

RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM

RUB

RUBIN

WISSENSCHAFTSMAGAZIN

EISKALT

Routiniert: Warm bleiben im ewigen Eis

Sparsam: Kühlschränke mal anders

Komfortabel: Kühlkleidung im OP

33

Nr. 2 | 2023

TUNNELBAU MIT HILFE EINES EISMANTELS

Wenn der Boden schwierig ist oder Grundwasser beim Tunnelbau stört, kann es von Vorteil sein, die Baustelle vorübergehend tiefzukühlen.

Tunnel erleichtern uns das Reisen; wir bewegen uns abseits von Verkehrsstaus durch die Stadt und düsen im Zug oder Auto durch Berge oder unter Gewässern hindurch, deren Überquerung sonst Stunden dauern würde. Der Bau solcher Tunnel wurde über lange Zeit perfektioniert, hält aber noch immer Herausforderungen bereit. Bei Tunnelvortrieben im Grundwasser und mit geringer Überdeckung, insbesondere bei der Unterfahrung innerstädtischer Bereiche, ist der Untergrund nicht immer ausreichend tragend, als dass der Tunnelvortrieb ohne schädliche Setzungen und die damit verbundenen Rissbildungen an empfindlichen Gebäuden erfolgt. Hinzu kommen Grundwasserströmungen, die mal mehr und mal weniger kräftig sind und den Tunnelbau beeinträchtigen können.

Mit diesen Herausforderungen in Zusammenhang mit der Anwendung von künstlicher Bodenvereisung im Tunnelbau beschäftigt sich Doktorand Rodolfo Javier Williams Moises aus dem Team von Prof. Dr. Günther Meschke, Inhaber des Lehrstuhls für Statik und Dynamik an der Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwissenschaften der Ruhr-Universität Bochum.

Im Tunnelbau wird die Bodenvereisung häufig zur temporären Verfestigung und Abdichtung von Böden eingesetzt. „Das Prinzip besteht darin, 30 bis 100 Meter lange Gefrierlanzen in den Boden einzuführen“, erklärt Rodolfo Javier Williams Moises. „Sie werden permanent von einem kalten Fluid durchströmt, wodurch um sie herum nach einiger Zeit die Temperatur so stark absinkt, dass das Porenwasser im Boden zu Eis gefriert. Als Kältemittel für die Bodenvereisung kann entweder Sole oder Flüssigstickstoff verwendet werden. Bei der sogenannten Solereisung zirkuliert in einem geschlossenen Kreislauf eine Salzlösung, die in der Regel eine Gefrierrohrtemperatur zwischen minus 40 Grad Celsius und minus 25 Grad Celsius schafft.“ Der Zeitraum, bis der Boden ausreichend gefroren ist, hängt von den örtlichen Gegebenheiten ab – hier können zwischen zehn Tagen und vier Wochen vergehen. Bei Bodenvereisungen in Gebieten mit starker Grundwasserströmung kann das Grundwasser so viel Wärme transportieren, dass die Gefrierleitungen längere ►

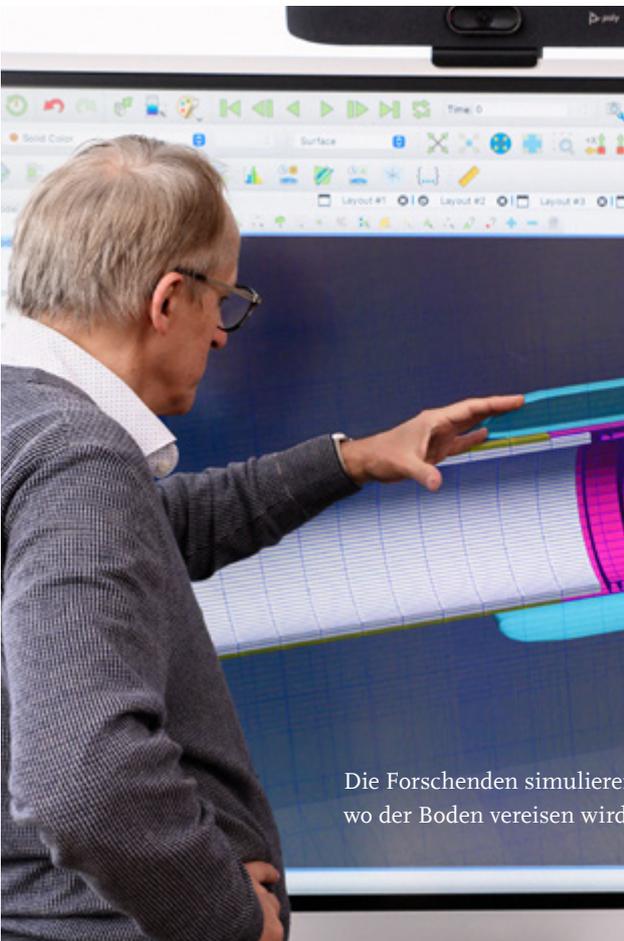


Im Schutz des Eismantels können Tunnel auch bei schwierigen Bodenverhältnissen vorgetrieben werden.
(Foto: Firmengruppe Max Bögl)

Die Software erlaubt es, die Entwicklung der Eisschicht im Boden bei verschiedenen Bedingungen vorherzusagen. (Foto: rs)



Rodolfo Javier Williams Moises (links) und Günther Meschke verfeinern die Tunnelbausimulationssoftware weiter. (Foto: rs)



Die Forschenden simulieren, wie und wo der Boden vereisen wird. (Foto: rs)

BIS ZU
100 m
LANG SIND DIE
GEFRIERLANZEN, DIE
RUND UM EINEN
GEPLANTEN TUNNEL IN
DEN BODEN GETRIEBEN
WERDEN.

Zeit brauchen, bis die Umgebung ausreichend abgekühlt ist und sie schließlich vereist.

Die Position der Gefrierlanzen ist häufig in einem Halbkreis um den geplanten Tunnel herum angeordnet, der aber etwas größer als der

Tunnelquerschnitt ist. Der Vereisungsdurchmesser beträgt im Normalfall fünf bis zehn Meter, es kann allerdings auch mehr sein. „Man treibt den Tunnel dann innerhalb der gefrorenen Zone vor und berührt dabei nur ihren inneren Rand“, beschreibt Günther Meschke. „So arbeitet man in einer Art schützendem Eismantel.“ Im Inneren des Eismantels spielen Grundwasserströmungen keine Rolle, und aufgrund der höheren Festigkeit des gefrorenen Bodens erübrigen sich auch etwaige Setzungen, die zu Gebäudeschäden führen können.

„Gegenüber anderen Bauhilfsmaßnahmen für problematische Bodenverhältnisse hat diese Methode den Vorteil, dass sie bei allen Bodenarten eingesetzt werden kann. Außerdem werden keine Fremdstoffe in den Boden oder das Grundwasser eingebracht, die dort verbleiben könnten“, erklärt Rodolfo Javier Williams Moises. „Die Methode ist also umweltfreundlich.“ In einer vorangegangenen Doktorarbeit am Lehrstuhl für Statik und Dynamik wurde bereits analysiert, wie die Gefrierlanzen unter verschiedenen Bedingungen optimal platziert werden können. Die Forschungsergebnisse zeigten, dass es zielführender ist, die Lanzen auf der Seite des einströmenden Grundwassers dichter aneinander zu positionieren; dafür sind auf der Seite des abfließenden Grundwassers größere Abstände praktikabel. Mit diesen optimierten Anpassungen spart man beim Tunnelbau, insbesondere bei hohen Grundwassergeschwindigkeiten, sowohl Energie als auch Zeit.

Aktuell beschäftigen sich die Forschenden mit der Simulation möglicher Risiken bei der Vereisung von Tunnelbaustellen. „Vorrangig interessiert uns dabei die Vereisung beim maschinellen Tunnelbau, da sie in diesem Gebiet noch wenig erprobt ist“, erklärt Günther Meschke.

Gegenüber der bergmännischen Tunnelbauweise, bei der zunächst ein Hohlraum ausgehoben wird, der dann mit Beton ausgekleidet wird, werden Tunnel bei der maschinellen Bauweise vollautomatisch durch eine unterirdische Fabrik gleichzeitig gegraben und befestigt. „Dazu wird eine Tunnelbohrmaschine durch einen Schacht in die Tiefe gelassen, während häufig die Vereisung zur Stabilisierung der Schachtwände eingesetzt wird. Danach bahnt sich die Maschine ihren Weg durch die Erde, indem sie bohrt, das Aushubmaterial durch

ihr Inneres abtransportiert und die entstehende Tunnelröhre sofort von innen heraus mit sogenannten Tübbing ausbaut und somit befestigt.

Während dieses Prozesses entsteht um die Maschine herum ein sogenannter

Ringspalt, der schnell verfüllt werden muss, damit über dem entstehenden Tunnel keine Setzungen auftreten. „Weil dieser Prozess automatisch abläuft, ohne dass man – anders als bei der bergmännischen Bauweise – die Gegebenheiten vor Ort sehen kann, wollen wir mithilfe von Simulationen herausfinden, welche möglichen Bedingungen existieren, die Einfluss auf die Vereisung nehmen könnten“, so Rodolfo Javier Williams Moises. Das Bochumer Team führt als weltweit erstes solche Simulationen an einem vollständigen Modell durch. In die Simulation fließen sämtliche möglichen Einflussfaktoren ein, so wird zum Beispiel berücksichtigt, dass sich die Tunnelbohrmaschine an der Ortsbrust, dem Ort des Bodenabtrags, erwärmt. Wärme wird ebenfalls in die Frostzone eingebracht, weil der Boden vor der Ortsbrust durch eine Flüssigkeit gestützt werden muss, damit er stabil bleibt. Im wassergesättigten Boden kann das Gefrieren aufgrund der Volumenvergrößerung beim Phasenübergang von flüssigem Porenwasser zu Eis sogar zu einer Erhebung an der Oberfläche über der Frostzone führen. „Alle diese Faktoren integriere ich in unsere Tunnelbau-Simulationssoftware und entwickle somit unser Programm weiter“, erklärt Rodolfo Javier Williams Moises. Als Bestandteil der Tunnelbausimulationssoftware sind diese Entwicklungen auch auf Szenarien des bergmännischen Tunnelbaus übertragbar.

Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass die Methode der Vereisung im maschinellen Tunnelbau ein sehr sicheres Verfahren ist. Zwar kann die Wärme der Maschine selbst, zum Beispiel bei längerem Stillstand, dazu führen, dass der gefrorene Boden auftaut. Allerdings taut das Eis eher im unteren Bereich des Tunnelquerschnitts, wo dies kein Risiko darstellt. Auch die Bohrungswärme hat einen geringen Einfluss, der ebenfalls nicht sicherheitsrelevant ist.

„Da es aber bereits Unfälle beim maschinellen Tunnelbau unter Vereisung gegeben hat, wollen wir herausfinden, wo die Grenzen der Methode liegen“, äußert sich Günther Meschke. „Wir wollen wissen: Was muss passieren, damit etwas schiefgeht?“ Die Ergebnisse der Doktorarbeit von Rodolfo Williams Moises werden helfen, darauf eine Antwort zu finden.

REDAKTIONSSCHLUSS



Fotos: RUB, Marquard

Festkörperphysik – das mag zunächst abstrakt klingen. Aber einige Phänomene, mit denen diese Disziplin arbeitet, lassen sich leicht erfahren, zum Beispiel der kalorische Effekt. Manche Materialien können durch eine bestimmte Behandlung Wärme oder Kälte erzeugen, etwa indem man sie in ein Magnetfeld einbringt oder indem man sie dehnt. Das lässt sich leicht mit einem Luftballon ausprobieren, der für das Experiment nicht aufgepustet sein sollte: 1) Den Ballon ruckartig auseinanderziehen. 2) Das gedehnte Gummi an die Lippen halten. Das Material hat sich erwärmt. 3) Den Ballon anschließend von den Lippen entfernen und – weiterhin gedehnt – ein paar Sekunden in die Luft halten, sodass das Gummi auf Umgebungstemperatur abkühlen kann. 4) Dann den Ballon zusammenschnappen lassen. 5) Jetzt schnell wieder an die Lippen halten. Der entspannte Ballon ist nun kälter als die Umgebungsluft. Wie man den kalorischen Effekt eines Tages für den Bau von Kühlschränken nutzen könnte, lesen Sie auf Seite 20.

IMPRESSUM

HERAUSGEBER: Rektorat der Ruhr-Universität Bochum in Verbindung mit dem Dezernat Hochschulkommunikation der Ruhr-Universität Bochum (Hubert Hundt, v.i.S.d.P.)

WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT: Prof. Dr. Christian Albert (Geowissenschaft), Prof. Dr. Birgit Apitzsch (Sozialwissenschaft), Prof. Dr. Thomas Bauer (Fakultät für Wirtschaftswissenschaft), Prof. Dr. Gabriele Bellenberg (Philosophie und Erziehungswissenschaften), Prof. Dr. Maren Lorenz (Geschichtswissenschaften), Prof. Dr. Markus Kaltenborn (Jura), Prof. Dr. Achim von Keudell (Physik und Astronomie), Prof. Dr. Günther Meschke (Prorektor für Forschung und Transfer), Prof. Dr. Martin Muhler (Chemie), Prof. Dr. Franz Narberhaus (Biologie), Prof. Dr. Nils Pohl (Elektro- und Informationstechnik), Prof. Dr. Markus Reichert (Sportwissenschaft), Prof. Dr. Tatjana Scheffler (Philologie), Prof. Dr. Gregor Schöner (Informatik), Prof. Dr. Sabine Seehagen (Psychologie), Prof. Dr. Roland Span (Maschinenbau), Prof. Dr. Martin Tegenthoff (Medizin), Prof. Dr. Marc Wichern (Bau- und Umweltingenieurwissenschaft), Prof. Dr. Peter Wick (Evangelische Theologie)

REDAKTIONSANSCHRIFT: Dezernat Hochschulkommunikation, Redaktion Rubin, Ruhr-Universität Bochum, 44780 Bochum, Tel.: 0234/32-25228, rubin@rub.de, news.rub.de/rubin

REDAKTION: Dr. Julia Weiler (jwe, Redaktionsleitung); Meike Drießen (md); Lisa Bischoff (lb); Raffaella Römer (rr)

FOTOGRAFIE: Damian Gorczany (dg), Schiefersburger Weg 105, 50739 Köln, Tel.: 0176 / 29706008, damiangorczany@yahoo.de, www.damiangorczany.de; Roberto Schirdewahn (rs), Offerkämpfe 5, 48163 Münster, Tel.: 0172/4206216, post@people-fotograf.de, www.wasaufdieaugen.de

COVER: Roberto Schirdewahn

BILDNACHWEISE INHALTSVERZEICHNIS: Teaserfoto für Seite 16: Andreas Pflitsch, Seite 20: Damian Gorczany, Seite 32: Jennifer Herzog-Niescery, Seite 40: Roberto Schirdewahn, Seite 50: Katja Marquard

GRAFIK, ILLUSTRATION, LAYOUT UND SATZ: Agentur für Markenkommunikation, Ruhr-Universität Bochum, www.einrichtungen.rub.de/de/agentur-fuer-markenkommunikation

DRUCK: LD Medienhaus GmbH & Co. KG, Van-Delden-Str. 6-8, 48683 Ahaus, info@ld-medienhaus.de, www.ld-medienhaus.de

ANZEIGEN: Dr. Julia Weiler, Dezernat Hochschulkommunikation, Redaktion Rubin, Ruhr-Universität Bochum, 44780 Bochum, Tel.: 0234/32-25228, rubin@rub.de

AUFLAGE: 3.900

BEZUG: Rubin erscheint zweimal jährlich und ist erhältlich im Dezernat Hochschulkommunikation der Ruhr-Universität Bochum. Das Heft kann kostenlos abonniert werden unter news.rub.de/rubin/abo. Das Abonnement kann per E-Mail an rubin@rub.de gekündigt werden.

ISSN: 0942-6639

Nachdruck bei Quellenangabe und Zusenden von Belegexemplaren

Die nächste Ausgabe von RUBIN erscheint am 3. Juni 2024.