

# Simulation komplexer Betriebsprozesse in einem Rangierbahnhof am Beispiel von Lausanne Triage

Ing. Milos Zat'ko  
Simcon S.R.O.

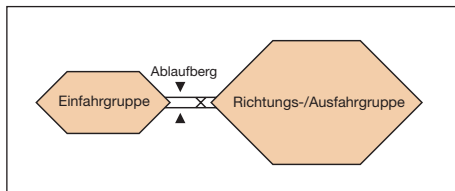
Stephan Leber  
SBB Projektmanagement

Dieser Aufsatz widmet sich dem komplexen Bahnbetrieb in einem Rangierbahnhof und der Möglichkeit, mit Hilfe der Simulation nach möglichen Konsequenzen der Entscheidungen in langfristigen und mittelfristigen Planungen zu suchen. Da in solchen Anlagen ein einzelner Wagen die kleinste Transportmenge ist, konzentriert sich der Fokus aus Sicht der Rangierbahnhöfe auf den Einzelwagenladungsverkehr. Der Einsatz der Simulation ist hier anhand der Fallstudie für den SBB-Rangierbahnhof Lausanne Triage beschrieben.

## Rolle eines Rangierbahnhofes im Güterverkehr

Die Bestellung durch einen Kunden löst einen Transportauftrag von A nach B aus. Da es aus wirtschaftlichen Gründen nicht möglich ist, jeden einzelnen Wagen mit einer speziell zugeteilten Lokomotive vom Versandbahnhof an den Empfangsbahnhof zu transportieren, sammelt die Bahn die Wagen in einem definierten Knoten. Dort werden sie nach den Zielrichtungen sortiert und für die Beförderung gemeinsam mit anderen Wagen oder Wagengruppen zu einem Zug zusammengestellt. Solche grossen Knoten, die auch als Rangierbahnhöfe bezeichnet werden, ermöglichen eine wirtschaftliche Zugbildung im Güterverkehr.

In den meisten Fällen fährt ein Wagen von einem Versandbahnhof über einen oder mehrere Rangierbahnhöfe an einen Empfangsbahnhof. Daraus ergibt sich, dass ein Rangierbahnhof die ankommenden Züge aus der zugeteilten Region (Nahgüterzüge) oder von anderen Rangierbahnhöfen (Ferngüterzüge) behandelt und die Abgangszüge nach anderen Rangierbahnhöfen oder in die Region bildet. Es ist also die Aufgabe eines Rangierbahnhofes, die Wagen aus den ankommenden Nah- und Ferngüterzügen in Abhängigkeit ihrer Bestimmung mit allen verfügbaren Mitteln in die abgehenden Nah- und Ferngüterzügen einzureihen. Die Nahgüterzüge sind also für das Sammeln und Verteilen der Wagen in der Region und die Ferngüterzüge für die Beförderung der



Anordnung der Gleisgruppen im Rangierbahnhof Lausanne Triage (Zeichnung: SBB).

Wagen zwischen den Rangierbahnhöfen zuständig.

Die bauliche Gestaltung und rangiertechnische Einrichtung eines Rangierbahnhofes hängt von der Wirtschaftlichkeit, Leistungsfähigkeit und Betriebsqualität ab. Diese drei Faktoren müssen bei der Planung einer neuen und beim Umbau einer bestehenden Anlage immer im Vordergrund stehen.

Die bevorzugte Konfiguration eines Rangierbahnhofes enthält vier Teile: Einfahrgruppe, Ablaufberg, Richtungsgruppe und Ausfahrgruppe. Die Anordnung sollte aus Sicht der Laufrichtung der Wagen hintereinander sein. Entscheidend für die Leistungsfähigkeit ist nebst der Gleiskonfiguration der Automatisierungsgrad der Ablaufberganlage (zum Beispiel Einsatz von Hemmschuhen, Gleisbremsen oder Förderanlagen).

## Rangierbahnhof Lausanne Triage

Lausanne Triage ist nach dem Rangierbahnhof Limmattal bei Zürich der zweitgrösste Binnenrangierbahnhof in der Schweiz und bildet somit eine wichtige Drehscheibe im schweizerischen Güterverkehr. Auf Grund seiner Lage an der Südwestgrenze der Schweiz nimmt er zusätzlich im Güterverkehr mit Frankreich (La Plaine und Vallorbe) sowie Italien (Iselle) eine, wenn auch untergeordnete, Rolle wahr. So werden heute gegen 20 % des Binnen- sowie rund 2 % des schweizerischen Import- und Exportgüterverkehrs der Bahn über Lausanne Triage abgewickelt.

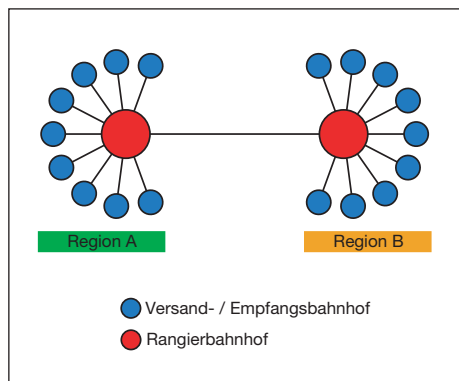
Der Rangierbahnhof Lausanne Triage ist ein einseitiger Flachbahnhof, der aus folgenden Gleisgruppen und Anlagen besteht aus

- einer eifgleisigen Einfahrgruppe für die Annahme und Behandlung der ankommenden Züge,
- einem Ablaufberg für die Zugzerlegung,
- einer 38gleisigen Richtungsgruppe zum Sammeln der getrennten Wagen, die aber gleichzeitig auch die Rolle der Ausfahrgruppe erfüllt, um die Behandlung der abgehenden Züge durchzuführen,
- einer Wagenreparaturwerkstatt zur Reparatur von beschädigten Güterwagen und
- der Anbindung einer Anschlussgleisanlage.

Die Anlage ist an drei Zulaufsstrecken angebunden, die die Verbindungen Richtung Biel - Zürich / Basel, Bern / Wallis und Genève sicherstellen.

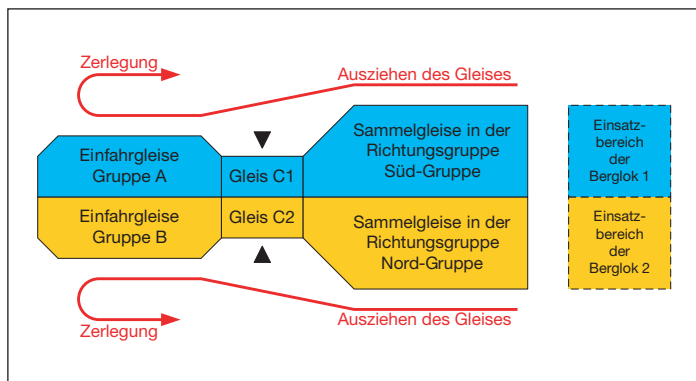
Um eine entsprechend hohe Leistung zu erreichen, ist die Ablaufberganlage in Lausanne Triage im Bereich der Verteilzone mit zweiteiligen Talbremsen ausgerüstet. Die einzeln ablaufenden Wagen müssen aber zusätzlich in den Richtungsgleisen mit Hemmschuhen gebremst werden. Folgen davon sind ein relativ grosser Personalaufwand sowie die Notwendigkeit eines zeitaufwendigen Beidrückens in der Richtungsgruppe mit den Rangierlokomotiven. Die durchschnittlich erreichten Leistungswerte auf dem Ablaufberg bewegen sich gegen 150 rangierte Wagen pro Stunde.

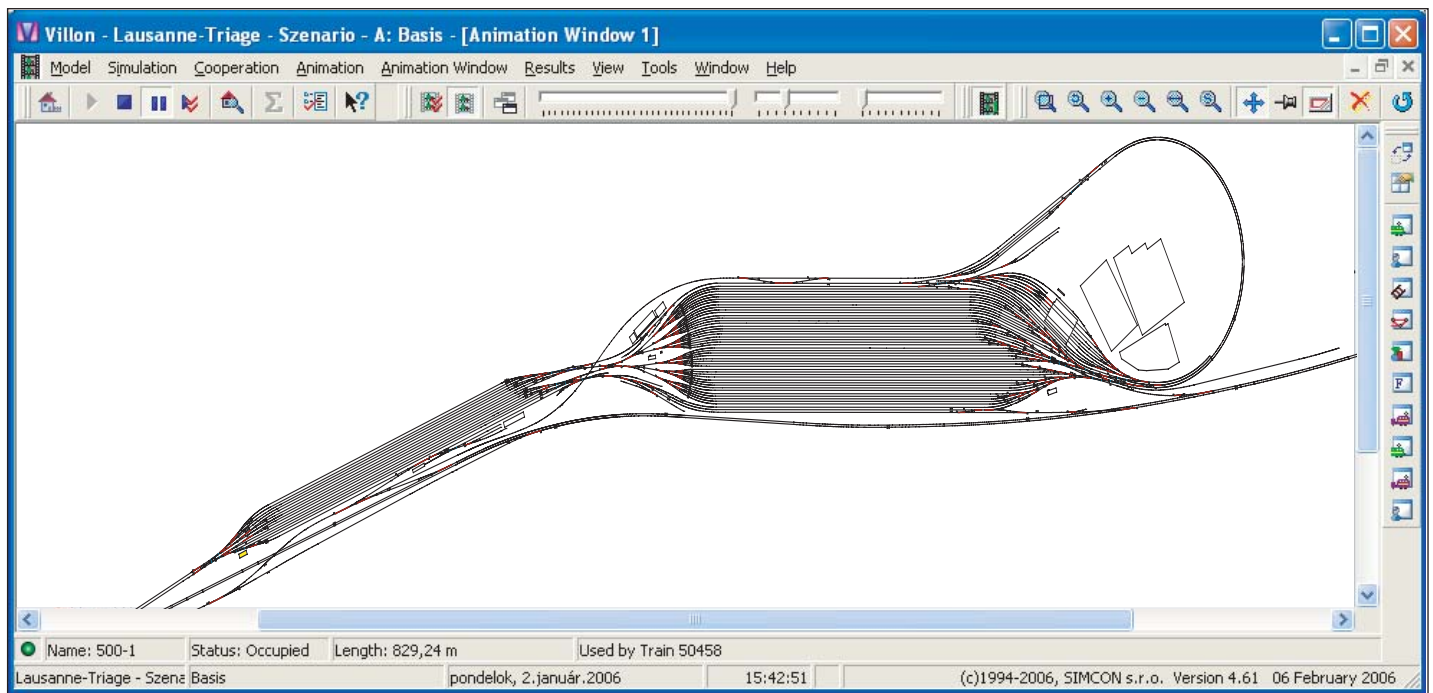
Die Verteilung der Wagen in kleineren Bahnhöfen erfordert oft grossen Rangieraufwand. Diesen Aufwand lässt sich durch die Feinsortierung und Bildung von Mehrgruppenzügen im Rangierbahnhöfen deutlich verringern. Die Feinsortierung der Wagen für die Mehrgruppenzüge in Lausanne Triage wird mittels der Simultanformation durchgeführt. Dabei werden die Wagen zuerst nach ihrer Reihung im Zug und anschliessend nach dem Zug selbst sortiert. Dieses Verfahren unterscheidet sich von der konventionellen Zugbildung, bei der für jede Gruppe mindestens ein separates Gleis benötigt wird. Lausanne Triage ist sehr gut für diese Simultan-



Links: Lage der Rangierbahnhöfe in der Transportkette des Einzelwagenverkehrs (Zeichnung: SBB).

Rechts: Abgrenzung der Einsatzbereiche der Berglokomotiven während der Simultanformation in Lausanne Triage (Zeichnung: SBB).





Simulation des Rangierbahnhofes Lausanne Triage mit 2D-Animation (Zeichnung: SBB).

formation geeignet, da die Ablaufberganlage mit zwei Zuführungs- und Ablaufberggleisen ausgestattet ist. Diese Anordnung erlaubt je nach Verteilung der Wagen auf die Richtungsgleise ein paralleles Abdrücken von zwei Zügeinheiten.

Währenddem nämlich bei der Zerlegung der ankommenden Züge die einzelnen Wagen auf die verschiedenen Gleise der gesamten Richtungsgruppe verteilt werden müssen, kommt durch geschickte Zuteilung der Gleise die Simultanformation mit jeweils einer Hälfte der Richtungsgruppe aus. Diese Unterteilung der Anlage ermöglicht ein paralleles Ausziehen und Zerlegen der Rangiereinheiten, was zu einer besseren Auslastung und somit auch zu einer höheren Leistungsfähigkeit der Anlage führt. Die Trennung der Einsatzbereiche der beiden Berglokomotiven während der Simultanformation ist aus der Grafik auf der vorangehenden Seite unten rechts ersichtlich.

### Prüfung neuer Betriebsabläufe in Lausanne Triage

Die Organisation der Betriebsabläufe hängt eng von der baulichen Gestaltung und der rangiertechnischen Ausrüstung ab. Um die Wirtschaftlichkeit im Einzelwagenladungsverkehr und die Marktposition zu verbessern, streben die SBB eine Konzentration der Zugbildung auf wenige, leistungsfähige Rangierbahnhöfe in der Schweiz an. Die Bedienung der Westschweiz soll dabei zu einem grossen Teil ab Lausanne Triage erfolgen, so dass der (Teil-)Verzicht auf einzelne oder mehrere Rangieranlagen und -bahnhöfe möglich wird. Im internationalen Verkehr ist dagegen für Lausanne Triage lediglich von einer Arrondierung des heutigen Verkehrs auszugehen. Der Übernahme von Aufgaben sind sowohl anlagen- als auch trassenbedingt Grenzen gesetzt, die mit entsprechenden Investitionen teilweise angehoben werden können.

Für die Simulationsstudie in Lausanne Triage galt es abzuklären, in wie weit die im Rahmen einer betrieblichen Machbarkeitsprüfung vorgeschlagenen Anlagenerweiterungen für die Übernahme zusätzlicher (Rangier-)Aufgaben notwendig sind. Im Vordergrund stand dabei der (Teil-)Verzicht auf Formationsaufgaben in Brig / Visp, Sion, Monthey / St. Maurice und Genève La Praille / Vernier-Meyrin.

Da Lausanne Triage mitten in einem relativ dicht besiedelten und industrialisierten Gebiet liegt, ist eine weitere räumliche Ausdehnung in der Breite beschränkt, in der Länge jedoch gar nicht möglich. Deshalb haben sich die planerischen Überlegungen auf die vorhandenen SBB-Anlagen und -Areale zu beschränken. Dabei galt es, auch den Umweltaspekten (Lärm, Störfall, Gewässerschutz) Rechnung zu tragen.

### Simulation

Das Simulationstool kann die Projektverantwortlichen bei Studien zum Erhöhen der Rangierbahnhofkapazität unterstützen. Der Schienenverkehr besteht an vielen Stellen aus komplexen Systemen, die sich gegenseitig beeinflussen. Da Versuche im realen Betrieb nicht immer möglich oder manche strategische Entscheidungen risikoreich sind, besteht ein grosses Interesse, die Auswirkungen möglicher Entscheidungen zuerst an einem Modell zu prüfen. In der Studie für Lausanne Triage wurde das Simulationswerkzeug „Villon“ der Firma Simcon S.R.O. aus der Slowakischen Republik eingesetzt. Es handelt sich um ein spezialisiertes Simulationsprogramm für detaillierte Betriebsmodellierung der logistischen Verkehrsknoten. Die Abbildung im Simulationsmodell konzentriert sich auf Infrastruktur, Personal und Triebfahrzeuge, die bei der Behandlung der Züge und Rangiereinheiten eingesetzt werden. Alle Fahrzeugbewegungen und auch ausgewählte Zugbehandlungen durch das Personal sind automatisch mit der Animation gesenzt, wobei es je nach Bedarf eine 2D- oder 3D-Animation sein kann. Um ein Infrastrukturmodell zu erstellen

verlangt das Simulationswerkzeug ein CAD-Layout (Gleisplan), am besten im Massstab 1:1000. Der massstäbliche Gleisplan ist die Basis für die realitätsgetreue Darstellung der Infrastruktur in der Prozessanimation.

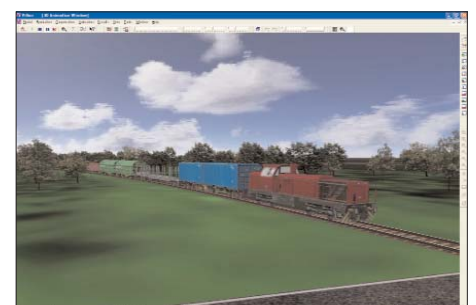
Das Verfahren bei einer Simulationsstudie setzt sich aus mehreren Phasen zusammen: Datenerfassung, Modellerstellung, Verifizierung und Validierung des Modells, Experimentierung durch Parameteränderungen sowie die Auswertung. Jeder Simulationslauf wird ausgewertet, um die nächste Parameteränderung sinnvoll zu steuern.

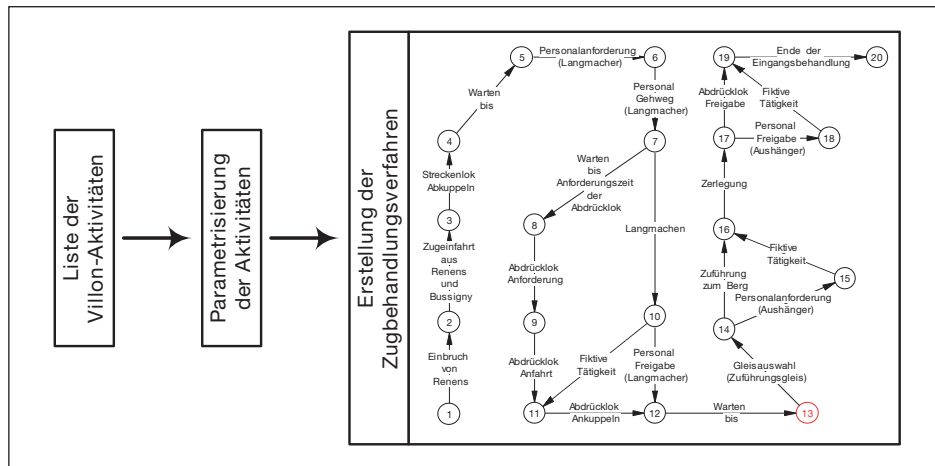
### Eingabedaten und Erstellung des Simulationsmodells

Der Aufbau des Simulationsmodells verfolgt die Prinzipien eines Bedienungssystems. Die Ressourcen im Rangierbahnhof lassen sich in drei Gruppen unterteilen:

- Infrastruktur – Dazu gehören Gleise, Weichen, Signale und Betriebsgebäude. Die Lage der einzelnen Infrastrukturelemente sind im Gleisplan enthalten. Bei allen Daten der einzelnen Infrastrukturelemente (zum Beispiel: Gleise B1 – B6 sind Einfahrtgleise, Gleise P5 und P8 sind Ausziehgleise) muss klar sein, wie sie genutzt werden.

Simulation eines Privatschlussgleises mit 3D-Animation (Zeichnung: SBB).





Vorgehensweise bei der Erstellung eines Zugbehandlungsverfahrens (Zeichnung: SBB).

- Lokomotiven – Die Vorgehensweise ist ähnlich wie bei der Infrastruktur. Zuerst werden die Anzahl der Lokomotiven und ihre physischen Eigenschaften wie Länge, Gewicht, Fahrwiderstand und Zugkraft-Geschwindigkeits-Diagramm definiert und danach die Funktion (zum Beispiel Berg- oder Formationslokomotive) zugewiesen. Die Streckenlokomotiven sind lediglich mit ihren Eigenschaften abgebildet (als Bestandteil der Züge), da es sich um Ressourcen handelt, die auch ausserhalb des Rangierbahnhofes eingesetzt werden.
- Personal – Ebenfalls definiert ist die Anzahl der Mitarbeiter, samt ihren Einsatzzeiten und Funktionszuweisungen (welche Mitarbeiter arbeiten zum Beispiel als Visiteur, Langmacher oder Kuppler). In der Regel werden nur Mitarbeiter abgebildet, die im Gleisfeld bei der Zugbehandlung eingesetzt sind.

Bei einem Rangierbahnhof stellen die ankommende Züge und Transitzüge den Eingangstrom dar. Auf das Simulationsmodell übertragen, sind somit die Züge als Kunden des Bahnhofes zu betrachten. Um zu wissen, wie das Modell des Rangierbahnhofes die Züge behandeln soll, ist es erforderlich, die Aktivitäten und Regeln zu definieren, das heisst, sogenannte Zugbehandlungsverfahren festzulegen. Dabei werden die Aktivitäten parametrisiert, um die Zeitdauer während des Simulationslaufes zu berechnen.

Anschliessend wird aus den Aktivitäten in Form eines Flussdiagramms die Zugbehandlung erstellt. Damit werden die Regeln festgelegt, welche Aktivitäten parallel laufen dürfen und in welcher Reihenfolge die Aktivitäten durchgeführt werden müssen. Eine ähnliche Vorgehensweise besteht auch für die Abgangszüge. Dabei erhält jeder Zug oder Zuggruppe die entsprechende Zugbehandlung, eine oder mehrere zugeteilte Relationen (Zielrichtung), eine maximale Zuglänge und ein maximales Gewicht. Im Gegensatz zu einem ankommenden Zug oder Transitzug entsteht dieser Zug im Bahnhof in einem Richtungsgleis.

Für die richtige Verteilung der Wagen auf die Richtungsgleise verlangt das Modell Gleisdisziplin. Damit steht fest, im welchen Zeitraum und auf welchem Gleis eine bestimmte Zielrichtung gesammelt wird. Zusätzlich sind noch die Regeln für die Feinsortierung zu definieren, Schemata und Reihenfolge der Phasen in der Simultanformation.

Die Menge und der Inhalt der Daten, die für die Erstellung des Simulationsmodells nötig

sind, hängen nicht nur von der Art des Verkehrsknotens ab, sondern auch von der Detailtiefe, die in einzelnen Fällen verschieden sein kann. Dabei muss sowohl der Aufwand, um ein Modell zu erstellen, als auch der Nutzen des verlangten Detailgrades in Erwägung gezogen werden. Für die Abwicklung einer Betriebswoche in Lausanne Triage wurden rund 7000 Wagendatensätze mit je 29 Detailangaben, rund 730 Zugdatensätze mit je 20 Detailangaben und gegen 30 Basisprozesse in die Simulation eingegeben oder eingelesen. Basierend auf all diesen Eingabedaten und Parametern, wurde das Modell erstellt und mittels gezielter Simulationsdurchläufe auf allfällige Fehler hin überprüft.

**Experimente**

Im Fall der Simulationsstudie Lausanne Triage wurden im Prinzip drei Gruppen von Fragen definiert, auf die die Experimente Antworten geben sollten. Das erste Experiment sucht nach den baulichen und betrieblichen Massnahmen, die für die Bewältigung des neuen Verkehrsaufkommens nötig sind. In Frage kamen Erweiterung der Infrastruktur, Verstärkung des Personal- und Lokomotiveinsatzes oder Anpassungen bei der Feinsortierung. Das so erstellte Simulationsmodell wurde als Basismodell betrachtet und diente später zum Vergleich mit den restlichen Szenarien. Im Vordergrund standen dabei gezielte Veränderungen der Parameter (zum Beispiel Sperrung von einzelnen Gleisen, Veränderungen beim Personal- und Lokomotiveinsatz), um das Modell einer Sensitivitätsprüfung zu unterziehen.

Das Thema des zweiten Experiments war die Verlegung des Lokomotivdepots beim Personenbahnhof Lausanne nach Lausanne Triage. Die Untersuchung hat gezeigt, wo die meisten Fahrkonflikte auftreten. Für Aussagen zum effektiven Gleisbedarf für die Abstellung und Unterhalt der Streckenlokomotiven wäre eine detaillierte Simulation erforderlich. Dabei müssten nicht nur die Übergänge der Streckenlokomotiven von den ankommenden auf die abgehenden Züge, sondern auch die Zeiten und Abläufe der Instandhaltung der Fahrzeuge miteinbezogen werden, was aber den Rahmen des vorliegenden Auftrages gesprengt hätte.

Im Zentrum des dritten Experimentes stand die Frage, wie sich eine Erhöhung der Abdrückgeschwindigkeit durch eine Modernisierung der Ablaufberganlage (Teil- oder Vollautomatisierung sowie Topologieanpas-

sung der Richtungsgruppe) gegenüber dem Basismodell auswirken würde. Bei der Simulation ging man davon aus, dass aufgrund von Anpassungen an der Gleisanlage das Ablaufverbot für die Gaswagen wegfallen würde. So konnte die Spitzenleistung bei den Erstabläufen um einen Drittel auf über 200 Wagen/Stunde gesteigert werden. Dies hatte auch Auswirkungen auf die Simultanformation. So wird die Formation der Abgangszüge bis zu 30 Minuten früher beendet.

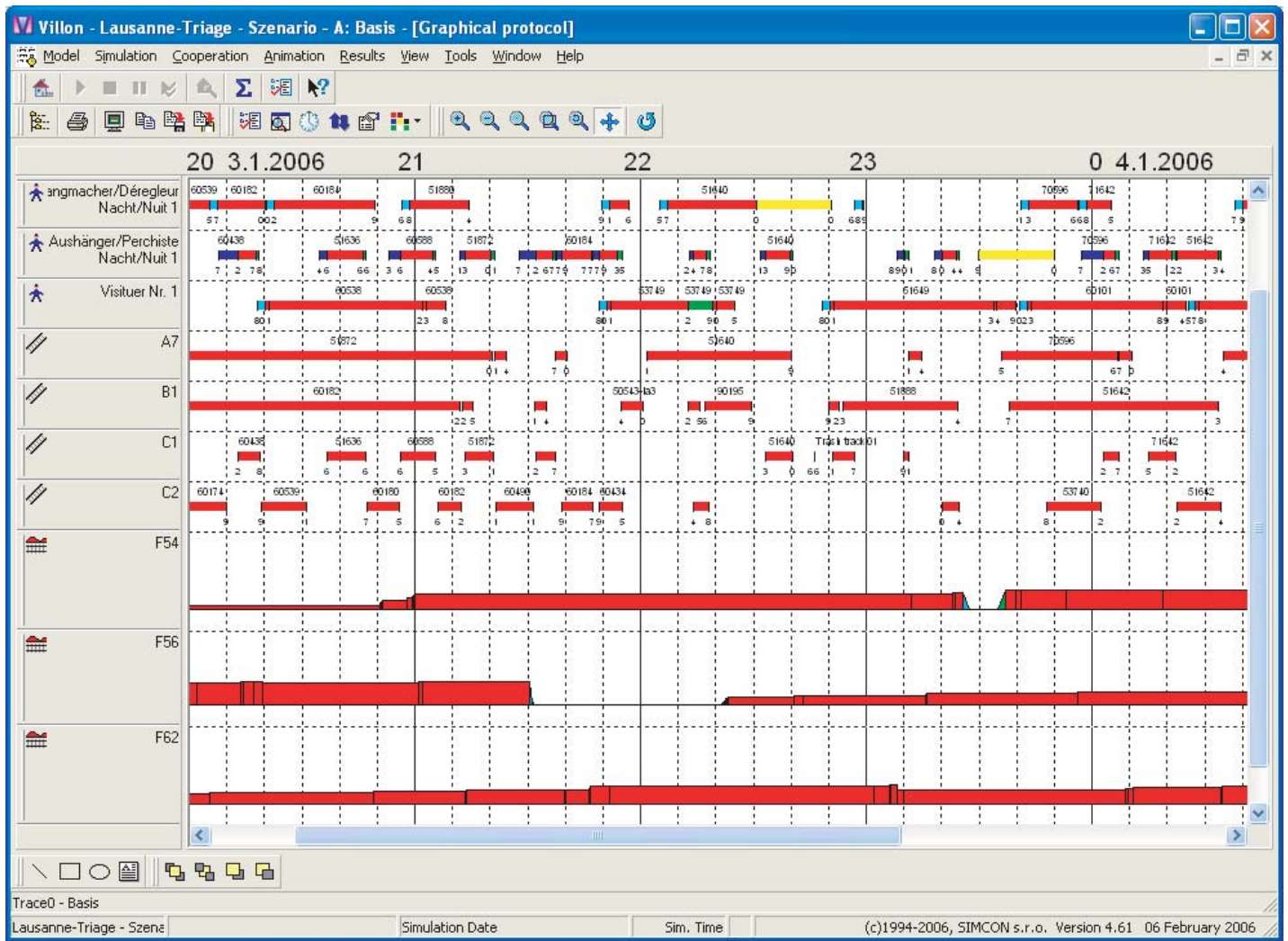
**Auswertung**

Wichtiger Bestandteil einer Simulationsstudie ist die Auswertungsphase. Um ein Gesamtbild über dem Betrieb zu erhalten, muss man üblicherweise gleichzeitig mehrere Parameter auswerten. Mit Villon lässt sich die Betriebsabwicklung im Modell auf Grund der Animation der wichtigen Prozesse überprüfen. Zudem sind sowohl tabellarische wie auch graphische Auswertungen möglich. Dabei kann beispielsweise die Belegung einzelner Gleis- oder Weichenverbindungen wie auch der gesamten Einfahrgruppe dargestellt werden. Von besonderem Interesse dürften wohl die Leistung des Ablaufbergs sowie der Füllungsgrad der Richtungsgruppe sein. Ebenfalls auswerten lassen sich die ankommenden und abgehenden Züge bezüglich Länge, Gewicht und fahrplanmässiger oder effektiver Verkehrszeit. Die ausgewerteten Daten liefern daneben eine sehr gute Basis für die Instandhaltungsplanung der Infrastruktur. Alle diese Auswertungsmöglichkeiten lassen sich gezielt einsetzen, um Differenzen zwischen der Basisvariante und / oder den einzelnen Simulationsdurchläufen mit geänderten Parametern aufzeigen zu können, wie sie für die Sensitivitätsanalysen zur Anwendung gelangen.

Die Simulationsstudie beantwortet auch die Frage, ob das höhere Verkehrsaufkommen Erweiterungen und Änderungen der Infrastruktur erfordert. Erste Simulationsergebnisse haben gezeigt, dass in erster Linie organisatorische Massnahmen notwendig sind. Um die höhere Anzahl der ankommenden Züge zeitgerecht zu behandeln, wird empfohlen, die Anzahl der „Langmacher“, die die Kupplungen angekommener Güterzüge teilweise lösen, in der Spitzenzeit zu erhöhen. Andernfalls droht, dass die Feinsortierung zu spät beginnt und demzufolge auch die Gruppenzüge bei der Ausfahrt verspätet werden. Damit wäre eine der Rahmenbedingungen, dass die vorgegebenen Zugtrassen des Fahrplanes 2005 unverändert bleiben, nicht mehr erfüllt gewesen.

Die Simulationsstudie beantwortet aber nicht, welches die maximale Leistungsfähigkeit der Anlage ist. Diese könnte jedoch durch eine Serie von Simulationsläufen ermittelt werden. Auf jeden Fall beweist das Modell, dass das zusätzliche Verkehrsaufkommen bewältigbar und somit eine höhere Leistung gegenüber heute ohne weitere Investitionen in die Anlage möglich ist.

Die Simulation deckt aber einen besonderen Problembereich auf; nämlich die Behandlung der Spitzen- und Schlussgruppen, die nicht über den Ablaufberg geschickt werden kön-



Graphische Auswertung des Simulationslaufes (Zeile 1 – 3: Personaleinsatz; Zeile 4, 5: Belegung der Einfahrgleise; Zeile 6, 7: Belegung der Ablaufberggleise; Zeile 8 – 10: Füllungsgrad der Richtungsgleise; Grafik: SBB).

nen. Das Simulationsmodell dokumentiert klar, welcher grosser Aufwand mit der Umstellung dieser relativ häufig anfallenden Wagengruppen verbunden ist. Hier zeichnet sich ein künftiger Handlungsbedarf ab.

Eine interessante Aussage bietet auch die Anzahl der Fahrzeuge, die sich gleichzeitig im untersuchten Bereich bewegen. Diese Information ist wertvoll für die Festlegung der Anzahl Mitarbeiter im Stellwerk sowie die Zahl der möglichen Zugfahrten?

Anzahl der Züge/Rangiereinheiten, die sich im Rangierbahnhof gleichzeitig bewegen (ausgenommen der Abläufe). Die gelben Linien dienen als Massstab (ein Strich entspricht der Anzahl Fahrten im selben Augenblick; Zeichnung: SBB).

**Was kann Villon sonst noch?**

Neben der Simulation im Bereich der Rangierbahnhöfe lässt sich mit Villon auch die Verkehrsentwicklung an anderen Orten wie Personenbahnhöfe, Unterhaltsanlagen, Containerbahnhöfe, Hafengebäude und Privatanschlussgleisanlagen testen. In Studien für andere Unternehmen wird im gleichen Simulationsmodell neben dem Schienen- auch der Strassenverkehr abgebildet. Dies nicht nur, um die gegenseitige Beeinflussung dieser zwei Verkehrsträger zu untersuchen, sondern auch, um das Strassennetz im Werkgelände zu dimensionieren. Das Simulationswerkzeug wurde in der Schweiz neben Lausanne Triage auch im Rangierbahnhof Basel (Muttenz) erfolgreich eingesetzt. Es dient zudem auch anderen Bahnen und Privatunternehmen der Stahl-, Chemie-, Papier-, Holz- und Autoindustrie in Deutschland, Österreich, Grossbritannien, China, Tschechien und der Slowakei.

Die Experimente, die in Rahmen der erwähnten Simulationsstudie durchgeführt

wurden, sind nur ein Bruchteil der Möglichkeiten. Die Simulation ist ein Weg zur effizienten Planung und zum Aufzeigen von Varianten. Sie dient nicht nur zur Überprüfung der geplanten Investitionen, sondern kann auch deren Realisierungsphase beschleunigen. Zudem handelt es sich um ein Instrument, welches das effektivere Handeln im täglichen Betrieb unterstützen kann.

Neben den erwähnten Vorteilen der Simulation kann man das Simulationsmodell auch als Kommunikationsmittel betrachten. Damit wird eine Plattform geschaffen, über die alle an einer Studie Beteiligten eigene Ideen viel leichter und verständlicher übermitteln können. Die Erfahrung zeigt eindeutig, dass dabei insbesondere die Animation der modellierten Prozesse in Transportsystemen die zentrale Rolle spielt.

Andererseits hat auch die Simulation ihre Grenzen. Sie ist auf keinen Fall ein Heilmittel für alle Probleme. Deshalb muss auch hier immer die Wirtschaftlichkeit der Simulationsstudie im Vordergrund stehen.

