



Berg Huettenmaenn Monatsh (2020) Vol. 165 (12): 631–638  
<https://doi.org/10.1007/s00501-020-01026-6>  
 © Der/die Autor(en) 2020

**BHM** Berg- und  
 Hüttenmännische  
 Monatshefte

# Wiederverwertung ausgehobener Molasse basierend auf geologischer Untergrundmodellierung für den geplanten 100 km Teilchenbeschleuniger-Tunnel am CERN nahe Genf, Schweiz

Maximilian Haas<sup>1,2,3,4</sup>

<sup>1</sup>European Organization for Nuclear Research (CERN), Meyrin, Schweiz

<sup>2</sup>Subsurface Engineering, Montanuniversität Leoben, Leoben, Österreich

<sup>3</sup>Geo-Energy Reservoir Geology and Sedimentary Basin Analysis, Université de Genève, Genf, Schweiz

<sup>4</sup>Prévessin-Moëns, Frankreich

Eingegangen 24. September 2020; angenommen 29. September 2020; online publiziert 15. Oktober 2020

**Zusammenfassung:** Das CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire bzw. European Laboratory for Particle Physics) ist eine weltweit führende internationale Forschungseinrichtung auf dem Gebiet der Hochenergie- und Teilchenphysik. Die Erforschung der grundlegenden Bausteine des Universums und ihrer Interaktionen lieferte in den vergangenen Jahrzehnten bahnbrechende Erkenntnisse, die im experimentellen Nachweis des Higgs-Boson im Juli 2012 gipfelten. Um die in diesem Zusammenhang erforschten Erkenntnisse weiter zu vertiefen und noch unbeantwortete Fragen nach dem Ursprung und der Funktion des Universums zu beantworten, hat eine internationale Gemeinschaft von über 150 Instituten weltweit am CERN eine Studie für ein Forschungsprogramm mit einer neuen, leistungsfähigeren Teilchenbeschleunigerinfrastruktur initiiert. Die Future Circular Collider (FCC) Studie schließt die dafür erforderlichen unterirdischen Tunnel, Kavernen und Schächte und die damit verbundenen Konstruktionen an der Oberfläche mit ein. Die Infrastruktur ist so ausgelegt, um im Zusammenschluss mit den bereits bestehenden Teilchenbeschleunigern am CERN (z. B. PSB, PS, SPS, LHC) zu funktionieren. Im Rahmen des Projekts wurden seit 2014 die ersten technischen Machbarkeitsstudien in den verschiedensten Gebieten, unter anderem Geologie und Konstruktion des Tunnels, der sich über ca. 100 km im teils westschweizerischen und teils französischen Molassebecken erstreckt, durchgeführt, sodass FCC nach derzeitigem Planungsstand um das Jahr 2040 in Betrieb gehen kann. Im Zuge dessen ist ein geologisches Untergrundmodell uner-

lässlich, um einen sicheren Bau unterirdischer Infrastruktur zu gewährleisten und die Baumethode auf die Geologie abzustimmen. Ein entscheidender Faktor neben dem geologischen Modell ist die Wiederverwertbarkeit des ausgehobenen Molasse-Materials mit einem Volumen von etwa 9 Mio. m<sup>3</sup> sowohl aus technischer als auch rechtlicher, gesellschaftspolitischer und sozio-ökonomischer Sicht. Dieser Artikel soll einen Einblick in diese beiden Machbarkeitsstudien des FCC Projekts geben, sowie Ansätze der geologischen, petrophysikalischen, geotechnischen und mineralogisch-chemischen Analysen präsentieren, die zur Beantwortung der Wiederverwertung dienen und in weiterer Folge in das geologische Untergrundmodell einfließen werden.

**Schlüsselwörter:** Molasse, Klassifizierung, Wiederverwertung, CERN

**Re-use of Excavated Molasse Based on Subsurface Geological Modelling for a 100 km Particle Accelerator Tunnel at CERN near Geneva, Switzerland**

**Abstract:** CERN (European Laboratory for Particle Physics or Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire) is a world-leading international research institution in the field of high-energy and particle physics. During the past decades, research about the fundamental building blocks of the universe and their interactions has provided groundbreaking insights, culminating in the experimental detection of the Higgs boson in July 2012. In order to further deepen the knowledge and to answer yet unanswered questions about the origin and function of the universe, an international consortium of more than 150 institutes worldwide has initiated a study at CERN for a research

Dipl.-Ing. M. Haas, B.Sc. (✉)  
 Chemin Du Mail 97,  
 01280 Prévessin-Moëns, Frankreich  
 maximilian.mathias.haas@cern.ch

programme involving a new, more powerful particle accelerator infrastructure. The Future Circular Collider (FCC) study includes the necessary underground tunnels, caverns and shafts and the associated surface sites. The infrastructure is designed to work in accordance with existing particle accelerators at CERN (e.g. PSB, PS, SPS, LHC). Since 2014, the project has carried out first technical feasibility studies in a wide range of areas, including geology and tunnelling construction, which extends over ca. 100 km in the Molasse Basin, across both western Switzerland and France. According to current planning, FCC will be operational around 2040. With respect to these feasibility studies, a geological subsurface model is essential to ensure safe construction of underground infrastructure and to adapt excavation methods to the geology. In addition to the geological model, potential re-use of the excavated molasse material, which has a volume of around 9 million m<sup>3</sup> proves to be an essential technical, legal, socio-political and socio-economic factor. This article intends to provide first insights into the geological, petrophysical, geotechnical and mineralogical-chemical analyses, which will be used to answer the question of molasse re-use and will subsequently be incorporated into the geological underground model.

**Keywords:** Molasse, Rock mass characterisation, Re-use, CERN

## 1. Einleitung

Die Wiederverwendung von Tunnelausbruchmaterial ist aus ökologischen und ökonomischen Gründen zu einem entscheidenden Faktor in unterirdischen Bauprojekten geworden. Technische Machbarkeit und gesetzliche Rahmenbedingungen sind die beiden Hauptelemente, um diesen Sektor der Kreislaufwirtschaft umsetzbar zu machen. Bau- und Abbruchabfälle machen heute etwa ein Drittel des Gesamtabfallaufkommens in der Europäischen Union (EU) mit einer Wiederverwendungsrate von durchschnittlich 46% aus [1, 2]. Von nationalen Gesetzen gefordert, birgt die in Einklang mit der Natur und ökonomisch vertretbare Lösungssuche jedoch politische, rechtliche und technische Hürden in sich. Nach heutigem Stand wird Aushubmaterial als Abfall deklariert, was eine effiziente Wiederverwendung erschwert. Diverse Initiativen der EU und nationaler Organisationen (z. B. CETU und AFTES in Frankreich, GESDEC in der Schweiz, ÖBV in Österreich) haben dazu geführt, dass organisatorische und technische Richtlinien für die Wiederverwendung von Aushubmaterial in den letzten zwei Jahrzehnten entstanden sind. Eine sich verbessernde Situation hin zu einer einheitlichen europäischen Gesetzgebung fehlt [3].

Eine Vorreiterrolle nehmen die Staaten Schweiz, Frankreich und Österreich ein, die mit ihren großen Tunnelbauprojekten und unterschiedlichsten geologischen Formationen zu innovativer Lösungssuche gefordert sind. Die beiden erstgenannten Staaten sollen zukünftig den Unter-

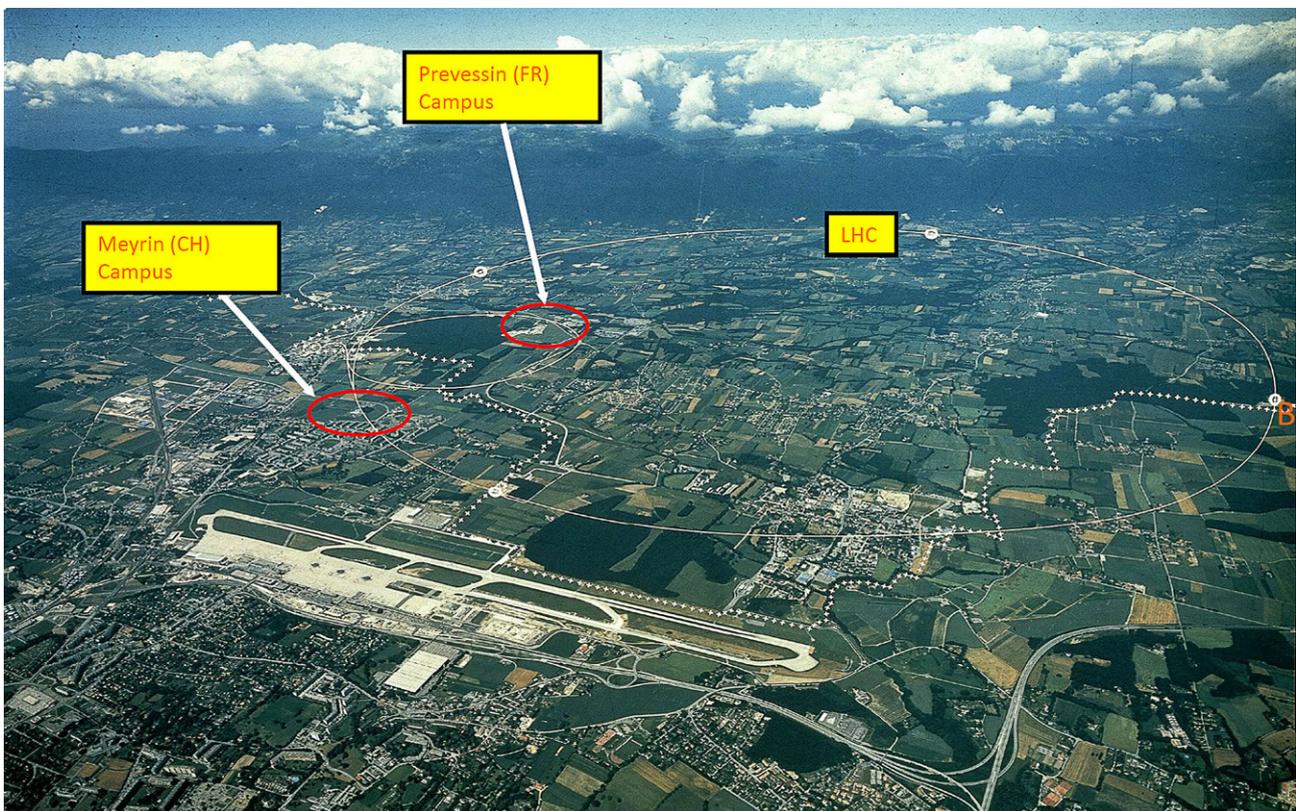


Abb. 1: Blick vom Genfer See aus auf die Hauptstandorte des CERN in der Schweiz (CH) und Frankreich (FR) und des im Untergrund verlaufenden LHC-Teilchenbeschleunigers

grund für den größten Teilchenbeschleuniger der Welt am CERN nahe Genf beherbergen. Er soll nicht nur das Standardmodell der Physik, sondern auch die Verwertbarkeit von etwa 9 Mio. m<sup>3</sup> Aushubmaterial mit großem Molasse-Anteil in einem neuen, verbesserten geologischen Untergrundmodell revolutionieren. Da für dieses Material nach heutigem Stand der Technik keine ökonomisch relevante Wiederverwertungstechnologie im Einsatz ist, wurde im September 2018 ein Forschungsprojekt im Rahmen eines Dokorats am CERN in Zusammenarbeit mit der Montanuniversität Leoben, Österreich und der Université de Genève, Schweiz initiiert, über das in diesem Artikel berichtet werden soll.

## 2. CERN und die Future Circular Collider Studie

Das CERN erstreckt sich am Fuße des Genfer Sees auf schweizerischem (Meyrin, Kanton Genf) sowie französischem (Prévessin-Moëns, région Auvergne-Rhône-Alpes) Terrain und betreibt den derzeit mit 27 km Länge größten Teilchenbeschleuniger, den Large-Hadron-Collider (LHC) (siehe Abb. 1). Mit mehr als 3500 Wissenschaftlern vor Ort und über 10.000 weltweit stellt er eine der größten Forschungsinfrastrukturen überhaupt dar. Ab dem Jahr 2040 könnte ein 100 km langer neuer Teilchenbeschleuniger, dessen Projektname derzeit noch als Future Circular Collider (FCC) [4, 5] betitelt wird, in Betrieb gehen, um einer weltweiten Gemeinschaft von Wissenschaftlern ein Forschungsprogramm bis zum Ende des 21. Jahrhunderts zu ermöglichen. Hierfür müssen in den geologischen Formationen des lokalen Molassebeckens ein etwa 100 km langer, kreisförmiger Tunnel sowie 18 Schächte und 14 Kavernen gebaut werden (siehe Abb. 2). Im Jahr 2022 sollen erste Erkundungsbohrungen entlang der aktuellen Trassenwahl abgeteuft werden, die, zusammen mit bestehenden geologischen Daten wie Aufschluss- und Bohrprobenanalysen, seismischen Messungen und Bohrloch-Daten, ein erstes

geologisches Untergrundbild liefern. Diese Unternehmung ist Teil eines technischen Projektrisikomanagements, um Design und Umsetzungsplanung für den Bau der Infrastruktur zu optimieren.

Es soll hier ein erster Einblick in das Forschungsvorhaben gegeben und sowohl die rechtlichen Grundlagen von Wiederverwertung im europäischen und speziell französisch-schweizerischen Kontext dargelegt, als auch geomechanische, petrophysikalische sowie chemisch-mineralogische Analysen bestehender Bohrungen mitsamt Bohrloch-Logdaten für ein geologisches Modell erörtert werden.

## 3. Einblick in die Geologie

Das in Abb. 3 dargestellte Westalpine Molassebecken (WAMB), das in der Westschweiz oft als Genfer Becken oder „bassin franco-genevois“ bezeichnet wird, ist Teil des Schweizer Mittellandes und durch den Salève im Südosten und den Jura im Nordwesten begrenzt. Diese markanten geologischen Erhebungen wurden durch tektonische Deformationen während der Einlagerung im Alpenvorland, den damit verbundenen Vergletscherungen des Pleistozäns und nacheiszeitlichen Prozessen beeinflusst [6, 7].

Das WAMB gliedert sich in das Alpenvorland, bestehend aus der Jurahochebene und Haute Chaîne, sowie in die alpinen Einheiten, die durch die Voralpen bzw. penninischen, subalpinen und helvetischen Decken und äußeren kristallinen Massive repräsentiert werden [8]. Die im Becken vorhandenen Gesteinseinheiten der Molasse treten entlang des Salève, der Vuache und des Jura zutage, die aus mesozoischen Sedimentgesteinen bestehen. Die mesozoische Abfolge beginnt mit Evaporiten an der Basis, gefolgt von einer Sukzession von Kalksteinen und Mergeln, die zum südlichen Rand des europäischen Kontinents vor der alpinen Orogenese gehörten und auf den Tethys-Ozean zurück zu führen sind. Die mesozoische Abfolge wurde auf dem paläozoischen kristallinen Grundgebirge abgelagert. Diese zeigt grabenartige Strukturen, die mit kontinentalen,

Abb. 2: Nicht-maßstabsgetreue 3D Skizze des geplanten FCC Tunnels sowie dessen Schächte und Kavernen. (Modifiziert nach [4])

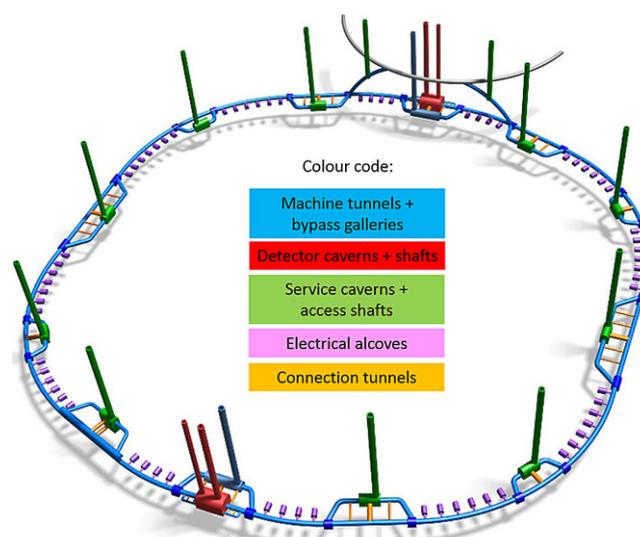
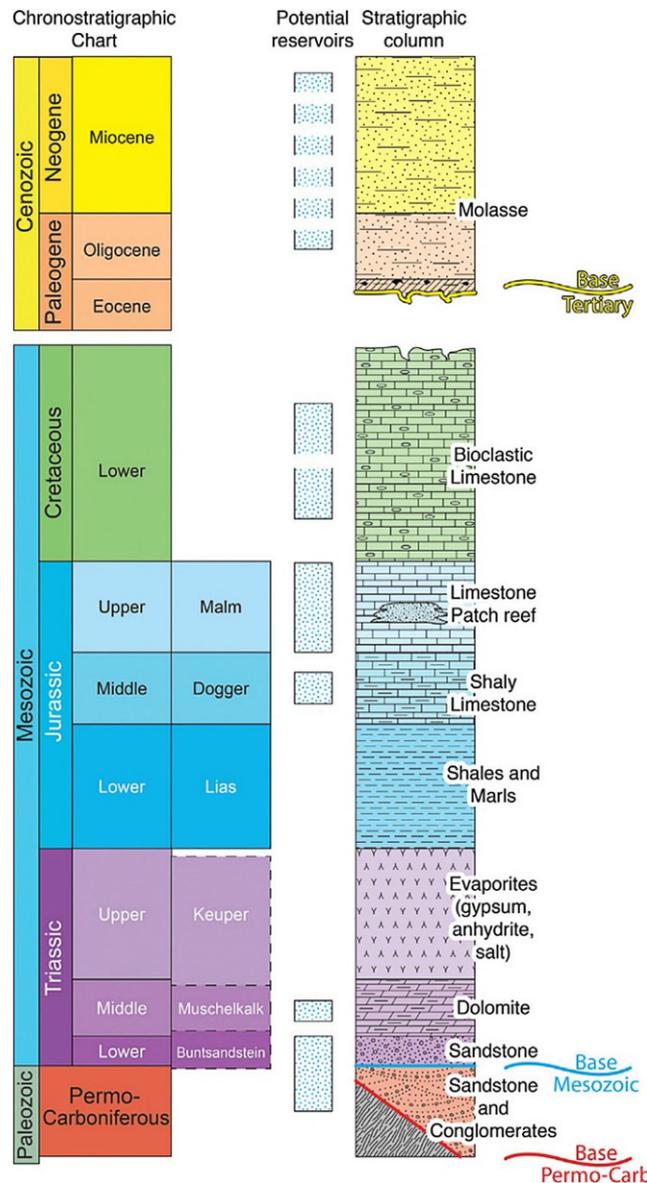


Abb. 3: Chronostratigraphische Abfolge des Molasse-Bekens in der Westschweiz und französischen Umgebung. Für das FCC-Projekt entscheidend sind die Formationen des Känozoikums (Molasse). (Modifiziert nach [7])



siliziklastischen Sedimenten während des Perm und Karbon im Anschluss an die variszische Orogenese gefüllt waren [9]. Die obersten Einheiten der mesozoischen Sequenz weisen auf eine ausgedehnte, erosive Oberfläche hin, die sich während der Hebung des Vorlandbeckens durch Komprimierung des Alpengürtels bildeten. Oberhalb der Erosionsoberfläche wird oligozäne, heterogene, siliziklastische Molasse von quartären glazialen bis fluvialen Ablagerungen überlagert. Die Molasseeinheiten wurden während der alpinen Orogenese als Detritalformationen abgelagert [10] und repräsentieren die von der FCC angestrebte Bautiefe bis in 250 m Tiefe.

#### 4. Legale Aspekte der Wiederverwertung von Tunnelausbruchmaterial

In den Jahren 2000 bis 2010 schlug die Europäische Union (EU) eine klare Richtung für eine effiziente Wiederverwendung von Ressourcen ein, was zu einer verstärkten Einführung von nationalen Gesetzen und Richtlinien in diesem Zeitraum führte. Rechtliche Überlegungen und gesetzliche Verabschiedungen florierten, doch die daraus resultierende Heterogenität und mangelnde Kommunikation der Gesetzgeber untereinander sind noch bis heute eines der Schlüsselthemen, die es für eine effiziente Wiederverwertung zu beseitigen gilt.

Das Abfallkonzept der Europäischen Union ist in der Abfallrahmenrichtlinie 2008 definiert und legt Maßnahmen zum Schutz der Umwelt fest [11]. Gesteins- und Bodenaushub sind Teil des Abfallregimes und unterliegen damit der Gültigkeit des Abfallwirtschaftsgesetzes. Für Tunnel-

ausbruchmaterial, das nach EU-Richtlinien auf Baustellen wiederverwertet wird, ist die objektive Definition von Abfall nicht erfüllt. Um Ausbruchmaterial von Tunnelbaustellen wiederzuverwenden, ist es notwendig, das Ende des Abfallstatus zu erreichen. Abfälle können verwertet werden, wenn die gleichen Anforderungen wie an Primärrohstoffe erfüllt sind. Die Tatsache, dass das meiste Aushubmaterial nicht in einer Form zur sofortigen Wiederverwendung zur Verfügung steht und dass die Möglichkeiten der Wiederverwertung sorgfältig geprüft werden müssen, erfüllt die Definition des Ziels von Abfall. Die abfallrechtliche Terminologie wird durch Bundesregierungen und EU-Richtlinien geregelt, die in nationales Recht in den einzelnen Mitgliedsstaaten umgesetzt werden müssen. Eine umfassende Liste von europäischen Gesetzen, Richtlinien und Empfehlungen für Österreich, die Schweiz, Frankreich, Italien und die EU im Rahmen der Wiederverwertung von Gesteins- und Bodenaushub aus dem Untergrund können [3] entnommen werden.

Die Entwicklung in Richtung einer einheitlichen europäischen Gesetzgebung hat sich in den letzten fünf Jahren verbessert. Österreich, die Schweiz und Frankreich erweisen sich als Vorbilder bei der Wiederverwertung von Aushubmaterial, die durch eine solide Gesetzgebung und nationale Richtlinien untermauert ist, was durch die Tatsache, dass sich das FCC-Projekt um eine sowohl umweltfreundliche als auch ökonomisch wertvolle Wiederverwertung bemüht, unterstrichen wird. Einschränkungen für die Definition der relevanten Endverbraucher beinhalten eine mineralogische und geochemische Charakterisierung von Aushubmaterial und Boden sowie deren Positionierung in Bezug auf die

Grenzwerte für inerte Abfälle, wie sie in den verschiedenen nationalen Gesetzgebungen definiert sind. Eine Anpassung und Homogenisierung dieser Schwellenwerte wird unter den Alpenländern dringend empfohlen und könnte zu einer gemeinsamen europäischen Gesetzgebung führen, indem technische Messungen und rechtliche Ansätze standardisiert werden [3].

Im Rahmen des FCC-Forschungsvorhabens wird bereits heute an Verwertungskonzepten gearbeitet, deren zugrunde liegende Messkonzepte und Apparaturen einfach und schnell auf eine Tunnelbohrmaschine installiert und deren Messanalysen während des Materialstroms des Aushubs erste Einblicke in die zu verwertenden Möglichkeiten geben sollen. Im Zuge dessen ist auch ein Vergleich von on-line (on-site) und Laborergebnissen bezüglich Art der Vortriebsmethode sowie detaillierte geomechanische, petrophysikalische und chemisch-mineralogische Analysen von reinem oder kontaminiertem Ausbruchmaterial aus dem Untertagebau zu erstellen, die ein hochauflösendes geologisches Untergrundmodell liefern sollen.

## 5. Datenakquisition und Datenanalyse

Im Zuge der Erarbeitung eines geologischen Untergrundmodells und der Fragestellung zur potentiellen Wiederverwertung der Molasse werden entlang der möglichen FCC-Trassen Proben aus Bohrungen und Aufschlüssen chemisch-mineralogisch, geomechanisch und petrophysikalisch sowie mit weiteren in-situ-Bohrlochdaten wie geophysikalischen Logkurven, geomechanischen Tests oder

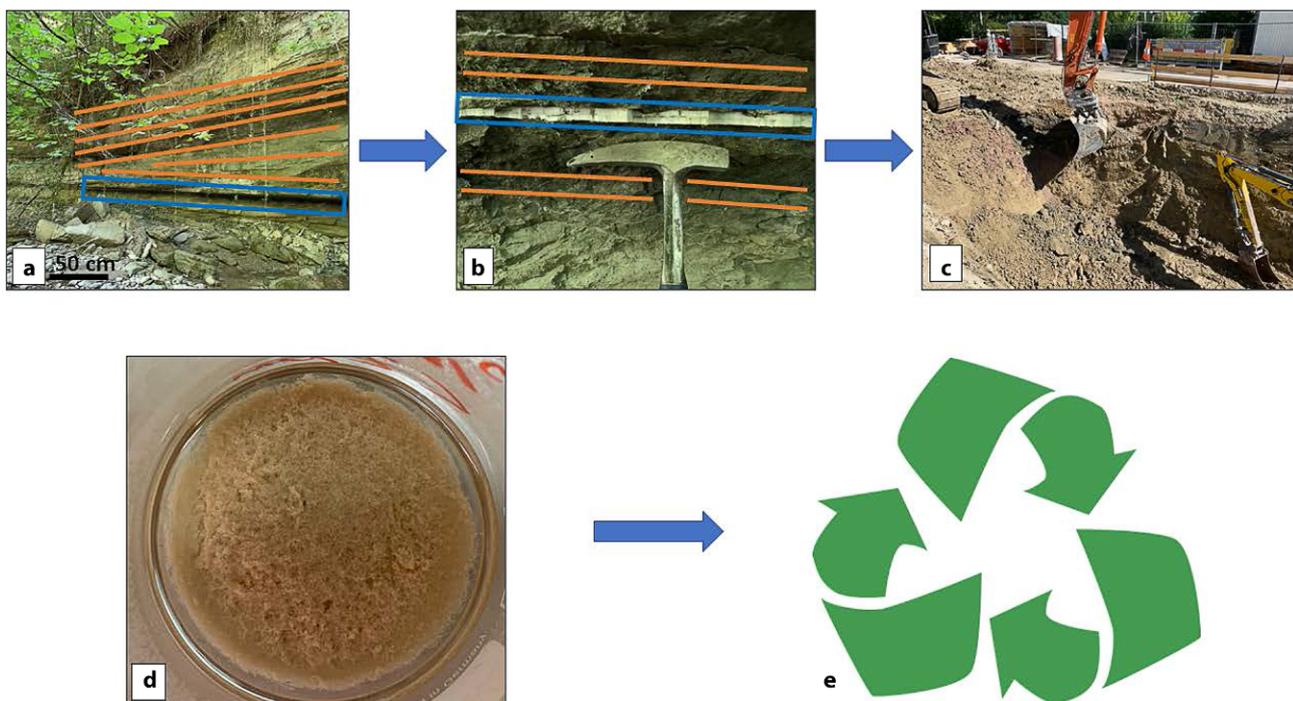


Abb. 4: Das Verfahren der Probenahme und Analyse wird gezeigt. **a** Molasse-Aufschluss entlang des zukünftigen Tunnels in Frankreich. *Orange Linien* stellen Molasse dar, *blaue Linie* heben Gipsschichten hervor (Heterogenität). **b** Nahaufnahme der Gipsschicht (*blau*) mit Molasse (*orange Linien*). **c** Probenahme in einer Baustelle nahe Genf. **d** Tonminerale, die aus Proben im Labor extrahiert wurden, um schließlich (**e**) potenziell für z. B. Geopolymere oder Ziegelherstellung wiederverwertet werden zu können

Abb. 5: Eine im Jahr 1944 durchgeführte Bohrung im FCC-Trassenbereich. Gesteinsproben in den 98 Kernboxen wurden geologisch (sedimentologisch), mineralogisch sowie geotechnisch und petrophysikalisch in Feldversuchen und Laboren untersucht



Abb. 6: Molasse-Aufschluss entlang der FCC-Trasse. Proben wurden aus dem Gesteinsverband entnommen und als vollständige Kerne oder als Plugs (kleine, zylinderförmige Proben) im Labor analysiert



seismischen Datensätzen verglichen und analysiert. Diese Tests beinhalten u. a. XRF-, XRD- und ICP-MS-Analysen, QEMSCAN®, TOC-Gehaltbestimmungen, Eluatversuche, FT-IR Spektren, Porositäts- und Permeabilitätsmessungen sowie LCPC, Cerchar, Point-Load und einaxiale Druckfestigkeitstests. Abb. 4 zeigt den Ablauf von einer genommenen Probe an einem Aufschluss in Frankreich, bis zur Extraktion von Tonmineralen und weiterer Wiederverwertung. Für eine interessante Entdeckung sorgte eine Bohrung im schweizerischen Kernlager aus dem Jahre 1944 (siehe Abb. 5), die Bohrkern exzellenter Qualität enthielt und für diverse weitere Tests verwendet werden konnte. Die Aufschlüsse – wie in Abb. 6 dargestellt – verteilen sich quer

über das gesamte Molassebecken und werden sukzessive beprobt und analysiert.

## 6. Technische Herangehensweise und erste Ergebnisse

Ein erstes Klassifizierungsmodell der Molasse-Gesteinsmasse wurde anhand von QEMSCAN®, XRF- und ICP-Datenanalysen auf Grundlage von Lithotypen und modaler Mineralogie vorgestellt. Erste Modelle zeigen, dass das Vorhandensein von Anhydrit in der Molasse Herausforderungen beim Tunnelbau darstellen könnte [12]. Die

geologische Heterogenität des Gesteins wurde durch die Verwendung elementarer mineralogischer und lithologischer Analysen überwunden, wobei die Radioaktivität von natürlich vorkommendem Uran und Thorium ermöglicht, Molasse als erste Schnellmethode zu klassifizieren.

Die Analysen zeigen Nickel- und Chromgehalte im oberen und Anhydrit im oberen und unteren Molassebereich der FCC-Konstruktionstiefen. Feinkörnige, mergelige Sandstein-Lithotypen enthalten Cr-Spinell und Serpentin. Dies ermöglicht einerseits eine Sub-Lithotyp-Klassifizierung zwischen Sandstein und Mergel. Andererseits steigen die im Serpentin enthaltenen Nickel- und Chrom-Konzentrationen mit zunehmender Tiefe und könnten somit eine Wiederverwertung aufgrund von Verschmutzung als äußerst schwierig und teuer gestalten. Die Klassifizierung schlägt eine mineralogische Brücke zu einer einheitlichen europäischen technischen Richtlinie zur Wiederverwertung von Tunnelausbruchmaterial vor. Das vorgeschlagene Klassifizierungsmodell dient als Bindeglied zur französischen und schweizerischen Gesetzgebung sowie zu einer europäischen technischen Richtlinie für eine Wiederverwertung von Tunnelausbruchmaterial auf internationalen Baustellen. Es liefert die Grundlage für zukünftige umweltfreundliche technische Vertragsmodelle aus Sicht des Auftraggebers und des Auftragnehmers unter den Bedingungen und unter dem Schutz der nationalen, europäischen und internationalen Gesetzgebung und Umwelt.

## 7. Fazit und Ausblick

Eine weltweite Zusammenarbeit von über 150 Instituten plant am CERN den weltweit größten Teilchenbeschleuniger in schweizerischem und französischem Untergrund. Der hierfür benötigte etwa 100km lange Tunnel könnte noch vor Ende des Jahrzehnts in Bau gehen und wird seit 2014 von technischen, rechtlichen und sozio-ökonomischen Machbarkeitsstudien begleitet. Dies erfordert die Entwicklung eines neuen geologischen Untergrundmodells des westlichen Molassebeckens sowie die Darstellung der Wiederverwertbarkeit von Ausbruchmaterial. Das von der EU im H2020 Rahmenprogramm für Forschung kofinanzierte Projekt FCCIS (FCC Innovation Study) beinhaltet dazu konkret ein Evaluierungsprogramm. Im Zuge dessen wurden Proben aus Bohrlöchern und Aufschlüssen entlang der derzeit verlaufenden FCC-Trassen entnommen und mineralogisch-chemisch, petrophysikalisch und geomechanisch analysiert.

Technische Einschränkungen implizieren die physikalische und chemische Charakterisierung von Ausbruchmaterial sowie deren Positionierung im Verhältnis zu den Grenzwerten für inerte Abfälle, was eine ausgefeilte Materialflussanalyse erfordert und bereits bei einer beim FCC eingesetzten Tunnelbohrmaschine zukünftig eingesetzt werden könnte. Ein Materialflussanalysekonzept, das auf einer Tunnelbohrmaschine installiert wird und On-line-Analysen durchführt, die Konditionierung, Trennung und Transport von Ausbruchmaterial zu den Endverbrauchern effizient gestaltet, könnte als innovative Lösung für den Bau zukünftiger Tunnel am Paradebeispiel FCC dienen.

Da diese vorläufigen Ergebnisse einen mineralogisch-chemischen Klassifizierungsansatz zeigten, sehen zukünftige Arbeiten vor, dass weitere Bohrungen entlang des FCC unter Berücksichtigung aller Daten in verschiedenen Bohrlöchern in Betracht gezogen werden. Diese Daten sollen kontextbezogen mit bestehenden geotechnischen Werten sowie mit neuen Messungen innerhalb desselben Untersuchungsgebiets verknüpft werden. Gegenwärtig gemessene multidisziplinäre, insbesondere geotechnische und petrophysikalische Labordaten sowie alte Archivdaten, die digitalisiert werden, sollen mit geophysikalischen Bohrlochdaten (z. B. Schall-, Widerstands-, Gammastrahlen- und Induktionslogs) verglichen werden, um daraus geotechnisch relevante Parameter abzuleiten. Solche Korrelationen müssen im Rahmen der folgenden Arbeiten ihre Genauigkeit, Glaubwürdigkeit und Zuverlässigkeit unter Beweis stellen. Neue Daten werden im Zuge der im Jahr 2022 stattfindenden Erkundungsbohrungen verfügbar sein, die das geologische Untergrundmodell sukzessive vervollständigen.

**Förderung.** This project receives funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 951754. Dieses Projekt wird im Rahmen des Horizon 2020 Forschungs- und Innovationsprogramms der Europäischen Union unter der Finanzhilfvereinbarung Nr. 951754 kofinanziert.

**Funding.** Open access funding provided by CERN (European Organization for Nuclear Research)

**Open Access** Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

## Literatur

1. European Commission: EU construction & demolition waste management protocol, Official Journal of the European Union (2016), pp. 1–22
2. Poulidakos, L.D.; Papadaskalopoulou, C.; Hofko, B.; Gschösser, F.; Cannone Falchetto, A.; Bueno, M.; Arraigada, M.; Sousa, J.; Ruiz, R.; Petit, C.; Loizidou, M.; Partl, M.N.: Harvesting the unexplored potential of European waste materials for road construction, Resources, Conservation & Recycling 116 (2017), pp. 32–44
3. Haas, M.; Galler, R.; Scibile, L.; Benedikt, M.: Waste or valuable resource—a critical European review on re-using and managing tunnel excavation material, Resources, Conservation & Recycling, 162 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105048>
4. Abada, A.; Abbrescia, M.; AbdusSalam, S.S. et al.: FCC-ee: The LEPton Collider. European Physical Journal Special Topics 228 (2019), pp 261–623
5. Offizielle Future Circular Collider Studie Homepage (CDR reports): <https://fcc-cdr.web.cern.ch/> (Zugriff: 06.10.2020)

6. Moscariello, A.: The geomorphological landscapes in the Geneva basin, In: Reynard, E. (Ed): Landscapes and Landforms of Switzerland, Cham: Springer, 2020, pp 83–96
7. Moscariello, A.: Exploring for geo-energy resources in the Geneva Basin (Western Switzerland): opportunities and challenges, Swiss Bulletin für angewandte Geologie, 24 (2019), no.2, pp 105–124
8. Chelle-Michou, C.; Do Couto, D.; Moscariello, A.; Renard, P.; Rusillon, E.: Geothermal state of the deep Western Alpine Molasse Basin, France-Switzerland, Geothermics, 67 (2017), pp. 48–65
9. Moscariello, A.; Guglielmetti, L.; Omodeo-Salé, S.; Haller, A.; Eruteya, O.; Ying Lo, H.; Clerc, N.; Makhloufi, Y.; Couto, D.D.; Oliveira, G. F.; Perozzi, L.; De Oliveira Filho, F.; Hollmuller, P.; Quiquerez, L.; Bono, C. N. D.; Martin, F.; Meyer, M.: Heat production and storage in Western Switzerland: advances and challenges of intense multidisciplinary geothermal exploration activities, an 8 years progress report, Proceedings World Geothermal Congress (2020), Reykjavik Iceland, April 26–May 2, <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:127903> (Zugriff 28.09.2020)
10. Trümpy, R.: Geology of Switzerland, a guide book, Part A: An Outline of the Geology of Switzerland, edit. by Trümpy, R., with contributions by Homewood, P.W.; Ayrton, S.; Fischer, H. Basel: Wepf, 1980
11. European Commission: Directive 2008/98/EC on waste (waste framework directive), <https://ec.europa.eu/environment/waste/framework/> (Zugriff am 17.09.2020)
12. Haas, M.; De Haller, A.; Moscariello, A.; Scibile, L.; Benedikt, M.; Gegenhuber, N.; Galler, R.: A mineralogical re-use classification model of molasse rock mass in the Geneva Basin, ISRM International Symposium Eurock 2020—Hard Rock Engineering, Trondheim, Norway, in press

**Hinweis des Verlags.** Der Verlag bleibt in Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutsadressen neutral.