

# Evakuierungssimulationen als Teil des Nachweisverfahrens im Brandschutz

Unterhalb des Bahnhofs Bern der SBB wird seit 2017 der neue unterirdische Bahnhof des Regionalverkehrs Bern-Solothurn (RBS) gebaut. Im Zentrum des anspruchsvollen Projekts steht die Integration der neuen Anlage in den bestehenden Hauptbahnhof. Entsprechend hohe Anforderungen werden an die Sicherheit gestellt. Nachweise durch die Simulation von Entrauchung und Entfluchtung zeigen, dass die Sicherheit im Ereignisfall gewährleistet ist.

Guido Rindsfuser und Mathias Kost

Der Bahnhof Bern ist nach Zürich der zweitgrösste Bahnhof der Schweiz und wichtige Drehscheibe im nationalen und internationalen Bahnverkehr. Zudem finden sich hier, im Knoten Bern konzentriert, die wichtigen Verknüpfungen zu den kantonalen und städtischen Feinverteilern im ÖV, zum Fuss- und Veloverkehr sowie eine Fülle kommerzieller Nutzungen und Dienstleistungsangebote.

Mit dem Jahrhundertprojekt «Zukunft Bahnhof Bern» wird der Knoten Bern momentan

so ausgebaut, dass er die zukünftigen Anforderungen aufgrund der prognostizierten Entwicklungen erfüllen kann. Heute stösst er betrieblich und räumlich an seine funktionalen und sicherheitsrelevanten Grenzen. Davon sind nicht nur Bahn- und Publikumsanlagen im Bahnhof betroffen, es werden neben weiteren Massnahmen an vorgelagerten bahnseitigen Anlagen auch Massnahmen im städtischen Raum erforderlich. Eine Übersicht über die im Umfeld des Bahnhofs erforderlichen Massnahmen zeigt die folgende Abbildung.

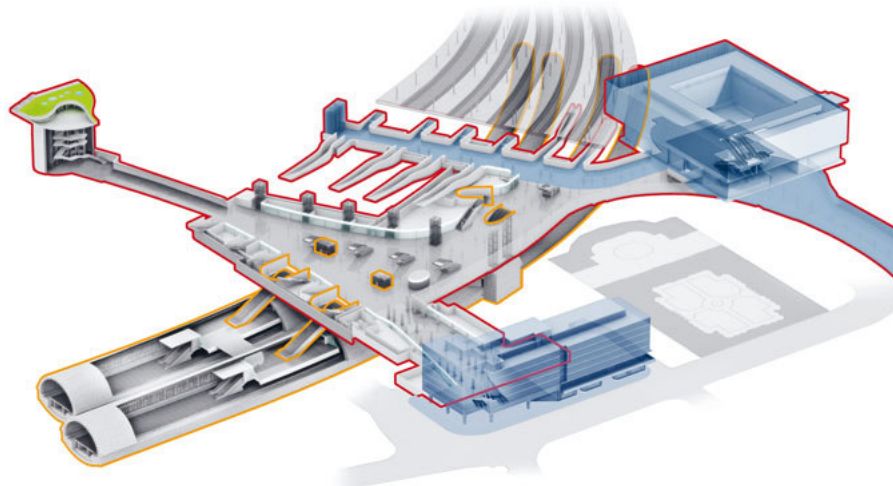


Massnahmen «Zukunft Bahnhof Bern» rund um den Bahnhof.

Die Massnahmen auf dem Bahnhofsgelände beinhalten den Neubau Bahnhof Bern RBS (orange-farbener Perimeter in nebenstehender Abbildung) und den Neu-/Umbau der Publikumsanlagen Bahnhof Bern SBB (roter Perimeter Abbildung rechts).

## Neuer Bahnhof RBS

Unter den heutigen Gleis-, Perron- und Publikumsanlagen der SBB wird der neue Bahnhof RBS als Kopfbahnhof gebaut. Zwei miteinander, durch sogenannte Verteilebenen, verbundene Kavernen beinhalten je einen Mittelperron mit entsprechenden Gleisanlagen und Zugängen. Von den Perrons erreichen die Fahrgäste über jeweils zwei Aufgänge die zwei geplanten Verteilebenen. Von dort aus verbinden je zwei Rolltreppenanlagen und je ein Lift diese Verteilebenen mit den neuen Publikumsanlagen der SBB.



Projekte «Neuer Bahnhof RBS» (orange-farbener Perimeter) und Publikumsanlagen SBB (roter Perimeter).



Visualisierung «Neuer Bahnhof RBS». © Theo Hotz

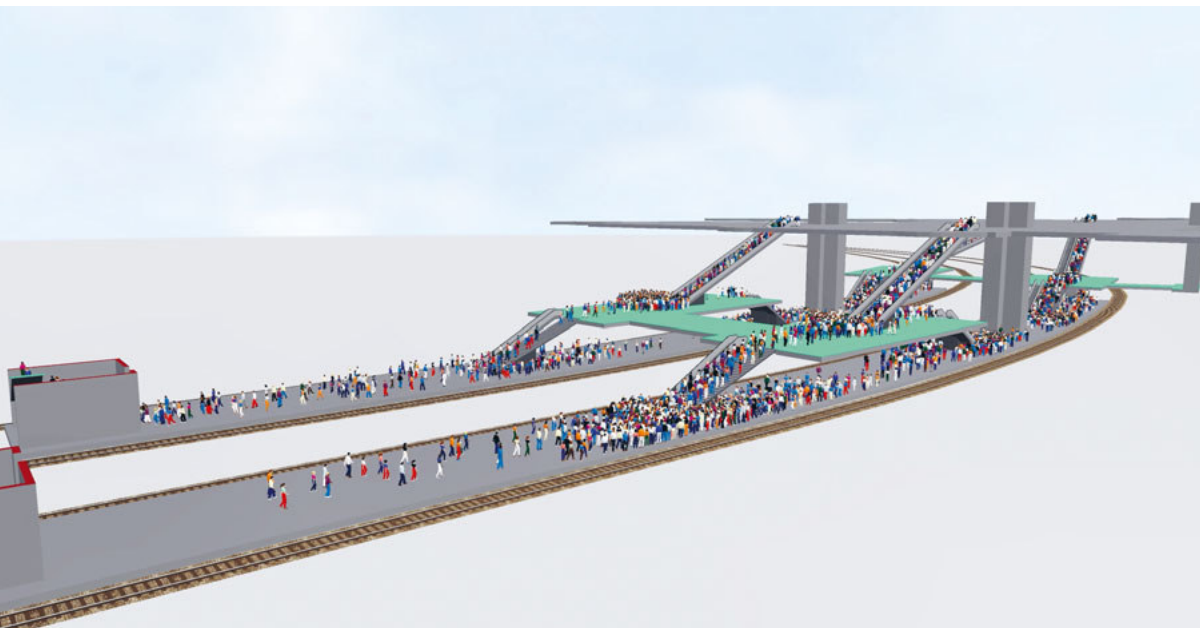
Das bereits in Umsetzung befindliche Projekt basiert neben der Erfüllung und Abstimmung einer Vielzahl technischer, betrieblicher, räumlicher, baulicher und weiterer Anforderungen und der Berücksichtigung mindestens ebenso vieler Rahmenbedingungen massgeblich auf den Anforderungen der zukünftigen Kunden, der Fahrgäste und deren Sicherheit. Kurze Wege zwischen den Verkehrsträgern und den städtischen Nutzungen sowie Mindestansprüche an Komfort und Qualität der Nutzung waren ebenfalls wichtige Kriterien für die Erarbeitung der Dimensionen und Geometrien der Infrastrukturen.

#### **Simulationen als Werkzeuge der Planung und Teil der Nachweisverfahren im Brandschutz**

Die Erbringung der erforderlichen Nachweise im Brandschutz eines solchen komplexen Projektes erforderte eine kombinierte Prüfung möglicher entstehender Verrauchungssituationen und Evakuierungsabläufe. Die Einflüsse der Verrauchung wurden teils als Grundlage für die aufzubauenden Simulationen der Personenströme während der Evakuierung verwendet, indem beispielsweise Zugänge als nicht benutzbar definiert wurden. Aus der Evakuierungssimulation der unterschiedlichen Szenarien wurden Erfordernisse erkennbar, auf deren Basis Massnahmen im Brandschutz oder Betrieb konzipiert wurden, die dann wiederum erneute Entrauchungssimulationen erforderten. Letztendlich konnten durch diesen gemeinsamen und teils iterativen Prozess die Nachweise erbracht und entsprechende Massnahmen geplant werden.

Die Simulation individuellen Verhaltens, etwa bei der Simulation von Personenflüssen, hat in den letzten beiden Jahrzehnten enorme Fortschritte gemacht. Die Bewegungen von Fussgängern wurden in unterschiedlichsten Situationen vertieft analysiert und darauf aufbauend spezifische Modelle zur Abbildung dieses Verhaltens erarbeitet. In aktuellen Simulationswerkzeugen sind solche Modelle implementiert, und es lassen sich heutzutage mikroskopische Simulationen (agentenbasierte Modellierung) mit sehr grossen Mengen an Fussgängern in komplexen räumlichen Situationen durchführen. Ergänzend wurden Tests für Simulationswerkzeuge, Methoden und Kennwerte, teils Grenzwerte für Evakuierungssimulationen und auch Richtlinien betreffend der Dimensionierung von Anlagen etabliert (z.B. RIMEA Version 3, 2016 / VÖV Planungshilfe Publikumsanlagen 2020).

Vor allem die mittlerweile relativ «leicht» bedienbaren Softwareanwendungen haben dazu geführt, dass Planer diese Instrumente bereits in einer Vielzahl unterschiedlichster Projekte eingesetzt haben und Erfahrungen mit den Instrumenten betreffend Plausibilisierung, Validierung, Kalibrierung und Interpretation der Ergebnisse sammeln konnten. Die weitergehende Generalisierung der Instrumente in Bezug auf die Einsatzbereiche wie auch die Spezifizierungen der Verhaltensabbildungen und vor allem die Weiterentwicklung der Anwenderfreundlichkeit der Softwarepakete täuschen dabei mittlerweile über die Komplexität des fachlichen Aspekts hinweg.



Screenshot Evakuierungssimulation «Neuer Bahnhof RBS».

### Nachweisverfahren im Brandschutz

Im Rahmen des Nachweisverfahrens im Brandschutz für den neuen Bahnhof RBS wurde eine bereits für die Prüfung der Dimensionierung aufgebaute Simulation der Personenflüsse entsprechend ertüchtigt. Ziel war es, Auswirkungen unterschiedlicher Brandszenarien (Standorte von Brandherden) auf die Personenflüsse zu analysieren und nachzuweisen, dass eine sichere Evakuierung möglich ist. Wesentlich bei dem gewählten Vorgehen war eine zum jeweiligen Szenario parallel durchgeführte Entrauchungssimulation und die anschliessende Überlagerung der Simulationsergebnisse. So sollte gezeigt werden, ob Personen, welche sich in der Evakuierung befinden, allenfalls

durch auftretende Verrauchung beeinträchtigt werden.

Das Vorgehen für die Evakuierungssimulation wurde eng an die Richtlinien angelehnt, aber weiter spezifiziert - dies in sehr enger Begleitung und Abstimmung mit der Gebäudeversicherung Bern (GVB) sowie dem für das QSS4-Projekt eingesetzten Kontrollorgan Brandschutz. Die wichtigsten und für die Ergebnisse massgeblichsten Arbeiten sind neben dem gewissenhaften Aufbau der Geometrien (Abbildung der Situation) und der sinnvollen und angepassten Zuweisung sowie Parametrisierung der Verhaltensmodelle (Abbildung der Fussgänger und ggfs. anderer Anlagen) vor allem die Definition der Start- und Rahmenbedingungen.

Baustelle Laupenstrasse – Kavernenausbruch, Februar 2022. Foto: Sam Bosshard

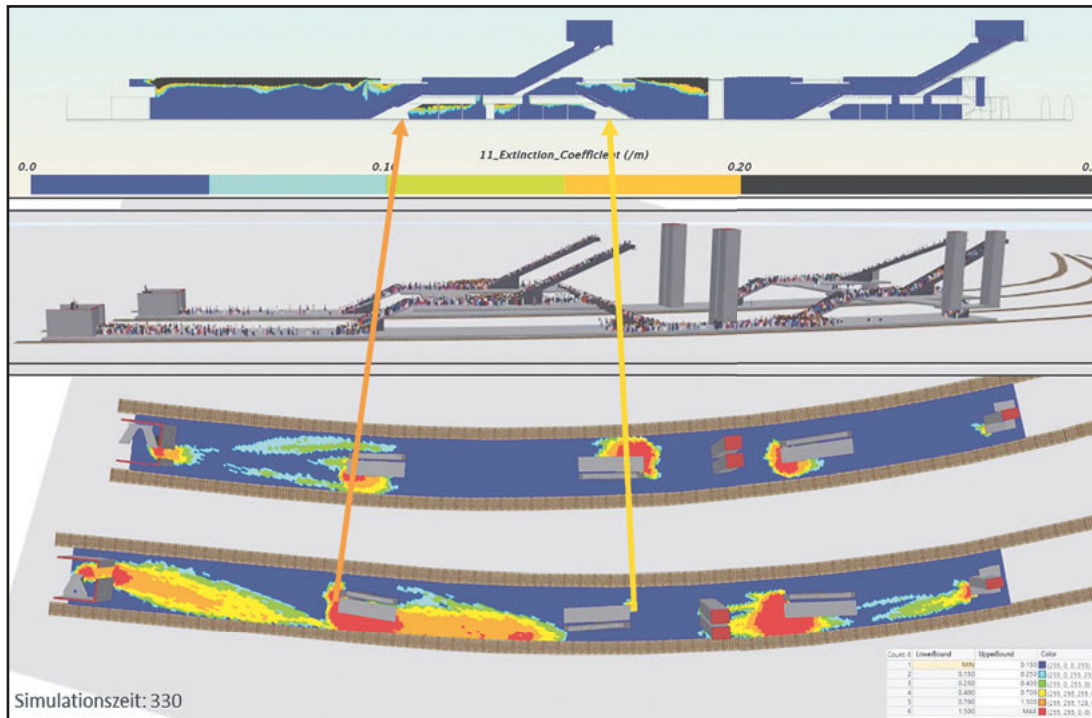


**Was Evakuierungssimulationen leisten können**

Der Vorteil mikroskopischer Evakuierungssimulationen ist natürlich in erster Linie der Gewinn des visuellen Eindrucks der Abläufe im räumlichen und zeitlichen Kontext. Darüber hinaus bieten Simulationen aber auch vielfältige Auswertungsmöglichkeiten der aus dem Verhalten abgelesenen (ausgewerteten) Kenngrößen. Dazu gehören die Evakuierungsdauer, die Reisezeitverluste, die Wartezeiten, die Geschwindigkeiten oder die Dichte. Diese und weitere Werte können individuell, nach Gruppenzugehörigkeit oder im Durchschnitt (oder anders statistisch) über die gesamte Population im zeitlichen Verlauf und in definierten räumlichen Bereichen ausgegeben werden. Der Vorteil der mikroskopischen und agentenbasierten Modellierung ist es, dass je Simulationsobjekt, also hier mindestens die Fussgänger oder ausgewählte Bewegungsflächen, die zuvor definierten Attribute individuell als Wert in die Simulationsergebnisse geschrieben wer-

den; und das per Simulationsschritt (häufig 1s oder sogar kürzere Intervalle). Neben diesen und weiteren quantitativen Auswertungen sind aber auch qualitative Angaben zu Stauscheinungen, Staubereichen, Wegewahl usw. auf der Basis der Animationen möglich.

In der folgenden Abbildung ist die Gegenüberstellung der Ergebnisse der Rauch- und der Evakuierungssimulation für eine Sekunde der Simulationsdauer beispielhaft dargestellt. Man kann daraus sehr gut visuell erkennen, wo sich zu diesem Zeitpunkt Personen oder Personen im Stau befinden und wie sich darüber die Rauchsituation darstellt. Im Vergleich zu den zuvor definierten Schutzziele werden so Verletzungen dieser Schutzziele erkannt. Da auch die Entwicklung vorher und nachher bekannt ist und entsprechend dargestellt werden kann, ist eine Beurteilung – in Ergänzung durch die quantitativen Kennwerte – sehr gut möglich.



Zusammenstellung Screenshots aus den Simulationen Entrauchung und Evakuierung.

**Grenzen der Aussagekraft**

Modelle und Simulationen sind Abbilder der Realität. Dabei wird zunächst ein Ausschnitt (je nach Verwendungszweck oder Benutzer) der Realität gewählt, dann eine Abstraktion vorgenommen und dann Modelle (hier zum Beispiel zum Verhalten von Fussgängern) erstellt, welche in der Simulation verwendet werden, um die Dynamik und die Abhängigkeiten der simulierten Abstraktionen abzubilden. Auch die Simulation erfährt entsprechende Ausschnittsbildung, Abstraktion und Modellbildung. Somit ist leicht einzusehen, dass diese Verluste an Information, Einschränkungen an möglichen Wechselwirkungen, Fehler usw. die Qualität der Modelle und Simulationen teils stark beeinflussen. Grenzen ergeben sich also aus der unzureichenden Kenntnis der realen Vorgänge, des individuellen Verhaltens, diverser Systemannahmen, aus Modell- und Anwendungsfehlern, softwareseitigen Beschränkungen sowie aus Interpretationsfehlern.

Dennoch sind Modelle und Simulationen – richtig aufgebaut, eingesetzt und interpretiert – wertvolle Werkzeuge für die Abbildung und Beurteilung komplexer und dynamischer Vorgänge.

**Fazit**

Eine sichere Flucht aus dem Bahnhof Bern RBS ist gegeben, wenn die verfügbare Zeit grösser ist als die benötigte sichere Evakuationszeit. Durch die mittels numerischer Strömungssimulation durchgeführten Berechnungen der Verrauchung konnte gezeigt werden, dass mit den geplanten Entrauchungsanlagen eine wirksame Entrauchung möglich ist und die zuvor definierten Schutzziele erreicht werden. Zudem zeigten die Untersuchungen der Evakuierungssimulation, dass der Bahnhof unter sicheren Bedingungen vollständig evakuiert werden kann. Gegenüber den Behörden wurde damit der Nachweis erbracht, dass die Restrisiken als tolerierbar eingestuft werden können.

**Über die Autoren**

**Guido Rindfuser**, Dipl.-Bauing. TH/SVI, hat aus der Forschungstätigkeit heraus die Beschäftigung mit dem individuellen Mobilitätsverhalten und der Abbildung in Simulationen erfolgreich in die Praxis überführt und proaktiv an den aktuellen Standards für die Sicherheitsnachweise von Publikumsanlagen mitgewirkt. Er ist seit 2016 Geschäftsführer der Emch+Berger Verkehrsplanung AG.

**Mathias Kost**, Dipl. Kulturingenieur ETH, Bereichsleiter Sicherheit bei der Emch+Berger AG Bern. Er arbeitet im Gebiet RAMS, Riskmanagement, Sicherheitskonzeption, Störfallvorsorge und Brandschutz und hat langjährige Erfahrung in der Sicherheitsberatung bei komplexen Projekten. Als Teilprojektleiter Sicherheit ist er im Projekt ABB RBS zuständig für die Themen Sicherheit, Alarm- und Rettung sowie Brandschutz.