

Zeitschrift: Horizonte : Schweizer Forschungsmagazin
Band: 31 [i.e. 30] (2018)
Heft: 118: Wilder Westen im Untergrund : Ansturm auf die neuen Ressourcen
Rubrik: Schwerpunkt im Untergrund : ab in den Untergrund

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 18.10.2024

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Ab in den Untergrund

Die Menschen dringen immer weiter ins Innere der Erde vor. Das führt zu Konflikten, aber auch zu mehr Kenntnissen. Wir steigen für Sie in die Tiefe, um dieses Feilschen und Forschen ans Licht zu holen.

Niemandsland unter der Schweiz

Wem gehört eigentlich der Untergrund, und welche Nutzung hat Vorrang? Der Ansturm auf das Erdreich ist mittlerweile gross. Rechtlich ist aber noch vieles unklar.

Von Geneviève Ruiz

Der Leistungsausweis der Schweiz im Untergrund ist rekordverdächtig: Sie hat mit dem Gotthard den zweitlängsten Personentransporttunnel der Welt, ist mit dem LHC-Beschleuniger am Cern Teil des weltweit grössten wissenschaftlichen Experiments unter dem Boden und besitzt ein Labyrinth aus Gängen und Bunkern, durch das die Alpen einem Stück Emmentaler gleichen. Doch während die Schweiz in der unterirdischen Ingenieurskunst brilliert, «wähnt man sich eher im Wilden Westen, was die rechtliche Situation betrifft», meint Olivier Lateltin, Bereichsleiter Landesgeologie bei Swisstopo. «Ein wenig bekanntes und kaum reguliertes Gebiet, in dem manchmal einzig das Gesetz *«first come, first served»* gilt.»

Tatsächlich wissen die Behörden meist nicht so genau, was sie unter ihren Füissen verwalten sollen. «Im Gegensatz zu anderen Ländern hat die Schweiz ihre Tiefen erst wenig erforscht, weil keine bedeutenden Erdöllagerstätten entdeckt wurden», erklärt Nathalie Andenmatten, Leiterin des Erdwärme-Programms des Kantons Genf. «Während des Zweiten Weltkriegs etwa untersuchten Frankreich und Deutschland ihren Untergrund insbesondere aus strategischen Gründen, mit dem Ziel einer Energieautarkie.»

Die Wissenslücken erstrecken sich im Übrigen nicht nur auf tiefe Schichten, sondern selbst auf das, was sich weniger als 30 Meter unter dem Boden befindet. Nur einige grössere Städte verfügen über genaue Informationen zu ihrem Leitungsnetz. In den übrigen Gebieten fehlen diese Angaben ganz, sind nur lückenhaft vorhanden oder schwer erhältlich. «Der Kataster des Untergrunds gleicht einem Niemandsland», meint Olivier Lateltin. «Um

zu den gesuchten Informationen zu kommen, müssen oft verschiedene Akteure kontaktiert werden, wie Telekomanbieter oder Elektrizitätswerke der Gemeinden.»

Schwammige Gesetze

Zum lückenhaften Wissen kommt eine überaus schwammige Gesetzgebung: In der Schweiz gibt es noch kein eigenes Bundesgesetz für den Untergrund. Faktisch wurde versucht, die Frage mit Artikel 667 des Zivilgesetzbuchs zu regeln, wonach sich das Grundeigentum «nach oben und unten auf den Luftraum und das Erdreich erstreckt, soweit für die Ausübung des Eigentums ein Interesse besteht». Ein solches Interesse besteht beispielsweise, wenn dem Boden Wärme entnommen wird, um ein Gebäude zu heizen. Nach römischem Recht umfasst das Grundeigentum dagegen uneingeschränkt den ganzen Bereich bis zum Erdzentrum. Für Thierry Largey, Experte für Raumplanungsrecht an der Universität Lausanne, «ist die Frage, welcher Bereich des Untergrunds privat und welcher öffentlich ist, nicht beantwortet».

«Die Frage, welcher Bereich des Untergrunds privat und welcher öffentlich ist, ist nicht beantwortet.»

Thierry Largey

Diese Situation wird immer wieder zu Problemen führen, insbesondere weil die Gebäude immer höher werden und daher eine immer tiefere Verankerung erfordern. «Verschärft wird die Lage dadurch, dass sich die Verankerung je nach

Geländeverlauf über das Grundstück hinaus erstrecken kann», fährt der Forscher fort. «Muss der Eigentümer nun eine Bewilligung vom Nachbarn oder eher vom Kanton einholen?» Gleichzeitig werden zur Nutzung der Erdwärme für das Heizen von Gebäuden immer mehr Sonden bis in Tiefen von 300 Metern getrieben, wodurch sich das «Interesse für die Ausübung des Eigentums an der Oberfläche» auf immer grössere Tiefen erstreckt.

Ausserhalb des privaten Grundeigentums ist der Untergrund ein öffentliches Gut, genau wie Seen, Gletscher oder nicht kulturfähiges Land. Für die Nutzung dieser Räume liegen die Hoheitsrechte durch das Verwaltungsrecht bei den Kantonen. «Die Verwaltung des Untergrunds ist allerdings stark fragmentiert», meint Thierry Largey. «Es besteht kein Gesamtkonzept und keinerlei Harmonisierung zwischen den Kantonen. Einige kantonale Gesetze gehen auf das 19. Jahrhundert zurück, andere wurden kürzlich überarbeitet.» In einigen Kantonen gibt es überhaupt keine spezifischen Gesetze zu Bereichen wie Geothermie. Auf Bundesebene wird die Nutzung des Untergrunds im Raumplanungsrecht ebenfalls nicht ausdrücklich erwähnt. Immerhin ermöglichen Planungs- und Raumordnungswerkzeuge auf den Ebenen von Bund und Kantonen eine gewisse Koordination der Nutzung unterirdischer Ressourcen.

Mehr Konkurrenz, mehr Konflikte

Bis vor Kurzem hatten diese Gesetzgebungs- und Wissenslücken kaum Probleme zur Folge. Erst seit einigen Jahren schlagen Fachpersonen Alarm. Aufgrund der Urbanisierung und der Entwicklung neuer Technologien wird es zu einer verschärften Konkurrenz um die Nutzung des

◀ S. 10/11

In die Tiefe, um die Höhe zu testen: Eine Firma experimentiert mit neuen Hochhausliften im 200 Meter tiefen Schacht eines unterirdischen Kalksteinbruchs in der Nähe von Helsinki. Bild: Getty Images/Bloomberg/Roni Rekoma

Untergrunds kommen, die zu Konflikten und zu einer nicht nachhaltigen Bewirtschaftung der Ressourcen führen könnte. Das ist eine Eigenheit des Untergrunds: Sobald eine Anlage gebaut ist, lässt sich die Raumnutzung kaum mehr ändern.

Der Untergrund in der Schweiz wird vor allem für vier Hauptzwecke genutzt: Rohstoffgewinnung - hauptsächlich Sand und Kies -, Bewirtschaftung des Grundwassers, Bau - zum Beispiel Verkehrswege - sowie Energieproduktion und -speicherung. «Grundsätzlich kann es bei der Nutzung des Untergrunds überall zu Konflikten kommen, in den kommenden Jahren dürfte sich die Situation aber vor allem in städtischen Agglomerationen zuspitzen», betont Stéphane Nahrath, Professor am Institut für öffentliche Verwaltung in Lausanne und Forscher des nationalen Forschungsprogramms «Nachhaltige Nutzung der Ressource Boden».

Geothermie versus Metro

Beispielsweise kann das Grundwasser verschmutzt werden. Oder bei bereits dicht verbautem Untergrund können nicht mehr alle Interessierten eine geothermische Sonde einsetzen. In Lausanne beispielsweise dürfen Eigentümer, deren Grundstück sich über der zukünftigen Metro M3 befindet, die Erdwärme nicht nutzen. Es stellt sich die Frage, ob sie dafür entschädigt werden müssen. «Gegenwärtig gibt es kein Gesetz, das diese Frage beantwortet», erklärt Stéphane Nahrath. Der Aufschwung der Geothermie - die im Übrigen durch die Energiestrategie 2050 gefördert wird - tritt also bereits in Konflikt mit Projekten für Verkehrstunnels.

Weiteres Konfliktpotenzial bergen Projekte, die eine unterirdische Lagerung von CO₂, Erdgas oder radioaktiven Abfällen vorsehen oder Verlegungen von Hochspannungsleitungen im Boden. Der chronische Mangel an Bauflächen veranlasst Architektinnen und Architekten, vermehrt in die Tiefe zu bauen und sich dabei gleichzeitig die hervorragenden thermischen Möglichkeiten zunutze zu machen. Auch grosse Infrastrukturprojekte drängen ins Erdreich: «Cargo sous terrain» beispielsweise, ein Projekt zur vollständig automatischen Beförderung von Frachten über Tunnels, oder auch Eurotube, ein System für den Hochgeschwindigkeitstransport in einer Metallröhre, an dessen Entwicklung beide Eidgenössischen Technischen Hochschulen beteiligt sind.

«Viele dieser Projekte betreffen zwar die Zukunft», sagt Olivier Lateltin von Swisstopo. «Aber es ist jetzt an der Zeit, die erforderlichen Werkzeuge für die

Bewirtschaftung des Untergrunds zu entwickeln.» Diese Meinung teilt Stéphane Nahrath: «Wir müssen die Raumplanung mit einer langfristig ausgerichteten Bewirtschaftung des Untergrunds koordinieren. Es gilt Pläne zu erstellen, Zonen festzulegen und Nutzungen vorzusehen, wie wir dies an der Oberfläche längst tun. Wenn wir die Rechtslage im Boden nicht rechtzeitig klären, wird sich das Bundesgericht in den nächsten Jahren ausgiebig darum kümmern müssen. Zweifellos wird die Zahl der Streitfälle rasant zunehmen. Wie sich gezeigt hat, ist es in diesem Bereich immer besser, vorzudenken.» Wenn die Schweiz ihre Gesetzgebung nicht präzisiert, werden die Gerichte entscheiden, wie der Boden bewirtschaftet wird - ohne dass Fachleute mitreden können.

In Genf stellt Nathalie Andenmatten ein weiteres Problem fest: «Wenn wir die Nutzung des Untergrunds nicht besser planen, besteht die Gefahr, dass wir uns technologische Entwicklungen der Zukunft verbauen.» Im Bereich der Geothermie zum Beispiel wurden bereits viele flache Erdwärmesonden eingebaut, die bis in Tiefen von etwa 300 Metern reichen. Diese lassen sich gut bei Einfamilienhäusern auf dem Land einsetzen, sind aber weniger geeignet für Gebäude in städtischen Zentren, wo das Erdreich bereits verbaut ist. Bei diesen Bauten wären kollektive Erdwärmesysteme mit Grundwassernutzung oder mit mittleren Bohrtiefen vorteilhaft.

Und wieder der Kantönligeist

«Wenn die Behörden jetzt planlos zulassen, dass Privatpersonen ihre Sonden oder Sondenfelder einrichten, haben in den betroffenen Zonen keine kollektiven Erdwärmesysteme mehr Platz», meint die Geologin. Sie ist auch der Ansicht, dass die Umsetzung von Grossprojekten im Bereich der Geothermie wegen der unterschiedlichen oder sogar fehlenden spezifischen Gesetzgebung in den Kantonen sehr schwierig ist: «In jedem Kanton werden unterschiedliche Daten gefordert; etwas ist hier untersagt und dort erlaubt. Das wirkt abschreckend auf Initiativen für Grossprojekte. Damit sich die Erdwärmennutzung in mittleren Tiefen von 300 bis 3000 Metern in der Schweiz entwickeln kann, muss die Praxis zwischen den Kantonen harmonisiert werden.»

Die Geothermie ist nicht der einzige Bereich, in dem eine Harmonisierung not tut: Zahlreiche Projekte machen nicht vor Kantongrenzen halt. Vielleicht bringt die zweite Revision des Bundesgesetzes über die Raumplanung (RPG 2) eine Lösung, denn es steht eine Raumplanung in der dritten

Dimension zur Diskussion. «Es wäre auf jeden Fall wünschenswert, dass das neue Gesetz eine detaillierte Raumplanung für den Untergrund bringt», betont Marianne Niggli, Präsidentin des Schweizer Geologenverbands. Sie organisiert im kommenden Herbst ein Symposium, an dem Fachpersonen aus den Bereichen Geologie, Städte- und Raumplanung sowie Unternehmen über den Inhalt des künftigen Gesetzes diskutieren.

«Grundsätzlich kann es bei der Nutzung des Untergrunds überall zu Konflikten kommen.»

Stéphane Nahrath

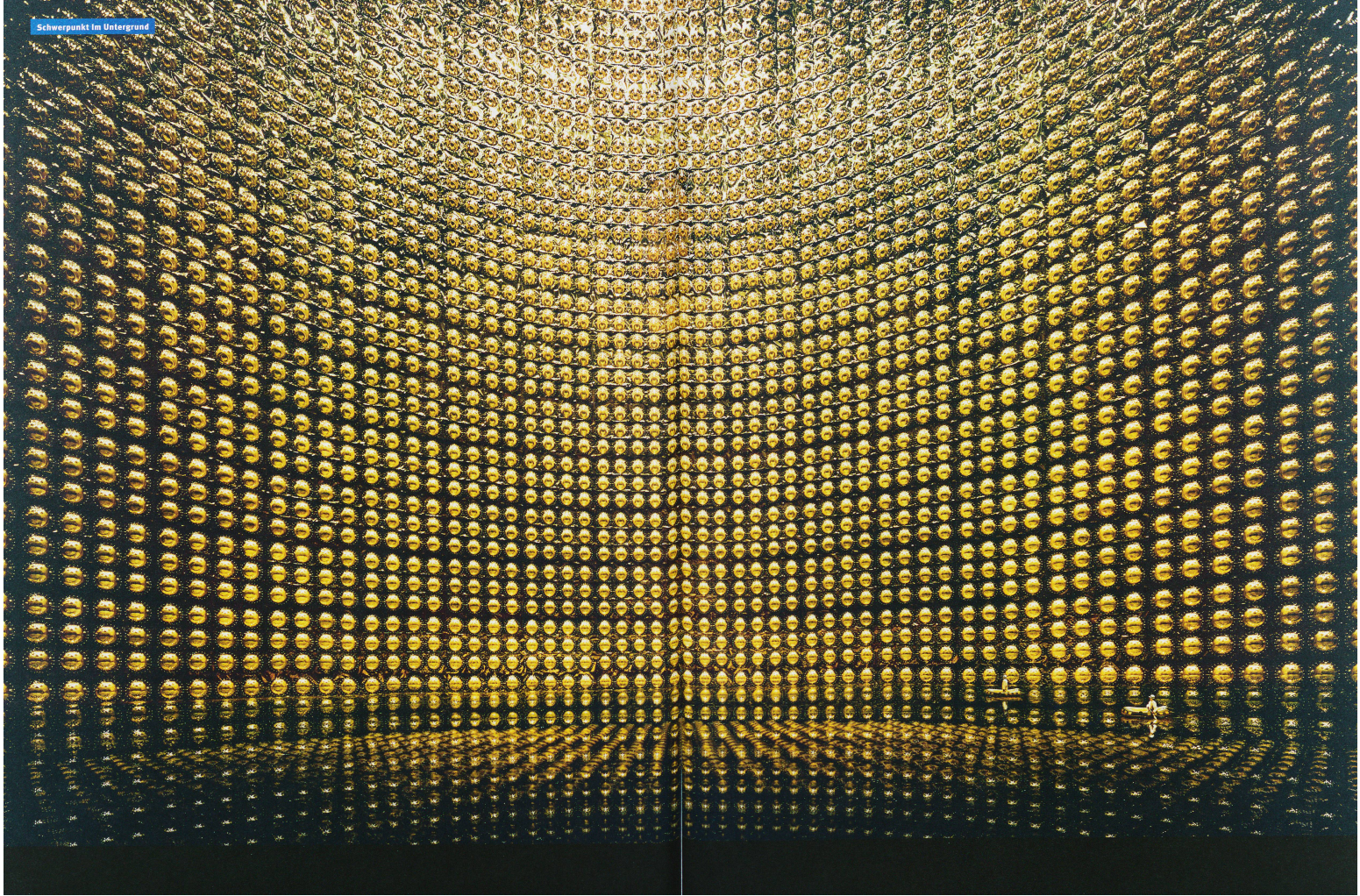
In der Zwischenzeit dürften Projekte, die Swisstopo in Zusammenarbeit mit den kantonalen Behörden und den Bundesbehörden umsetzt, relevantes Wissen über den Schweizer Untergrund zutage bringen (siehe «Kartierung einer unsichtbaren Welt», S. 19). «Wir richten verschiedene Datenbanken zu den unterirdischen Strukturen ein, die von gesamtschweizerischem Interesse sind, wie Tiefbohrungen oder seismische Linien», erklärt Olivier Lateltin. «Wir möchten Standards für die Beschreibung geologischer Daten in der Schweiz festlegen und die Kantone dabei unterstützen, diese namentlich für Projektplaner und -träger bereitzustellen. Ich rechne damit, dass wir in zehn Jahren leistungsfähige geologische Modelle des Untergrunds für die grossen Agglomerationen des Mittellands haben.»

Werden diese Daten die Ausgestaltung einer neuen Gesetzgebung erleichtern? Vielleicht, aber «zu viele regulatorische Vorgaben könnten kontraproduktiv sein», warnt Marianne Niggli. Die künftige Entwicklung ist nur schwer vorherzusehen. Sie rät deshalb, neue Normen schrittweise auf der Grundlage neuer Erkenntnisse einzuführen. Als Antwort auf wissenschaftliche Fortschritte fordern Fachpersonen nachdrücklich Expertengruppen, technische Standards und die Etablierung bewährter Praktiken - damit die Schweiz ihr Fundament ergiebig und umsichtig nutzen kann.

Geneviève Ruiz ist freie Journalistin und lebt in Nyon (VD).

S. 14/15 ▶

Abgeschildert vom Tageslicht: Unter einer 1000 Meter dicken Gesteinsschicht in einer alten Zinkmine im japanischen Kamioka warten 13 000 Detektoren auf seltene Neutrinos. Bild: Andreas Gursky/Pro Litteris, Bonn 2018, Courtesy Sprüth Magers



Immer tiefer forscht der Mensch

Im Berg, in der Kanalisation, auf der Baustelle: Es wimmelt von Forschungsfeldern unter unseren Füssen. Kurze Einblicke in vielsagende Tiefen.

Text: Roland Fischer
Infografik: Vollkorn

Botschaften aus der Vergangenheit

Ausgrabungen

Wenn Baumaschinen unerwartet Zeitzeugen von wissenschaftlichem Wert freilegen, wühlen sich statt ihnen Archäologinnen durch die Erde. Behutsam natürlich. Manchmal kommen die Boten aus anderen Jahrhunderten oder gar Jahrtausenden auch durch Bodenerosion zum Vorschein. In beiden Fällen werden Not- und Rettungsgrabungen nötig. Mit diesen ist die Archäologie konstant ausgelastet. Und eigentlich lässt der zeitgenössische Archäologe die **Funde** lieber da, wo sie am besten geschützt sind und wo am meisten kontextuelle Information gespeichert ist.

Der Boden ist das beste Archiv: Nur da, wo archäologische Substanz unmittelbar bedroht ist, werden

Grabungen vorgenommen. Archäologie sei sozusagen kontrollierte Zerstörung, sagt Armand Baeriswyl vom Berner Institut für Archäologische Wissenschaften.

Übrigens: laut Zivilgesetzbuch ist Archäologie in der Schweiz Kantonsangelegenheit: «Herrenlose Naturkörper oder Altertümer von wissenschaftlichem Wert sind Eigentum des Kantons, in dessen Gebiet sie gefunden worden sind.»

Spielplatz für Feuerteufel

Versuchsstollen bei Flums (SG)

Bohrhämmer mühen sich am ungemein zähen Kieselkalk ab, Flugabwehrkanonen feuern ins Dunkel. Im Versuchsstollen Hagerbach in der Nähe von Flums (SG) können ungestört Dinge der etwas extremeren Art getestet werden.

Tief im Berg ist es zum Beispiel nicht so schlimm, wenn Branddetektoren und Löschsysteme ihre Macken haben, und so können dort Brandsysteme getestet werden. Wenn sie versagen, wird eben manuell gelöscht. Eigentlich wurde die Anlage vor bald fünfzig Jahren für Tunnelingenieure angelegt, als Versuchsfeld mit möglichst realistischen Bedingungen. Diese haben ihre Maschinen und **Sprengstoffe** so erfolgreich getestet, dass ein weitläufiges Stollensystem von vielen Kilometern Länge entstanden ist. Nun ist genug Raum vorhanden für eine Vielzahl von Forschungsvorhaben, die einerseits Diskretion, andererseits den geologischen Puffer tief im Bauch des Bergs schätzen.

Mikroorganismen helfen bei der Lagerung von Atommüll

Stollen im Mont Terri (JU)

Dieser Berg kommt nicht zur Ruhe: Da der Mont Terri die Ajoie vom restlichen Jura abtrennt, war es nur eine Frage der Zeit, bis er von Tunnels durchstochen wurde. Schon etwas länger her für die Bahn, dann auch für die Autobahn. Weil man auch herausfand, dass der Opalinuston zu den stabilsten und undurchlässigsten geologischen Schichtungen gehört, wurde längs zum Autobahntunnel gleich noch ein Versuchsstollen angelegt. Darin wird Forschung rund um die Endlagerung von radioaktiven Abfällen durchgeführt. Dazu wird aber kein Atommüll in den Mont Terri gebracht. Die Versuche sind anderer Natur. Unlängst hat zum Beispiel eine Jungforscherin der EPFL gezeigt, wie gefährliches Wasserstoffgas aus der **Korrosion** der Stahlbehälter entfernt werden könnte. Poröses Material auf der Stollenwand böte spezialisierten Mikroorganismen einen Lebensraum. Das Projekt ist eine Zusammenarbeit von mehr als einem Dutzend internationalen Partnern und wird durch Swisstopo koordiniert.

Experimente im Schwebezustand

Labor in Rüschlikon (ZH)

Erschütterungen, Töne, Temperaturunterschiede: Alles muss für **Nanotech**-Experimente auf ein Minimum reduziert werden. Die IBM hatte Glück, bloss acht Meter dick ist die Erd- und Lehmschicht unter dem Forschungszentrum in Rüschlikon, und schon stösst man auf den Nagelfluh. Auf diesen hat man beim Bau des Nanotechnologie-Zentrums eine vom restlichen Gebäude unabhängige Betonbasis verankert. Hier stehen sechs weltweit einzigartige Noise-Free-Labs. Oder besser: sie schweben.

Das Fundament spürt beispielsweise die nanometerkleinen Vibrationen von der Autobahn, die in gut hundert Meter Distanz vorbeiführt. Die rund 50 Tonnen schweren, auf Luftkissen gelagerten Raumsockel dagegen bleiben davon unbeeindruckt. So können hier diverse Nanotech-Experimente unter so konstanten Bedingungen durchgeführt werden wie nirgends sonst auf der Welt: elektromagnetische Strahlung wird ebenso komplett abgeschirmt wie akustischer Lärm, und selbst die Temperatur schwankt während eines laufenden Experiments nie stärker als um 0,01 Grad.

Corpus Delicti im Abwasser

Städtische Kanalisationen

Es ist gewissermassen das Unterbewusstsein der städtischen Existenz: das Abwassersystem. Wenn Forschende in die Kanalisation hinuntersteigen, dann spüren sie allerdings handfesten Geschichten nach. Zum Beispiel chemischen Rückständen.

Einige Berühmtheit erlangt hat die Forschung von Christoph Ort von der Eawag in Dübendorf, dem es gelungen ist, aus kleinsten Konzentrationen in Abwässern den **Drogenkonsum** in diversen Städten hochzurechnen.

Ein Team aus demselben Haus um Frank Blumensaat baut derzeit bei Fehraltorf (ZH) ein urbanhydrologisches Feldlabor für den gesamten Wasserkreislauf in einer Stadt auf: Die Forschenden installieren moderne Sensoren für Niederschläge, Abflussmengen und Pegelstände, um Wasserflüsse im städtischen Raum detailliert zu modellieren.

Laien entdecken Pseudoskorpione

Höhlensysteme

Finster, kalt, nass: Höhlen sind unwirtliche Lebensräume. Zumindest für Menschen. Manche Tiere hingegen fühlen sich in dieser ökologischen Nische besonders wohl. Weil die Nische aber eng und nicht besonders gut ausgeleuchtet ist, fristet auch die sogenannte Biospeläologie ein wissenschaftliches Nischendasein. Nur wenige spezialisierte Forschende befassen sich mit den Lebensräumen unter Tage. Die Biospeläologie ist deshalb ein perfektes Beispiel für **Citizen Science**: Gelegentlich bringen Laien Funde mit, die dann von Spezialisten klassifiziert werden. So wurden unlängst gleich drei neue Pseudoskorpion-Arten im Hölloch (SZ), im Jura und in den Höhlen der Schratzenfluh (LU) entdeckt.





Kartierung einer unsichtbaren Welt

Im Untergrund soll Energie gewonnen, CO₂ gelagert und Verkehr geführt werden. Neue 3D-Modelle machen die Planung effizienter.

Von Yvonne Vahlensieck

Wer wissen will, wie es viele Millionen Kilometer entfernt auf dem Mars aussieht, findet dazu problemlos eine Fülle von Fotos und Karten im Internet. Im Gegensatz dazu ist die Welt direkt unter unseren Füßen noch weitgehend unbekannt. Doch das Interesse am Schweizer Untergrund wächst ständig: In Zukunft soll mit Erdwärme Strom produziert werden. Unter der Erde suchen Geologinnen und Geologen nach Platz für die Lagerung von radioaktiven Abfällen und dem Treibhausgas CO₂. Und das Unternehmen Cargo sous terrain will einen grossen Teil des Schweizer Gütertransports in den Untergrund verlegen.

Mittelland unter Tage in 3D

Die meisten dieser Vorhaben sind für das Mittelland geplant - unter den am dichtesten besiedelten Regionen der Schweiz. Um die Planung dieser Projekte voranzutreiben, hat das Bundesamt für Landestopografie Swisstopo nun ein aufwendiges 3D-Modell erarbeitet, das die geologische Beschaffenheit des Untergrunds von Genf

«Woher genau in den Alpen welches Wasser kommt, ist immer noch eines der grössten geologischen Rätsel der Schweiz.»

Gunter Siddiqi

über das Mittelland bis in die Ostschweiz darstellt. Das sogenannte Molassebecken erreicht dabei Tiefen zwischen wenigen hundert Metern im Norden bis etwa 6000 Metern im Süden und besteht aus Sedimentschichten wie Kalk, Sandstein und Ton - Ablagerungen aus der Zeit vor etwa 25-30 Millionen Jahren, als die Schweiz noch von Meer bedeckt war.

«Dank der dreidimensionalen Visualisierung können nun auch Entscheidungsträger, die nicht vom Fach sind, die Struktur des Untergrunds besser verstehen», sagt Projektleiter Robin Allenbach von Swisstopo. Mit Hilfe des Geomol-17-Modells können Bauingenieurinnen beispielsweise präziser vorhersagen, durch welche Arten von Gestein beim Bau eines Tunnels gebohrt werden muss. So ist es möglich, eine Trassenführung durch ungünstige Formationen - wie etwa unverfestigtes Gestein - zu vermeiden.

Eine wichtige Rolle spielte Geomol 17 deshalb schon bei der Planung des Streckennetzes für Cargo sous terrain. Das Projekt will die grossen Städte des Mittellandes durch sechs Meter breite Tunnel verbinden, in denen Waren in unbemannten Fahrzeugen vollautomatisch von Ort zu Ort transportiert werden. Laut der Unternehmen könnten so in Zukunft bis zu 40 Prozent des Güterverkehrs unter der Erde ablaufen. Das erste etwa sieben Kilometer lange Teilstück soll Niederbipp (SO) mit Zürich verbinden und im Jahr 2030 in Betrieb gehen.

Neben dem Verlauf und der Dicke der Sedimente visualisiert Geomol 17 auch Stellen, an denen Brüche auftreten. Die Lage solcher Störungszonen ist ebenfalls ein wichtiges Kriterium bei der Standortwahl für unterirdische Bauvorhaben wie etwa Tiefenbohrungen: «Anhand des 3D-Modells kann man sich beispielsweise überlegen, wie Wasser durch diese Brüche fliesst, was für geothermische Vorhaben sehr wichtig ist», sagt der Geothermie-Experte Gunter Siddiqi vom Bundesamt für Energie.

Während frühere Darstellungen nur eine Handvoll dieser Störungen zeigten, kartiert Geomol 17 nun die Lage von etwa 600 solcher Bruchzonen. «In dieser Hinsicht ist dieses Projekt unglaublich wichtig für die Schweiz», so Siddiqi.

Für die Modellierung von Geomol 17 ermittelten die Geologen keine neuen Daten, sondern konsolidierten viele tausend schon vorhandene Datensätze aus verschiedenen Quellen, insbesondere von der Firma Seag, die seit den 50er Jahren Erdöl- und Erdgasexploration in der Schweiz betreibt, sowie von der Nagra, die seit vielen Jahren geologische Abklärungen zur unterirdischen Lagerung radioaktiver Abfälle durchführt.

Daten dank Bohrungen und Beben

Ebenfalls eingebunden wurden Messungen von weiteren privaten Unternehmen, Forschungsprojekten und topografischen Karten. «Am aufwendigsten war es, alle diese zum Teil sehr alten Daten auf einen

Unterhaltung in der stillgelegten Salzmine: In der rumänischen Stadt Turda befindet sich seit einigen Jahren ein Bergbaumuseum mit spektakulärer Beleuchtung. Bild: Getty Images/Luxy Images

«Wir haben massenhaft Papiere eingescannt.»

Robin Allenbach

einheitlichen Stand zu bringen», so Allenbach, «wir haben massenhaft Papiere eingescannt und weiterverarbeitet.» Um diese Fülle an Material zu bewältigen, übernehmen neben Swisstopo auch das Geologische Museum des Kantons Waadt sowie die Universitäten Genf, Freiburg, Bern und Basel jeweils einen Teilabschnitt.

Wesentliche Informationen über die Struktur des Untergrunds erhielten sie dabei durch die neue Auswertung von Daten aus früheren Bohrungen: Hier liess sich anhand der Bohrkerns oder durch das zerkleinerte Material, das an der Oberfläche analysiert wurde, nachvollziehen, wie die darunter liegenden Gesteinsschichten beschaffen sind.

«Stellenweise haben wir in der Schweiz dadurch ein sehr gutes Verständnis des Untergrunds, aber eben leider nur an wenigen Punkten», sagt Gunter Siddiqi. Denn eine solche Exploration des Untergrunds ist teuer und aufwendig - und dementsprechend rar: Bis jetzt gab es in der Schweiz nur 165 Bohrungen in Tiefen von mehr als 500 Metern, was etwa vier Bohrungen pro 1000 Quadratkilometer entspricht.

Nicht ganz so selten sind dagegen seismische Messungen, die allerdings nur indirekte Hinweise liefern: Hierfür erzeugen Geophysiker mit Hilfe von Vibratoren oder Sprengungen künstliche Erschütterungen im Boden. Anhand der Geschwindigkeit, mit der sich diese Erschütterungen wellenförmig durch den Untergrund bewegen, berechnen Geologinnen dann die Struktur der darunter liegenden Gesteinsschichten. «Mit aufwendiger 3D-Seismik lassen sich mittlerweile Bruchzonen in einer sehr guten Auflösung von Dutzenden bis Hunderten Metern darstellen», sagt Marco Herwegh, Professor für Strukturgeologie an der Universität Bern.

Auch seismische Wellen, die durch natürliche Erdbeben ausgelöst werden, können für die Kartierung des Untergrunds verwendet werden. So hat das Projekt Alarray, das von der ETH Zürich und der Universität Lausanne koordiniert wird, in den letzten Jahren ein Netz von 600 Seismografen im Alpenraum und im Mittelmeer

platziert, die selbst die leichtesten Erschütterungen von schwachen Erdbeben registrieren.

Suche nach Heisswasserflüssen

Trotz Projekten wie Alarray gibt es noch keine umfassende 3D-Modellierung des Untergrunds unter den Alpen - obwohl dies durchaus wünschenswert wäre: So vermuten Expertinnen zum Beispiel, dass es im Alpenraum zahlreiche unterirdische Heisswasserflüsse gibt - davon zeugen die vielen Thermalquellen im Wallis. Natürlich vorkommende heisse Wasser sind eine günstige Voraussetzung für die geothermische Stromerzeugung (siehe auch Kasten rechts). Deshalb versuchen Geologen, den Weg des Thermalwassers unter den Alpen zu rekonstruieren: Hierfür bestimmen sie mit Hilfe chemischer Analysen, wie alt das Wasser ist und durch welche Gesteinsarten es geflossen ist. «Doch woher genau in den Alpen dieses Wasser kommt, ist immer noch eines der grössten geologischen Rätsel der Schweiz», sagt Siddiqi.

Dennoch sind die ersten Schritte für ein 3D-Modell des Alpenuntergrunds schon gemacht: So arbeitet etwa der Strukturgeologe Herwegh mit seiner Forschungsgruppe zurzeit an einem Modell des Aarmassivs. Zusätzlich zu den verfügbaren seismischen Daten analysiert er hierfür auch die Schichten und Brüche der sichtbaren Gesteinsformationen. Diese schneiden die Erdoberfläche entlang bestimmter Schnittlinien, welche die Forschenden von der Oberfläche her in die Tiefe projizieren. So können sie vorhersagen, wie die Gesteine sich unterirdisch fortsetzen. Herwegh ist überzeugt, dass sich die Arbeit, die Geologen in die Erstellung von 3D-Modellen investieren, in Zukunft auszahlen wird: «Die Modelle generieren Hinweise, wo man mit guten Erfolgchancen geothermische Bohrungen platzieren kann - eine hundertprozentige Garantie gibt es allerdings nie, und das macht die ganze Sache so spannend.»

Yvonne Vahlensieck ist freie Wissenschaftsjournalistin in der Nähe von Basel.

Strom aus der Tiefe durch CO₂

In der Schweiz dienen Erdwärmesonden von höchstens wenigen hundert Meter Tiefe zum Heizen von Häusern. In Zukunft könnte dank Erdwärme auch Strom produziert werden. Geologen sind auf der Suche nach unterirdischen Thermalflüssen. Deren heisses Wasser soll an die Oberfläche gepumpt werden und dort direkt oder über einen Wärmetauscher eine Turbine antreiben.

In Island, wo heisses Wasser aufgrund des vulkanischen Untergrunds nahe an der Oberfläche fliesst, wird so schon erfolgreich Strom erzeugt. «Bei uns müsste man allerdings im Schnitt vier Kilometer tief gehen, um 100 bis 120 Grad heisses Wasser zu finden, was es für herkömmliche Technologien braucht», sagt Gunter Siddiqi vom Bundesamt für Energie. Wie Pilotprojekte in Basel und St. Gallen gezeigt haben, können solche Tiefenbohrungen jedoch möglicherweise Erdbeben auslösen. Und sie sind sehr aufwendig und teuer.

Gesucht sind deshalb Techniken, um auch aus geringeren Tiefen effizient Strom zu produzieren. Eine Idee dazu stammt von Martin O. Saar von der ETH Zürich. Er möchte dazu unterirdische Kohlendioxid-Lagerstätten nutzen, wie sie etwa in den USA schon jetzt existieren und dort die CO₂-Emission von grossen Kraftwerken und Fabriken um über 90 Prozent vermindern. Saar glaubt, dass solche Lager in naher Zukunft auch in der Schweiz entstehen werden. Das gelagerte Gas würde sich dabei schon ab etwa 2,5 Kilometer Tiefe auf etwa 80 Grad aufwärmen.

«Wir könnten dieses geothermisch erwärmte CO₂ kurzfristig an die Oberfläche holen, um Strom zu erzeugen, und es dann wieder nach unten pumpen, wo es letztendlich permanent eingelagert wird», sagt Saar. «Aufgrund der physikalischen Eigenschaften von CO₂ liesse sich damit doppelt so effizient Strom produzieren, als es mit Wasser bisher möglich ist - und das bei geringeren Temperaturen, in geringeren Tiefen und wirtschaftlich.» Saar hofft darauf, bald Gelder für eine Pilotanlage zu finden.

Hommage an die Zeche: Andreas Gursky setzt die Ausrüstung der Minenarbeiter in Szene, die diese bis zur Stilllegung des Bergwerks Ost in Hamm (D) zum Trocknen aufhängten. Bild: Andreas Gursky/Pro Litteris, Bonn 2018, Courtesy Sprüth Magers



Das fantastische Reich

Bunker, Schutzräume, Tunnel: Die Schweiz gräbt unablässig und bewahrt ihre Mythen im Untergrund. Eine Führung mit André Ourednik, Geograf und Science-Fiction-Autor.

Von Nic Ulmi

Einerseits befasst sich André Ourednik wissenschaftlich mit dem bewohnten Raum und ist Lehrbeauftragter an der EPFL sowie an der Universität Neuenburg. Andererseits ist er Autor von Science-Fiction-Romanen, die oft im Erdreich spielen. Horizonte machte sich im Gespräch mit dem Geografen mit tschechischen Wurzeln auf zu einer Entdeckungsreise in diese gleichzeitig konkrete und mystische Welt unter Tage.

André Ourednik, wie erleben Sie die Beziehung der Schweiz zu ihrem Untergrund?

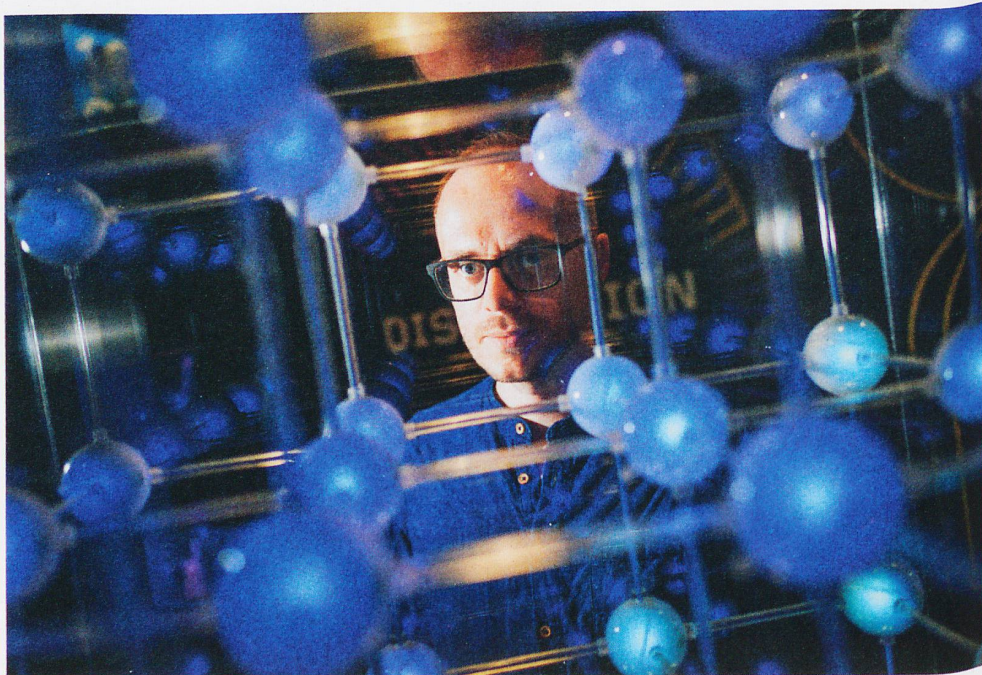
Erstens: Der Untergrund ist ein Stück nationale Identität. Der Ursprung dafür liegt in der Fähigkeit der Schweiz, Tunnel zu graben. Beispielsweise wird gerne betont, dass unsere Tunnel die längsten seien. Nur stimmt das nicht: Der Gotthard ist zwar der längste Eisenbahntunnel für Personentransporte unter einem Berg. Der längste Tunnel an sich aber ist die Linie 3 der Metro im chinesischen Guangzhou. Doch davon spricht dort niemand. Den Chinesen ist es egal, weil Tunnel nicht Teil ihres Nationalmythos sind.

«Den Chinesen ist es egal, weil Tunnel nicht Teil ihres Nationalmythos sind.»

Die Schweizer Obsession für Tunnel hat auch wirtschaftliche Aspekte. Das Land will Know-how exportieren, einen Marktwert beweisen. Wie beim Bau unterirdischer Schutzräume gegen Atomangriffe während des Kalten Krieges: Er war durch das Lobbying der Zementindustrie im Parlament gefördert worden. Sie machte sich für ein Obligatorium der Schutzunterkünfte stark.

Das Reduit im Zweiten Weltkrieg war nicht als Unterkunft für die Zivilbevölkerung bestimmt. Trotzdem glaubte sie daran. Zu Unrecht?

Der Untergrund verkörpert zwei übersinnliche Welten. Einerseits steht er seit



Vom Übersinnlichen im Unterirdischen – Schriftsteller André Ourednik erklärt, warum die Welt unter unseren Füßen gleichsam albraumhaft und schöpferisch ist. Bild: Alain Wicht/La Liberté

der Epoche der Sumerer für das Totenreich und einen Ort, an dem nur überlebt, wer Gott oder Held ist, wie Gilgamesch, Amun-Re oder Orpheus. Andererseits wird er als Ort der Bewahrung der Schöpfung gesehen, aus dem eine neue Gesellschaft hervorgehen wird, sobald sich die Lage auf der Welt wieder aufhellt.

Im Alltag ist diese Vorstellung zum Beispiel in der Westschweiz mit dem Brauch des Carnotzet präsent, einem ausgebauten Weinkeller, der zu einem geselligen Rückzugsort wird. Abgeschnitten von der Aussenwelt und umgeben von Freunden schafft man sich eine eigene kleine Welt.

Im Extremfall führt ein solches Setting jedoch zu einer besonderen Form der Klaustrophobie, die etwa in U-Booten entsteht und allgemein an Orten, wo mehrere Personen lange eingeschlossen sind: Reizbarkeit, Besessenheit, Paranoia. Das ist der Albtraum vom nie endenden Tunnel.

Nach den Alpentunnel, dem Reduit und den Atomschutzräumen findet die spezielle Beziehung der Schweiz zu ihrem Untergrund heute ihre Fortsetzung mit Projekten zur Datenspeicherung.

Tatsächlich ist die Schweiz heute im Markt der Datensicherung sehr aktiv. Zum Beispiel mit dem Tessiner Unternehmen Dataverna, das einen Teil der Galerien, über die der Gotthard-Basistunnel während der Bauzeit versorgt wurde, gekauft hat und dort Server installieren will.

Seit Kurzem wird mit dem Begriff «Data Mining» die Bewirtschaftung und Auswertung von Daten bezeichnet. Fast scheint es, als ob diese Metapher Realität würde.

Einerseits scheint sich diese Metapher tatsächlich zu konkretisieren. Sie können das aber auch andersherum betrachten: Die materielle Dimension der Dinge,

ergänzt durch althergebrachte Vorstellungen und Bräuche, bestimmt unsere Denkweise. Das zeigt sich in kleinen Dingen: Die Anordnung der Buchstaben auf der Computertastatur widerspiegelt die früheren Schreibmaschinen, bei denen gewisse Buchstaben bei zu geringem Abstand zu verklemmen drohten.

Traditionelle gesellschaftliche Praktiken prägen über die Stofflichkeit der Dinge weiterhin unseren Geist und unser Verhalten. Der Einfluss dieser Prägung kommt auch beim Tunnel zum Ausdruck. Ich arbeite für das Projekt Postcarworld an der EPFL, das die Hypothese einer autofreien Welt erkundet.

Dabei wird bald klar: Der 2016 in einer Volksabstimmung beschlossene Bau einer zusätzlichen Röhre durch den Gotthard wird uns in gewisser Weise zwingen, dieses Werk zu amortisieren. Der Tunnel wurde gebaut, weil es Autos gibt, und umgekehrt werden die Leute weiterhin lange Strecken im Auto zurücklegen, weil diese Möglichkeit besteht.

Die Logik, die dazu geführt hat, dass unsere Vorfahren Löcher in die Alpen gruben, ist ins Stoffliche gemeisselt und hat Bestand. Was uns zu einem letzten wichtigen Aspekt der Vorstellungen über das Reich unter Tage bringt: Die Welt kann sich verändern, aber die Materie bleibt, und was dort in Stein gemeisselt wurde, kann plötzlich wieder zum Vorschein kommen.

Wie die 7000 Tonnen Munition, die im Zweiten Weltkrieg im Munitionslager Mitholz im Berner Oberland versteckt wurden und 1947 mit fatalen Folgen detonierten – und wo noch immer ein Explosionsrisiko besteht.

Oder wie die Dokumente der Geheimarmee P26, die im Musée Résistance Suisse in Gstaad liegen. Das Museum wurde im November 2017 in Anwesenheit von Bundesrat Ueli Maurer genau in demjenigen Bunker eingerichtet, in dem diese Armee ihr Ausbildungszentrum hatte. Die Archivbestände über diese Organisation hat der Bundesrat für geheim erklärt. Diese war dafür zuständig, im Falle einer Invasion durch den Warschauer Pakt den Widerstand zu orchestrieren. 2041 werden die Akten aber offengelegt.

Unter der Erde haben wir also nicht nur unsere Erinnerungen eingebunkert, sondern auch vergangene Pläne und Kämpfe gegen einen mehr oder weniger mythischen Feind, der nicht mehr existiert. Im Fantasiereich des Untergrunds kann dieses Szenario jedoch wieder zum Leben erweckt

werden, ähnlich wie der Panzer im Film «Underground» von Emir Kusturica, der lange nach dem Zusammenbruch von Jugoslawien aus einem Tunnel kommt, noch immer auf Krieg programmiert ist und sich einen Feind sucht.

Sie haben in Ihrem literarischen Werk unterschiedlichste Arten von Untiefen ausgelotet.

Ein erstes Mal in meiner Novelle «Naufrage», in der die Figuren in einem Schiff durch Wassertunnel durch die unterirdische Schweiz reisen. Die Idee geht auf zwei nationale Mythen zurück: die Schweiz als einzige Verbindung durch die Alpen und das Reduit, das alpine Festungssystem, das die Verteidigung des Landes im Zweiten Weltkrieg sicherstellen sollte.

«Der Untergrund verkörpert zwei übersinnliche Welten: das Reich der Toten, aber auch einen Ort der Schöpfung.»

Eine weitere Inspirationsquelle für diesen Text war die 1952 erschienene Novelle «Der Tunnel» von Friedrich Dürrenmatt. Der Protagonist reist im Zug von Bern nach Zürich, fährt in einen Tunnel, die Zeit geht vorbei, und plötzlich realisiert er, dass der Zug nach einer Stunde noch immer nicht am Tageslicht ist.

In meiner Novelle nehmen die Dinge ebenfalls einen düsteren Verlauf: Eine Wand stürzt ein – etwa so, wie wenn das Gerüst der idealen Schweiz zerbröckeln würde –, und das Schiff wird durch einen Wasserfall weggespült, in ein Loch, ähnlich wie bei Jules Verne. Die Besatzung gelangt dann in einen unterirdischen Raum, in dem Soldaten vergangener Epochen leben, von Winkelried bis General Guisan, versteckt und bewahrt im Schweizer Reduit.

Die ganze Szenerie in Ihrem Roman «Les cartes du boyard Kraïenski» spielt ebenfalls unter Tage.

Der Roman erzählt die Geschichte eines Schweizer Kartografen, der den Auftrag erhält, die Ostgrenze Europas festzulegen. Der Kartograf kommt in die Burg eines Bojaren, irgendwo in der Nähe der Ukraine, wo er eine Sammlung von alten Karten scannen muss, um den genauen Verlauf der Grenze zu bestimmen. Doch die Karten

widersprechen sich, sie stimmen nicht miteinander überein, und ausserdem senkt sich die Burg langsam in den Untergrund.

Hier interessieren mich zwei Themen. Das eine hat mit einem Zweig der Geoinformationssysteme zu tun, die man als Geodäsie bezeichnet. Diese beschäftigt sich damit, die Koordinaten bestimmter Punkte auf der Erde regelmässig auszumessen. Diese Bezugspunkte wandern relativ schnell: Die Kontinentaldrift beträgt bis zu 10-15 Zentimeter pro Jahr, was immerhin rund 2 Kilometer seit der Gründung Jerichos entspricht. Ich bin fasziniert von der Unbeständigkeit des Bodens durch die Bewegung der tektonischen Platten. Die Grenzen bewegen sich nicht nur historisch, sondern auch geologisch unter dem Einfluss dieser Tiefenbewegung, was eine grundlegende Instabilität jedes Bezugssystems zur Folge hat.

Das andere Thema wird in der absinkenden Burg deutlich. Irgendwann geht der Protagonist ins Untergeschoss und entdeckt, dass sich die älteren Schichten des Schlosses im Lehm auflösen. Er wird damit konfrontiert, dass die Erde die oberirdisch geschaffene Realität verschlingen kann, dass jedes menschliche Projekt früher oder später wieder in dieser unbestimmten Masse aufgeht.

Sie verbinden ausserdem das fantastische Reich der Unterwelt mit der Welt der Megadaten.

Mein neuester Roman «Omniscience» aus dem Jahr 2017 spielt wieder unter der Erde, in einer Höhle, in der unbegrenzte Datenmengen in flüssiger Form gespeichert sind und wo Taucher narrative Fäden weben, während sie in dieses riesige Becken eintauchen.

Ein weiterer Roman wird bald erscheinen, ein Text, der im Zusammenhang mit der Arbeit «Atomik Submarine» des Künstlers François Burland steht. Er hat ein 18 Meter langes Modell eines sowjetischen U-Boots gebaut, das die Angst vor dem roten Feind verkörperte. In der Schweiz der 1970er und 1980er Jahren fürchteten die Menschen, dass dieser Feind jederzeit irgendwo auftauchen könnte.

In diesem Roman befinden wir uns wieder unter der Erde und treffen auf Gabi I und Gabi II – die Namen zweier Tunnelbohrmaschinen, die den neuen Gotthardtunnel gruben –, die weiter bohren, ohne dass wir wissen, warum. Sie sehen, das Wühlen geht weiter.

Nic Ulmi ist freier Journalist und wohnt in Genf.