

RUBIN

WISSENSCHAFTSMAGAZIN



Schwerpunkt Sprache

**SO PRÄGEN DIE MEDIEN
DEN RUHRDIALEKT**

**WARUM ENGLISCH NICHT
GLEICH ENGLISCH IST**

**SPRACHE BESSER
VERSTEHEN IM LÄRM**

Tunnelbau

NAVIGIEREN UNTER DER ERDE

Was wird mit den Gebäuden an der Oberfläche passieren, wenn die Tunnelbohrmaschine darunter hinwegfährt? Das errechnen Ingenieure in Echtzeit dank künstlicher Intelligenz.





Wer im Zug sitzt und mit Tempo 200 durch einen Eisenbahntunnel saust, bekommt davon nicht viel mit. Ein paar Sekunden Dunkelheit vor dem Fenster und schon ist der Zug wieder am Tageslicht. Erst bei genauerem Hinsehen offenbart sich die ungeheure Komplexität des Baus großer Tunnel, und es erschließt sich, warum es Jahre dauert, bis sie fertig und befahrbar sind.

Dabei ist der Tunnelbau heute mit dem der ersten Tunnel vor Hunderten von Jahren nicht mehr vergleichbar. „Man muss sich mobile unterirdische Fabriken vorstellen“, beschreibt Prof. Dr. Günther Meschke, Inhaber des Lehrstuhls für Statik und Dynamik an der Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwissenschaften der Ruhr-Universität Bochum. Diese Tunnelbohrmaschinen können Durchmesser von bis zu 17 Metern haben. Sie graben die Röhre für den entstehenden Tunnel mit einem Schneidrad, transportieren den Aushub ab und befestigen die Tunnelschale auch gleich. Bis zu 25 Meter pro Tag kann sich solch ein Tunnelbauapparat unter optimalen Bedingungen voran bewegen.

Genau diese Bedingungen aber sind es, um die die Überlegungen der Ingenieure kreisen. Verschiedenste Faktoren müssen berücksichtigt werden, nämlich wie fest und steif der Boden ist, wie die Grundwasserverhältnisse sind oder wie sensibel die Bebauung von Streckenabschnitten ist, unter denen der Tunnel verlaufen soll. „Gebäude beeinflussen die Setzungsmulde während des Vortriebs. Der Tunnel beeinflusst wiederum die Gebäude, sodass es eine Wechselwirkung zwischen Vortrieb und oberirdischer Bebauung gibt“, erklärt Günther Meschke.

Schäden möglichst gering halten

Oberstes Gebot der Tunnelbauer ist natürlich, potenzielle Schäden so gering wie möglich zu halten. In der Planungsphase eines Tunnels wird die städtische Bebauung zunächst erfasst, in Kategorien eingeteilt und ihre Verletzlichkeit abgeschätzt. Abhängig von den Ergebnissen legen die Ingenieure die Trasse des Tunnels fest. Noch komplexer wird das Ganze, weil es Unschärfen bei der Erfassung der Bodeneigenschaften gibt: Kein Boden ist zum Beispiel durchgehend gleich fest, sondern die Festigkeit variiert. Gleiches gilt für die anderen geotechnischen Parameter. Eine sehr komplexe Angelegenheit also. Daher wird es trotz aller akkuraten Planung noch einmal richtig spannend, während die Maschine den Tunnel tatsächlich baut. Da erst dann die realen Gegebenheiten ganz genau bekannt sind, müssen die Ingenieure ständig Entscheidungen treffen, wie die Maschine darauf reagieren soll.

Die Bochumer Ingenieure haben in ihrem Teilprojekt des Sonderforschungsbereichs (SFB) 837 „Interaktionsmodelle für den maschinellen Tunnelbau“, dessen Sprecher Günther Meschke ist, nun eine Software für den Tunnelbau entwickelt. Sie ermöglicht es dem Ingenieur vor Ort an der Baustelle, in Echtzeit zu simulieren, wie sich der Boden und die darauf befindlichen Bauwerke verhalten werden, wenn er verschiedene Stellgrößen des Tunnelbaus verändert. Zu diesen Faktoren gehören vor allem die Geschwindigkeit, mit der die ▶

Vergleichsweise klein ist der Durchmesser des Tunnels, den die Emscher-genossenschaft in Oberhausen baut. Auch hier ist eine Tunnelbaumaschine im Einsatz, die nicht nur gräbt, sondern auch gleich verfüllt und befestigt.

(Bauprojekt Abwasserkanal Emscher, Bauabschnitt 40)

Maschine den Tunnel vorantreibt, und der sogenannte Stütz- und Verpressdruck an zwei verschiedenen Punkten: Dort, wo das Schneidrad den Tunnel gräbt, an der sogenannten Ortsbrust, würde die Erde einbrechen, wenn sie nicht gleichzeitig durch eine Flüssigkeit gestützt würde. Ähnlich wie an der Ortsbrust drückt die Maschine auch Flüssigkeit in den Spalt zwischen der aus Stahlbetonsegmenten gebauten Tunnelröhre und dem Boden. Diese zementgebundene Flüssigkeit härtet später aus. Ohne diese Ringspaltverpressung würde sich der Boden an der Oberfläche um 20 bis 30 Zentimeter absenken. Der Druck, mit dem die Flüssigkeit in die Spalte gepumpt wird, muss aber genau richtig sein. Ist er zu gering, senkt sich das über dem Tunnel gelegene Gelände ab. Ist er aber zu hoch, kann es sogar vorkommen, dass das Gelände über dem Tunnel in die Höhe gedrückt wird. Auch das mit schlimmen Folgen für die Bebauung.

Komplexe Berechnungen in Echtzeit

Da die Entscheidung über den Stützdruck nur vor Ort im laufenden Betrieb getroffen werden kann, werden verschiedene Werte ständig gemessen, zum Beispiel das Drehmoment der Bohrmaschine, die Presskräfte, die Position der Maschine, das Grundwasserverhalten und die Setzungen, auch an Häusern oberhalb des Tunnels, die man zum Beispiel an Bewegungen oder Neigungswinkeln feststellen kann. Simulationsmodelle unterstützen dann die Steuerung der Maschine. „Es geht so ein bisschen in Richtung Autopilot“, spitzt Meschke zu. Die Simulation fährt praktisch virtuell mit der Bohrmaschine und aktualisiert die vor dem Bau getroffenen Annahmen mit den gemessenen Daten. Das Modell wird dadurch immer vertrauenswürdiger. „Da liegt natürlich der Gedanke nahe, mit so einem System verschiedene Szenarien durchzuspielen

und das Ganze zu optimieren“, beschreibt Günther Meschke. „Dabei gab es bisher aber ein Problem: Solche Simulationen dauern auch auf Großrechnern um die zehn Stunden.“

Die Bochumer Forscher entwickelten eine Möglichkeit, trotzdem in Echtzeit solche Berechnungen der komplexen Zusammenhänge zuverlässig durchführen zu können und vortriebsbedingte Setzungen baubegleitend in Echtzeit zu prognostizieren. Entscheidend dafür war es, die komplexen Simulationsmodelle durch schnelle Ersatzmodelle zu vereinfachen. Das gelang ihnen, indem sie zwei Modellreduktionsverfahren auf Basis künstlicher neuronaler Netze und der Proper Orthogonal Decomposition kombinierten. „Rekurrente neuronale Netze eignen sich hervorragend, um den Setzungsprozess an wenigen Messpunkten auf Basis der Simulationsergebnisse vorherzusagen“, erklärt Dr. Steffen Freitag, Teilprojektleiter im Sonderforschungsbereich. Das sogenannte Gappy-Proper-Orthogonal-Decomposition-Verfahren nutzen die Ingenieure dann, um daraus das gesamte hochdimensionale Setzungsfeld annäherungsweise zu berechnen. Eine große Herausforderung waren die Unschärfen der geologischen Parameter, die sie einbeziehen mussten. Denn nur, wenn man auch die Ungenauigkeiten dieser Parameter zum Beispiel durch Intervalle berücksichtigt, erhält man zuverlässige Prognoseergebnisse. Hochdimensionale Echtzeitprognoseverfahren für Intervalle haben die Bochumer Forscher bereits entwickelt. Doch sie wollen die Methoden auch für weitere Unschärfemodelle wie Fuzzy- und stochastische Unschärfemodelle erweitern.

Dank der Echtzeitfähigkeit des Simulationsmodells entsteht nun eine App, die Tunnelbauingenieure vor Ort nutzen können. Die Nutzeroberfläche erlaubt es zum Beispiel, Obergrenzen für die maximal erlaubte Setzung des Geländes einzu-

Wie anfällig die Bebauung für Setzungen durch den Tunnelbau ist, haben Wissenschaftler um Günther Meschke (links) und Steffen Freitag untersucht.



geben. „Wenn der Ingenieur an der Baustelle zum Beispiel eingibt, dass die Setzung an der Oberfläche zehn Millimeter nicht überschreiten darf, errechnet die Software, wie die Maschine eingestellt werden muss, damit dieser Wert nicht überschritten wird“, erklärt Steffen Freitag.

Künftig planen die Forscher, dass der Nutzer auch bestimmte Maximalwerte für Schädigungsrisiken eingeben können soll. „Wenn man etwa eingeben würde, dass die Wahrscheinlichkeit, dass kosmetische Schäden wie Risse an Gebäuden auftreten, höchstens 10^{-5} betragen darf, könnte die App berechnen, mit welchen Einstellungen die Tunnelbohrmaschine dann einen bestimmten Bereich untertunneln darf“, beschreibt Günther Meschke.

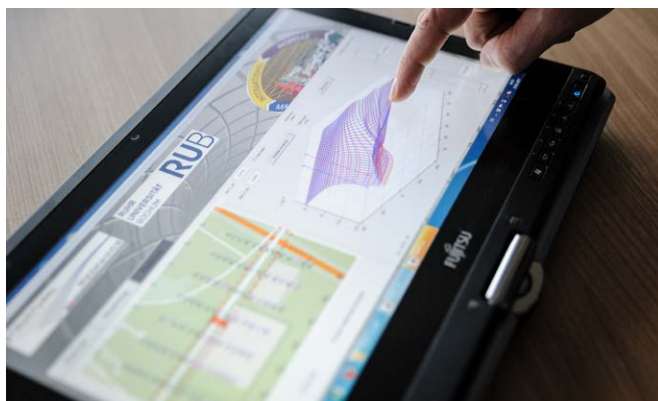
In Kooperation mit weiteren Forscherinnen und Forschern des SFB 837 wollen Günther Meschke und Steffen Freitag das neuartige Assistenzsystem für den maschinellen Tunnelbau durch weitere Submodelle ergänzen, um noch mehr sicherheits- und risikobasierte Steuerungsziele einbeziehen zu können. Insbesondere die Standsicherheit der Ortsbrust und die durch Pressenkräfte und Bodenbelastung resultierende Auslastung der gebauten Tunnelschale könnten dann durch Echtzeitsimulationen gesteuert werden. „Im Rahmen der Digitalisierung kompletter Bauprozesse eröffnen sich sogar Möglichkeiten, die gesamte Tunnelbaulogistik mit einzubeziehen“, erklären die Forscher.

Ein ganz neuartiger Ansatz liegt in der Integration der im Sekundentakt aufgezeichneten Maschinendaten in die numerischen Simulationsmodelle – Stichwort Big Data. Diese Herausforderung will Günther Meschke gemeinsam mit Prof. Dr. Katharina Morik vom Lehrstuhl für Künstliche Intelligenz der Technischen Universität Dortmund angehen.

Text: md, Fotos: rs



Günther Meschke ist Sprecher des Sonderforschungsbereichs „Interaktionsmodelle für den maschinellen Tunnelbau“.



Per Touchscreen kann der Ingenieur vor Ort auf der Baustelle simulieren, wie der Tunnelbau sich auf die Oberfläche auswirken würde, wenn die Maschine mit veränderten Einstellungen arbeiten würde.

Anzeige

Das tut nix mehr. Dank Leuten wie Ihnen.

Wir suchen IT-Sicherheitsexperten. Für unsere spannenden Kunden – darunter Unternehmen, Behörden und internationale Organisationen – definieren wir seit über 18 Jahren den Standard im kryptografischen Bereich. Unsere IT-Sicherheitslösungen sind führend – und genau solche Leute suchen wir. Ob Junior oder Senior: Was zählt, ist Ihre Begeisterung. Und Ihre Eigenschaft, erst dann zufrieden zu sein, wenn es wirklich perfekt ist.

Wir freuen uns auf Ihre Bewerbung.

www.secunet.com/karriere



secunet

IT-Sicherheitspartner der Bundesrepublik Deutschland

REDAKTIONSSCHLUSS



Wie viele Atome braucht es, um „RUB“, die Abkürzung für „Ruhr-Universität Bochum“, zu schreiben? Die Antwort lautet 31, wie Doktorand Karsten Lucht herausgefunden hat. Natürlich geht das nicht mit einem Stift. Es ist eine spezielle Technik erforderlich, mit der sich einzelne Atome manipulieren lassen. Am Lehrstuhl für Physikalische Chemie I, geleitet von Prof. Dr. Karina Morgenstern, gibt es ein Gerät, das das kann: ein Tieftemperatur-Rastertunnelmikroskop. Damit fertigte Karsten Lucht den womöglich kleinsten RUB-Schriftzug der Welt aus Silberatomen an. Üblicherweise nutzt der Doktorand das Mikroskop für Versuche zur Lösungsmittelchemie: news.rub.de/kleinst-rub-schriftzug

Großes Bild: Karsten Lucht, Foto: Katja Marquard

IMPRESSUM

HERAUSGEBER: Rektorat der Ruhr-Universität Bochum in Verbindung mit dem Dezernat Hochschulkommunikation (Abteilung Wissenschaftskommunikation) der Ruhr-Universität Bochum

WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT: Prof. Dr. Gabriele Bellenberg (Philosophie und Erziehungswissenschaften), Prof. Dr. Astrid Deuber-Mankowsky (Philologie), Prof. Dr. Reinhold Gleis (Philologie), Prof. Dr. Achim von Keudell (Physik und Astronomie), Prof. Dr. Ulrich Kunze (Elektrotechnik/Informationstechnik), Prof. Dr. Wolfgang Linke (Medizin), Prof. Dr. Denise Manahan-Vaughan (Medizin), Prof. Dr. Martin Muhler (Chemie), Prof. Dr. Franz Narberhaus (Biologie), Prof. Dr. Andreas Ostendorf (Prorektor für Forschung, Transfer und wissenschaftlichen Nachwuchs), Prof. Dr. Michael Roos (Wirtschaftswissenschaft), Prof. Dr. Tom Schanz (Bau- und Umweltingenieurwissenschaften), Prof. Dr. Michael Wala (Geschichtswissenschaft)

REDAKTIONSANSCHRIFT: Dezernat Hochschulkommunikation, Abteilung Wissenschaftskommunikation, Ruhr-Universität Bochum, 44780 Bochum, Tel.: 0234/32-25228, Fax: 0234/32-14136, rubin@rub.de, news.rub.de/rubin

REDAKTION: Dr. Julia Weiler (jwe, Redaktionsleitung); Meike Drießen (md); Katharina Gregor (kg); Raffaella Römer (rr)

FOTOGRAFIE: Damian Gorczany (dg), Hofsteder Str. 66, 44809 Bochum, Tel.: 0176/29706008, damiangorczany@yahoo.de, www.damiangorczany.de; Roberto Schirdewahn (rs), Offerkämpe 5, 48163 Münster, Tel.: 0172/4206216, post@people-fotograf.de, www.wasaufdieaugen.de

COVERBILD: Agentur der RUB

BILDNACHWEISE INHALTSVERZEICHNIS: Teaserfotos für die Seiten 6, 36, 40, 54 und 58: Roberto Schirdewahn; Teaserfotos für die Seiten 14 und 28: Damian Gorczany

GRAFIK, ILLUSTRATION, LAYOUT UND SATZ: Agentur der RUB, www.rub.de/agentur

DRUCK: VMK Druckerei GmbH, Faberstraße 17, 67590 Monsheim, Tel.: 06243/909-110, www.vmk-druckerei.de

AUFLAGE: 4.000

ANZEIGENVERWALTUNG UND -HERSTELLUNG: VMK GmbH & Co. KG, Faberstraße 17, 67590 Monsheim, Tel.: 06243/909-0, www.vmk-verlag.de

BEZUG: RUBIN erscheint zweimal jährlich und ist erhältlich im Dezernat Hochschulkommunikation (Abteilung Wissenschaftskommunikation) der Ruhr-Universität Bochum. Das Heft kann kostenlos abonniert werden unter rubin.rub.de/abonnement.

ISSN: 0942-6639

Nachdruck bei Quellenangabe und Zusenden von Belegexemplaren