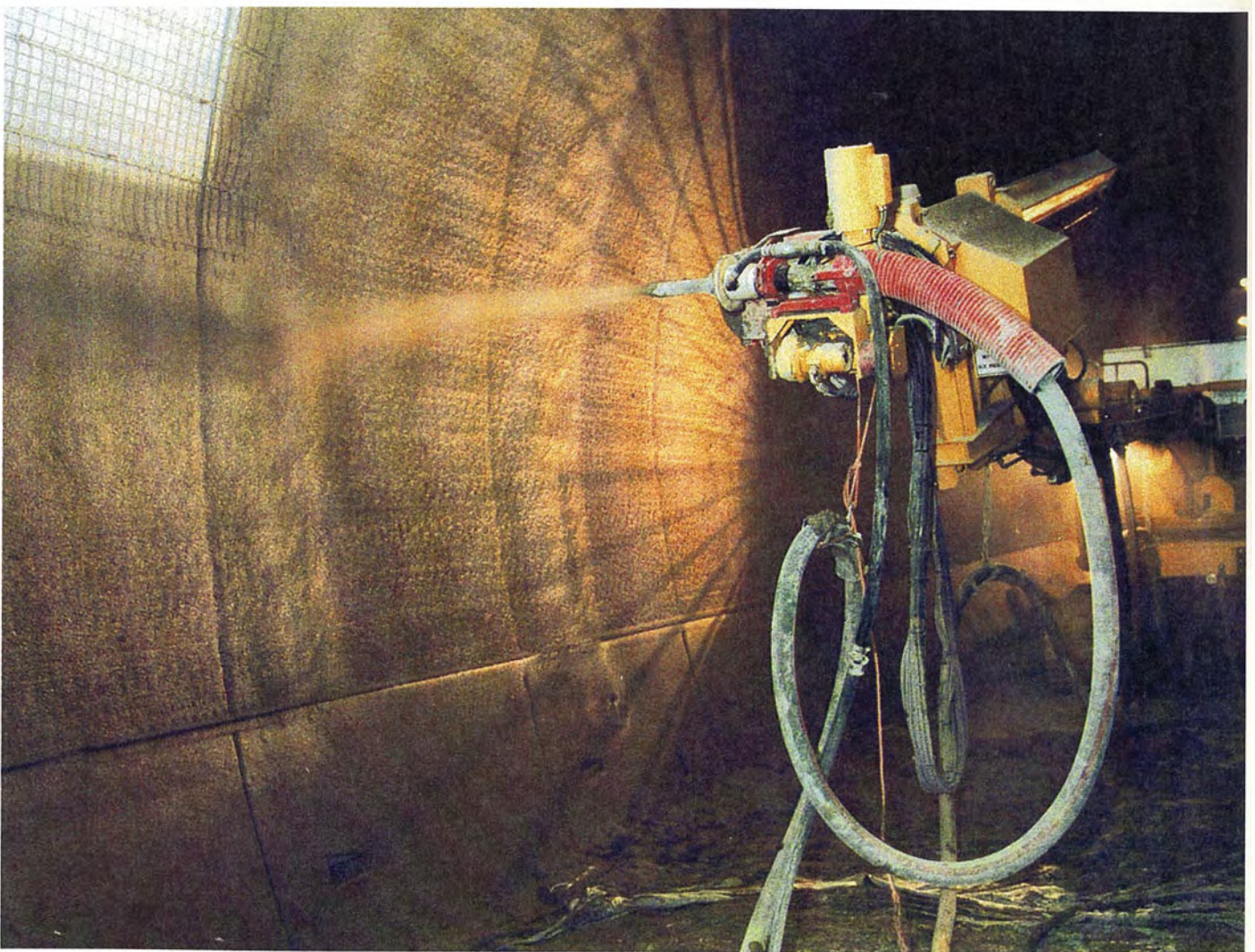


Baumaschinen

Vollautomatisierung der Spritzbetonapplikation

In einem Forschungsprojekt des Institutes für Bauplanung und Baubetrieb ETH Zürich, Bereich Baubetriebswissenschaften und Bauverfahrenstechnik, wurde die Applikations-Prozesssteuerung zur Vollautomatisierung der Spritzbetonapplikation entwickelt.

Von Gerhard Girmscheid und Stefan Moser*



Die neu entwickelte Applikationsprozesssteuerung wurde im Versuchsstollen Hagerbach erfolgreich geprüft.

(Fotos: zvg)

Die Statistik über die in den vergangenen Jahren weltweit aufgefahrene Tunnel zeigt, dass 70% davon konventionell und weitere 10% mit Gripper-TBM aufgefahrene wurden. Somit erreicht der Anteil der mit konventionellen Sicherungsmitteln,

d.h. mit Spritzbeton, Ankern, Stahleinbau und Netzen, gesicherten Vortriebe ca. 80%. Hinzu kommt, dass Tunnelvortriebe, bedingt durch eingeschränkte Trassierungsmöglichkeiten, zunehmend in geologisch ungünstigen Gesteinsformationen auszuführen sind.

Häufig nimmt hier der Spritzbetoneinbau, durch die zunehmende Stärke der Ausbruchssicherung, bis zu 25% der Zykluszeit in Anspruch. Dies zeigt deutlich das Potential, welches in einer Leistungssteigerung der Spritzbetonapplikation bei konstant hoher

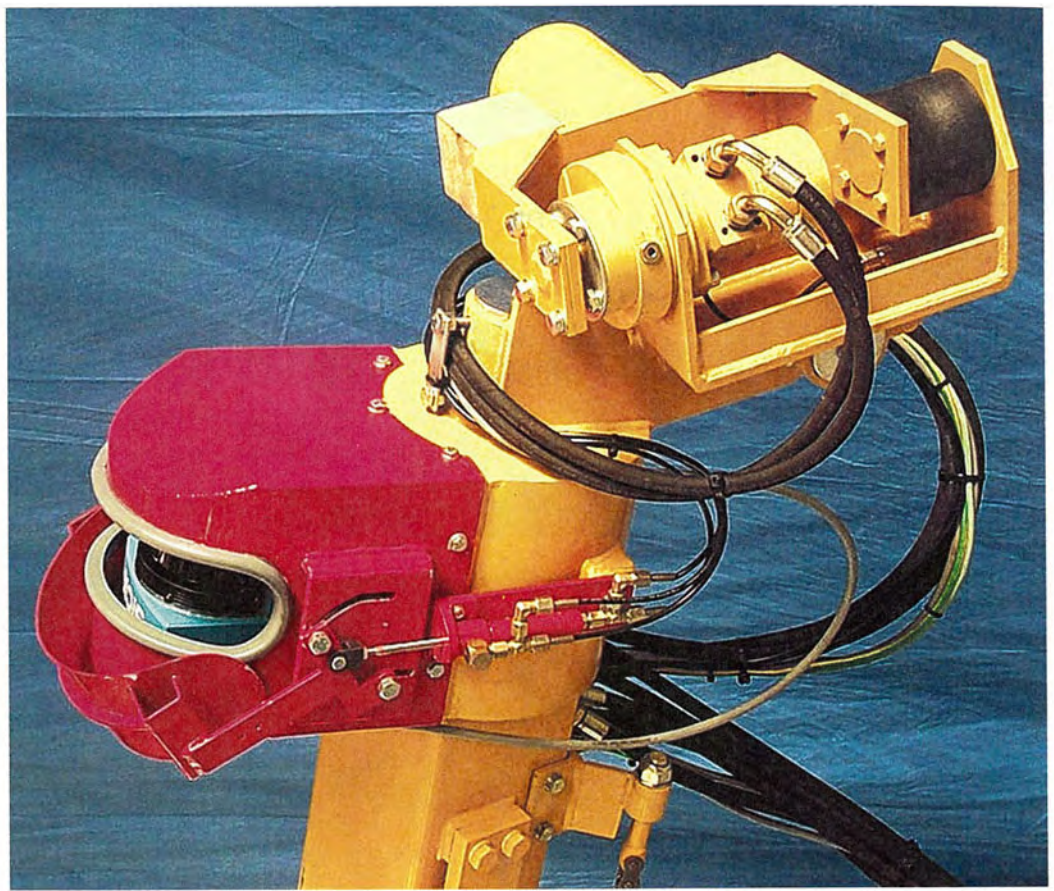
Spritzbetonqualität liegt. Der heutige Stand der Spritzbetontechnologie erfüllt bezüglich der Spritzverfahren, der Düsensysteme und der Spritzbetonrezepturen weitgehend die Anforderungen an Hochleistungsvortriebe mit kurzen Prozesszyklen. Die manuelle

Die Neuentwicklung wurde von der Meyco Equipment MPT und dem Institut für Robotik der ETH Zürich erarbeitet.

Applikationstechnik und die Spritzbetonapplikation mittels manuell gesteuerter teilautomatisierter Spritzarme mit gekoppelter Gelenksteuerung erfüllen hingegen weder die Anforderung an eine hohe Leistung noch die Forderung nach einer konstant hohen Spritzbetonqualität.

Diese Defizite bei der Applikation von Spritzbeton wurden in enger Zusammenarbeit zwischen Hochschule und Industrie gelöst. Mit der Implementierung der am Institut für Bauplanung und Baubetrieb, Bereich Baubetriebswissenschaften und Bauverfahrenstechnik ETH Zürich entwickelten Applikations-Prozesssteuerung in ein mechanisch-kinematisches Applikationssystem (MkA) mit prozessgesteuertem Spritzarm, welches die direkte Steuerung der Düse ermöglicht, und der Verknüpfung dieser beiden Prozesssteuerungen mit einem Vermessungssystem, welches die Applikationsoberfläche in einem Raster vermisst und vereinfacht als Bezugsfläche zur prozessgesteuerten Düsenführung abbildet, können konstante Spritzbeton-schichtstärken vollautomatisch appliziert werden.

Die mechanische Prozesssteuerung mit teilautomatisierter Applikations-Prozesssteuerung zur automatischen Düsenorientierung (orthogonal zur Bezugsfläche) und -positionierung (konstante Spritzdistanz) wurde von Meyco Equipment MBT (Schweiz) AG dem Institut für Robotik der ETH Zürich (IfR) entwickelt und spezifisch für das MkA bzw. für den Spritzarm von Meyco Equipment MBT (Schweiz) AG programmiert. Die am Institut für Bau-



planung und Baubetrieb, Bereich Baubetriebswissenschaften Bauverfahrenstechnik ETH Zürich entwickelte Applikations-Prozesssteuerung ist dabei sowohl von der kinematischen Struktur des Spritzarms als auch von der Verfahrenstechnik der Spritzbetonapplikation unabhängig und kann deshalb grundsätzlich auf jedes MkA übertragen werden. Die Bahnplanung der Düsenführungsbewegung, welche der Applikations-Prozesssteuerung zugrunde liegt, entspricht einer Düsenführung in parallelen Bahnen mit konstantem Bahnabstand. Durch die Prozesssteuerung wird die orthogonale Orientierung der Spritzdüse zur Bezugsfläche sichergestellt, die konstante Spritzdistanz und Düsenführungsgeschwindigkeit eingehalten und die Düse in parallelen Bahnen mit konstantem Bahnabstand über die Applikationsoberfläche geführt. Dadurch lassen sich konstante Schichtstärken von $0,03 \text{ m} \leq s$

$\leq 0,20 \text{ m}$, mit effektiven Förderleistungen der Ausgangsmischung von $10 \text{ m}^3/\text{h} \leq Q_{\text{eff}} \leq 15 \text{ m}^3/\text{h}$ (diese kann jedoch noch erhöht werden), applizieren, so dass daraus eine Spritzbetonoberfläche mit einer hohen Gleichmäßigkeit resultiert.

Für beliebige Düsen-systeme und Rezepturen

Mittels des am Institut für Bauplanung und Baubetrieb entwickelten Simulationsmodells kann mit beliebigen Charakteristiken der Spritzbetonverteilungsfunktion die vollautomatische Spritzbetonapplikation konstanter Schichtstärken simuliert werden. Durch die Eingabe der baustellenspezifischen Charakteristik der Spritzbetonverteilungsfunktion kann deshalb für beliebige Düsen-systeme und Spritzbetonrezepturen mit geringem Aufwand die Kalibrierung der Applikations-Prozesssteuerung vorgenommen werden. Das Einspritzen

der Ortbrüst sowie das Einspritzen von Stahleinbauten wurde zudem theoretisch gelöst.

Die entwickelte Applikations-Prozesssteuerung wurde im VSH Versuchsstollen Hagerbach AG auf die Praxistauglichkeit erfolgreich geprüft; sowohl die Applikations-Prozesssteuerung als auch die mechanische Prozesssteuerung haben sich im Praxisversuch bewährt.

Durch die hohe Genauigkeit der Applikation von konstanten Schichtstärken konnte deshalb der Anwendungsbereich des MkA mit vollautomatisiert-prozessgesteuertem Spritzarm erweitert werden und zur Beschichtung von Tübbings mit Spezialmörtel zur Erhöhung des Feuerwiderstands eingesetzt werden.

* Prof. Dr.-Ing. Gerhard Girmscheid ist Vorsteher des Instituts für Bauplanung und Baubetrieb der ETH Zürich. Dipl. Bau-Ing. Stefan Moser arbeitet für Basler & Hoffman Ingenieure und Planer AG in Zürich.