Microscopy on Demand
Die Fahrplanung der Zukunft ist durchgängig

Glaus, Björn[1], von Olnhausen, Trutz[2]

[1]SMA und Partner AG
[2]DB Fernverkehr AG

1 Einleitung

Bei Fahrplansystemen existieren heute zwei grundsätzlich unterschiedliche Infrastrukturmodelle: Das makroskopische und das mikroskopische Modell. Beide Ansätze sind jeweils für bestimmte Anwendungsfälle gut geeignet, hingegen weniger gut für andere. Eine integrierte und simultane Verwendung von mikroskopischen und makroskopischen Funktionalitäten ist bisher nicht möglich, da die verwendeten Schnittstellen der entsprechenden Systeme nicht zeitgemäß und umständlich zu bedienen sind. Dies führt zu Systembrüchen und zu einem äußerst ineffizienten und schwerfälligen Arbeitsprozess, bei dem viel Zeit für die Bedienung der Schnittstelle verwendet werden muss. Diese Zeit steht für die eigentliche Planungstätigkeit nicht mehr zur Verfügung.

Microscopy on Demand (MoD) bezeichnet eine konzeptionelle Software-Architektur, die SMA in den letzten Jahren entwickelt hat. MoD integriert auf neuartige Weise das mikroskopische und das makroskopische Modell, sodass Mikroskopie nur dort verwendet wird, wo es nötig ist: Bei der Fahrzeitrechnung und der Konflikterkennung. Dadurch wird aus der Sicht des Anwenders ein durchgängiger Arbeitsfluss möglich, bei dem dank leichtgewichtigen Service-Schnittstellen mikroskopische Funktionalitäten direkt aus dem makroskopischen System heraus aufgerufen und in dieses integriert werden können.

Das Konzept wird mittels einer vollständigen Implementierung von MoD illustriert, welche SMA zusammen mit VIA-Con realisiert hat. Dabei werden Funktionalitäten des mikroskopischen Tools LUKS via Service-Schnittstellen verfügbar gemacht. Diese Schnittstellen wiederum sind in das makroskopische Tool Viriato eingebunden.

2 Problemanalyse und Lösungsansatz

Ausgangsbasis der Überlegungen und damit der gedankliche Ursprung des MoD-Konzepts ist die Langfristplanung. Diese gliedert sich in folgende drei Teilbereiche:

- **Konzeption:** Entwicklung von verschiedenen Angebotskonzepten mit dem Fokus auf netzwerkbezogene Aspekte wie Linienstruktur, Takte, Haltepolitik, Anschlüsse, Umsteige- und Reisezeiten.
- **Konstruktion:** Mikroskopische Überprüfung einzelner Konzepte bezüglich Ihrer Fahrbarkeit durch präzise Berechnung von Fahrzeiten, Belegungen und Konflikten.
- **Simulation:** Prüfung der Knotenkapazität, Robustheit und Störungsanfälligkeit ausgewählter Konzepte mit dem Ziel, einen zukünftigen Betrieb zu simulieren.

Mit dieser Dreiteilung geht bisher auch eine Trennung der eingesetzten Software einher. In der Regel werden bis zu drei verschiedene Anwendungen, welche sich weitgehend losgelöst voneinander entwickelt haben, zur Lösung der spezifischen Problemstellungen eingesetzt.

Der Versuch mikroskopische Systeme in der Konzeption einzusetzen, scheitert an der Möglichkeit in Varianten und Szenarien schnell und leichtgewichtig verschiedene Konzepte zu entwickeln. Insbesondere das Aufnehmen von Studieninfrastruktur in das Infrastrukturmodell geht mit einem hohen zeitlichen Aufwand einher. Die Planung komplexer und großer Netze ist aus Skalierungsgründen heute nicht möglich. Im Gegensatz dazu eignen sich mikroskopische Fahrplanungssysteme hauptsächlich für eine präzise Berechnung von Fahrzeiten und Konflikten sowie zur Durchführung von Simulationen.

Makroskopische Tools wie Viriato, die Ihre Stärke in der konzeptionellen Planung haben, zeichnen sich durch Ihre Fähigkeiten aus, mit einem leichtgewichtigen Infrastrukturmodell netzweit und auf Basis von Szenarien, eine Vielzahl von Varianten zu entwickeln und dadurch die *fahrplanbasierte Netzentwicklung* zu ermöglichen. So können schnell und effektiv verschiedene Angebotskonzepte entworfen werden. Die Ausleuchtung des gesamten Möglichkeitsraums eröffnet die Chance, eine maximale Transparenz zu erreichen und führt dadurch schneller zu einer Lösung des vorhandenen Problems. Die Schwachstelle makroskopischer Fahrplanungssysteme liegt in der fehlenden Präzision der Konflikterkennung durch globale Zeitwerte und dadurch in einer fehlenden Fahrbarkeitsprüfung im engen Sinn.

Bereits in der Langfristplanung führen heute die spezifischen Vor- und Nachteile der verschiedenen Fahrplanungssysteme dazu, dass eine Vielzahl von Softwarelösungen für einen eigentlich durchgängigen Prozess eingesetzt werden. Die dadurch bedingten Systembrüche führen zu einer Vielzahl von Schnittstellen, wobei dies im ungünstigsten

Fall bedeutet, dass die Daten zeitaufwendig von Hand übertragen werden müssen. Jeder Systemwechsel birgt das Risiko einer Verschlechterung der Datenqualität, da nicht alle Attribute zwischen den Systemen ausgetauscht werden können – ein bidirektionaler Austausch ist oftmals nicht möglich. All diese Punkte zusammen führen dazu, dass der vorhandene Prozess sehr hohe Kosten erzeugt und der entstehende Zeitaufwand von den Akteuren als nicht mehr zeitgemäß empfunden wird. Die hohe Hemmschwelle, welcher durch die aufwändigen Systemwechsel einhergeht, sorgt dafür, dass heute Systemwechsel möglichst vermieden werden. Darunter leidet die Qualität der zukünftigen Angebotskonzepte, da einerseits auf eine Variantenvielfalt verzichtet wird, andererseits die Software zweckentfremdet eingesetzt wird. Mikroskopische Systeme sollen Fragestellungen der Makroskopie oder umgekehrt lösen, obwohl sie eigentlich dafür nicht optimal geeignet sind. Eine adäquate Qualität der Angebotskonzepte kann aktuell nur durch eine hohe Anzahl an ungewollten Iterationen erzielt werden.

An genau dieser Stelle setzt das im nächsten Kapitel näher erläuterte MoD-Konzept an. Im Kern werden folgende Aspekte verbessert:

- **Integriertes Planungssystem:** Nutzung des makroskopischen Fahrplanungssystems unter Einbeziehung der Mikroskopie «on Demand» durch eine service-orientierte Architektur ohne Systembrüche.
- **Szenariofähigkeit:** Fahrplanbasierte Netzentwicklung unter Einhaltung der regulatorischen Vorgaben inklusive der einfachen Unterstützung von Studieninfrastrukturen.
- **Durchgängiger Prozess:** Leichtgewichtige und stufengerechte Präzisierung der Infrastruktur- und Fahrplandaten inklusive der Unterstützung eines durchgängigen Fahrplanungsprozesses.

Durch diese Kernaspekte ist es möglich, die zukünftige Arbeitsweise weg von der Bedienung und Systempflege von Schnittstellen hin zur eigentlichen Konzeption und Konstruktion von Angebotskonzepten zu lenken. Die Mikroskopie wird nur dann genutzt, wenn die Softwarebediener es wirklich benötigen. Durch dieses Vorgehen wird ein beachtlicher Innovationssprung erreicht. MoD vereint die Stärken der makroskopischen und mikroskopischen Systeme und gibt damit eine wegweisende Richtung für die Zukunft der Fahrplansysteme vor.

3 Abschnitt

Der Begriff «Microscopy on Demand» bezeichnet eine konzeptionelle Architektur mit einer eng begrenzten Anzahl von Architekturbausteinen. Die Architekturbausteine leiten sich dabei direkt aus den mikroskopischen bzw. makroskopischen Anwendungsfällen ab. Diese anwendungsfall-orientierte Perspektive ermöglicht es, das Gesamtsystem in Teil-

systeme zu zerlegen, so dass die Mikroskopie nur verwendet wird, wenn es spezifische Anwendungsfälle erfordern (vgl. Abbildung 1).

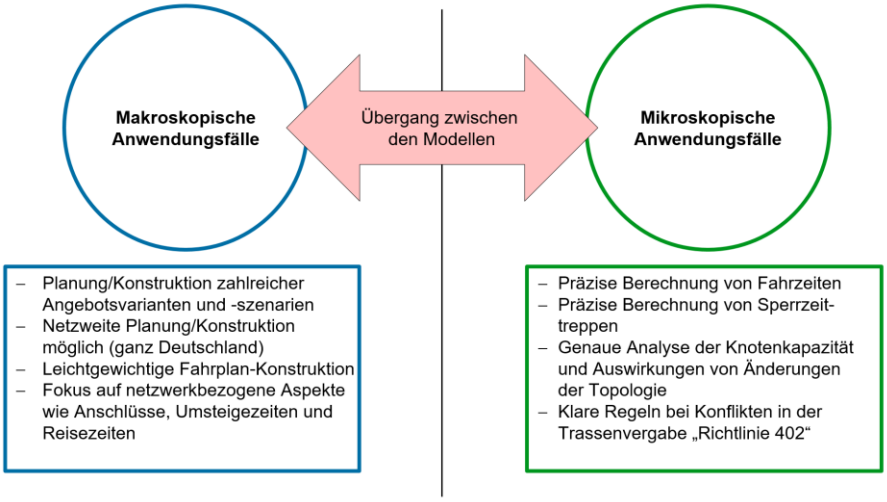

Abbildung 21: Anwendungsfall-orientierte System Dekomposition

Diese anwendungsfall-orientierte Dekomposition des Systems erfordert notwendigerweise einen Mechanismus für den verlustfreien und effizienten Übergang von der makroskopischen in die mikroskopische Welt und zurück. Im Folgenden werden die einzelnen Architekturbausteine dargestellt:

– **Fahrwegreferenzen (Named Routes):** Fahrwegreferenzen sind auf der makroskopischen Seite die einzige notwendige Modellerweiterung. Dabei erhält der Zuglaufknoten als zusätzliche Attribute je eine Referenz auf den ein- bzw. ausfahrenden Fahrweg. Diese Referenz ist auf makroskopischer Seite nur eine Zeichenkette und ohne direkte geometrische oder topologische Bedeutung, erlaubt aber der mikroskopischen Seite die eindeutige Identifikation des gleisscharfen Fahrwegs (vgl. Abbildung 2).

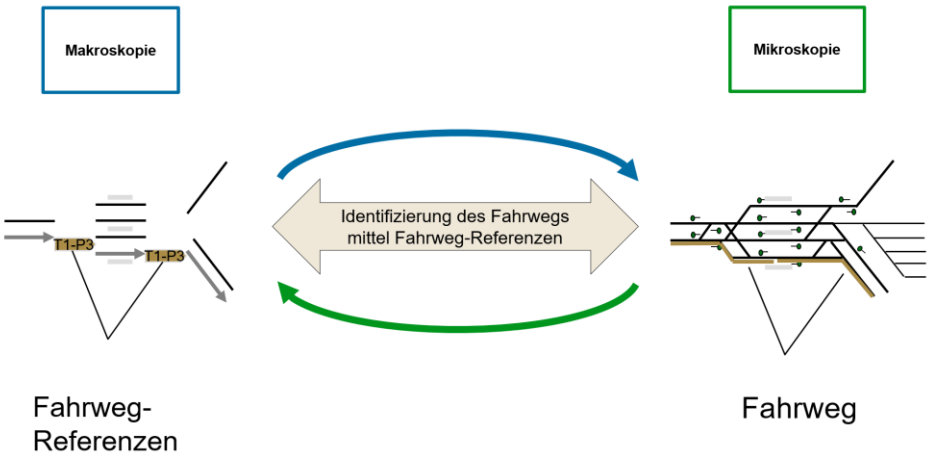

Abbildung 22: Fahrwegreferenzen zur Identifikation des Fahrwegs

Neben der makroskopischen Modellerweiterung sind **vier mikroskopische Services** notwendig: Routing, Fahrzeitrechnung, Konflikterkennung und ein GUI-Service

- **Routing-Service**: Dieser legt für einen makroskopischen Zuglauf einen mikroskopischen, d.h. gleisscharfen, Fahrweg fest. Der mikroskopische Fahrweg wird in Form von Fahrwegreferenzen dem makroskopischen System zurückgegeben.
- **Fahrzeitrechnungs-Service:** Ein Aufruf des Fahrzeitrechnungs-Service enthält nun die Fahrweg-Referenzen. Dank diesen Referenzen kann das mikroskopische System den gleisscharfen Fahrweg referenzieren und eine mikroskopisch genaue Fahrzeitrechnung durchführen.
- **Konflikterkennungs-Service:** Die Belegungen eines makroskopischen Zuglaufs lassen sich analog zur Fahrzeitrechnung berechnen. Die Konflikterkennung unterscheidet sich dann von der Fahrzeitrechnung v.a. in der Hinsicht, dass sie nicht für einen einzelnen Zuglauf, sondern für eine Zuglaufmenge berechnet wird.
- **GUI-Service**: Schliesslich wird durch die Verwendung der Fahrwegreferenzen auch die Einbindung von mikroskopischen Oberflächen im makroskopischen System möglich: Der GUI-Service liefert z.B. für eine gegebene Fahrwegreferenz die schematischen Gleistopologiedaten inklusive verwendeter Fahrwege. Eine andere Möglichkeit besteht darin, eine mikroskopische Sperrzeitentreppe über den GUI-Service anzuzeigen.

Die klare Trennung der Zuständigkeiten in die benannten Architekturbausteine und deren Implementierung als unternehmensweit verfügbare Services kommt einem grossen Schritt in Richtung einer echten serviceorientierten Architektur gleich. Dies ist insbeson-

dere auch deshalb von Nutzen, weil die für das Routing und die Überprüfung der Fahrbarkeit erforderlichen Services auch bei Systemen des Betriebs, z.B. bei modernen Traffic-Management-Systemen, als elementare Bestandteile benötigt werden.

4 Pilot-Implementierung: Viriato und LUKS as a Service

SMA hat in Zusammenarbeit mit VIA-Con MoD im Rahmen eines «Proof of Concept» vollständig implementiert. In dieser Realisierung dient Viriato als makroskopisches System. Die mikroskopischen Services werden von LUKS as a Service (LaaS), eine serviceorientierte Variante von LUKS, zur Verfügung gestellt. Die Implementierung enthält alle oben aufgeführten Architekturbausteine – die GUI-Services bisher nur in einer prototypischen Variante. Das Gesamtsystem wird als «Viriato ←→ LaaS» bezeichnet.

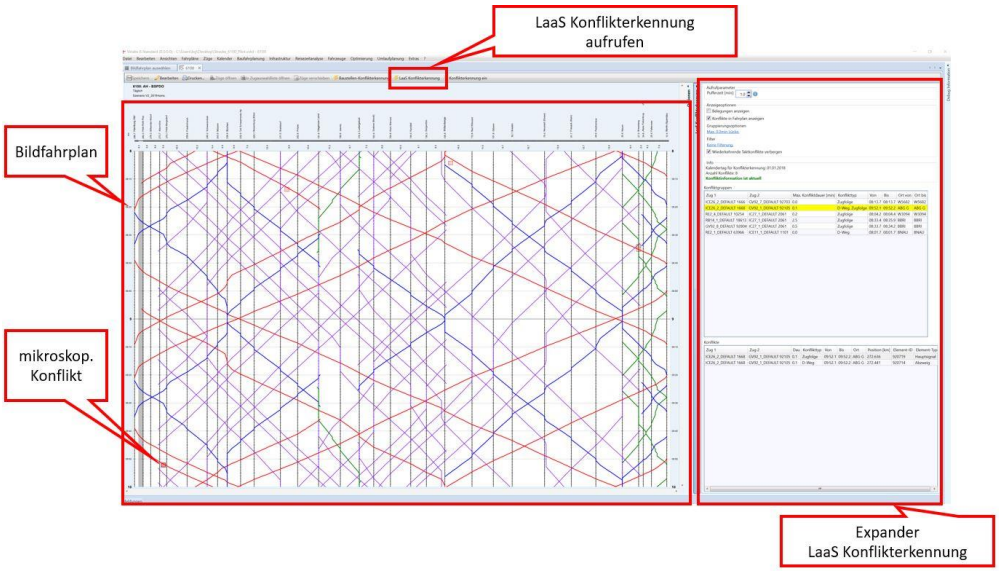

Abbildung 23: Mikroskopische Konflikte im makroskopischen Bildfahrplan

Viriato ←→ LaaS ist bereits in unterschiedlichen Projekten eingesetzt worden. Zusätzlich wurde im Rahmen einer Fallstudie, aus fachlicher Sicht ein systematischer Vergleich mit dem Ist-Zustand durchgeführt. Diese Fallstudie wird in Kapitel 5 näher vorgestellt. An dieser Stelle möchten wir aus technischer Sicht auf die gewonnenen Erkenntnisse eingehen und einige entscheidende Elemente für eine erfolgreiche Umsetzung näher beleuchten:

– **Schnittstellenbeschreibung:** Ein selbstverständliches, jedoch wesentliches Element für eine erfolgreiche Umsetzung ist die Schnittstellenbeschreibung der bereitgestellten Services. Die Schnittstelle ist äußerst einfach gehalten und spezifisch auf MoD zugeschnitten. Für die einzelnen Datenfelder gibt es immer eine Entsprechung im

railML-Format, was sich in der Abstimmung zwischen den Implementationspartnern als sehr hilfreich erwiesen hat.

– **Infrastrukturbereitstellung:** Sowohl das makroskopische System als auch die mikroskopischen Services verwenden je ihre eigene Infrastrukturdatenbank. Diese zwei Infrastrukturstände werden offline erstellt und müssen abgestimmt sein. D.h. sowohl die Betriebsstellen- und Strecken-Ids, als auch die Betriebsstellenabfolge und die Gleisigkeit müssen übereinstimmen. Es sind Weiterentwicklungen angedacht, mit denen es möglich wird, Studieninfrastrukturen wie auch andere Infrastrukturmaßnahmen dynamisch abzugleichen.

Iteratives Vorgehen: Die klaren Zuständigkeiten, die sich aus der System-Dekomposition ergeben, sowie die Verwendung einer wohldefinierten Schnittstelle entkoppeln die Entwicklungstätigkeiten auf mikroskopischer und makroskopischer Seite spürbar. Trotzdem ist eine eng abgestimmte und iterative Vorgehensweise wesentlich für ein rasches Vorankommen.

5 Fallstudie

Im Rahmen einer gemeinsamen dreimonatigen Fallstudie zu Beginn des Jahres 2019 wurde das Softwarekonzept MoD in der Implementierung mit Viriato ←→ LaaS umfassend und erfolgreich getestet. Wichtig ist in diesem Zusammenhang zu erwähnen, dass die eingesetzte Software bereits mit dem Start der Fallstudie weit über dem Stand einer Konzeptidee oder eines Machbarkeitsnachweises hinaus entwickelt war. Bezogen auf die Produktentwicklungsstufen befand sich Viriato ←→ LaaS am Anfang der Fallstudie am Übergang der Phase eines Prototyps hin zu einer Pilotanwendung, welche mit Abschluss der Fallstudie beendet werden konnte. Inzwischen folgen erste Pilotprojekte und bestätigen damit das große Potential von MoD.

Ziel der Fallstudie war die Erstellung eines mikroskopisch fahrbaren Fahrplans im Untersuchungsraum zwischen Hamburg und Berlin. Nach Abschluss der Konzeption und Konstruktion des Personenverkehrs wurde mithilfe des Sättigungsverfahrens die Streckenrestkapazität für den Güterverkehr ermittelt. Der Umfang und Bereich der Fallstudie entspricht realen Untersuchungen in der Fahrplankonzeption. Um das neue Softwarekonzept hinsichtlich seiner Effektivität, Qualität und Nützlichkeit zu beurteilen, wurde dieses mit dem bisher angewandten Verfahren verglichen.

Dabei zeigte sich nach kurzer Zeit, dass sich die erwarteten Vorteile durch Viriato ←→ LaaS einstellten. Anhand des hier kurz skizzierten Arbeitsprozesses werden die veränderten Prozessschritte und Vorteile durch MoD deutlich:

- **Aufsetzen der Daten:** Nach Abgleich der Infrastrukturdatenbanken erfolgt der Aufbau des Zugmodells durch Eingabe des makroskopischen Laufwegs, der Taktung sowie das Hinterlegen des gewünschten Rollmaterials. Mithilfe der Nutzung des Routing- und Fahrzeitrechnung-Service werden die exakten gleisscharfen Fahrzeiten durch eine Massenoperation ermittelt. Bereits geplante Gleisbelegungen werden beim Routing nach Möglichkeit berücksichtigt, andernfalls wird der Fahrweg auf Basis der prioritären Fahrwege neu geroutet. Durch die frühe Möglichkeit, mikroskopische Informationen, ohne den Ballast eines schwergewichtigen mikroskopischen Fahr-planungssystems anzureichern, kann die Qualität der anfangs makroskopischen Fahrplandaten sofort und ohne nennenswerten Aufwand angehoben werden. Im Vergleich zu den bisherigen Ausgangsbedingungen startet man nun mit einer deutlich präzisieren Ausgangslage in die Konzeption.
- **Konzeption:** Im zweiten Prozessschritt erfolgt wie bisher auch die Entwicklung von verschiedenen Fahrplanvarianten. Hierbei kann auf den vollen und erprobten Funktionsumfang makroskopischer Software zurückgegriffen werden. Entsteht durch die Entwicklung von Angebotskonzepten die Notwendigkeit Studieninfrastrukturen abzuleiten, kann dies im makroskopischen Modell schnell und ohne große Aufwände umgesetzt werden. Dadurch ist es auch zukünftig möglich innerhalb kurzer Zeit eine große Anzahl an Varianten zu entwickeln. Stufengerecht und bei Bedarf kann neu auch eine Konflikterkennung genutzt werden. Dies Ermöglicht den frühzeitigen Ausschluss von nicht umsetzbaren Varianten bspw. durch eine zu knappe Zugfolge. Im bisherigen Verfahren konnte eine zu knappe Zugfolge nur vermutet, jedoch nicht ohne aufwendigen Modellwechsel bestätigt werden. In den Bereichen, wo eine Studieninfrastruktur definiert wurde, steht in diesem Prozessschritt noch keine mikroskopische Fahrbarkeitsprüfung zur Verfügung. Jedoch kann außerhalb dieses Bereichs jederzeit eine Überprüfung der Fahrbarkeit angestoßen werden.
- **Konstruktion:** Nach der Entwicklung des Variantenspektrums werden die Vorzugsvarianten bestimmt und auf ihre konkrete Fahrbarkeit hin untersucht. In diesem Prozessschritt wird auch die abgeleitete Studieninfrastruktur in der mikroskopischen Datenbank nachgepflegt, sodass auf allen Abschnitten eine exakte Prüfung der Fahrbarkeit mithilfe des Konflikterkennungs-Service durchgeführt werden kann. Die Konflikte werden mikroskopisch präzise im makroskopischen Bildfahrplan (zukünftig auch in der Gleisbelegung) abstrahiert. Die integrierte Konfliktliste beinhaltet weitere Informationen über die Dauer, Ort und Art des Konflikts sowie die betroffenen Züge. Die vielen mikroskopischen Konflikte werden intelligent aggregiert, so dass der Nutzer sich auf die wesentlichen Aspekte konzentrieren kann. Nach Herstellung der Konfliktfreiheit schon im makroskopischen System, sind sowohl alle Prozessschritte der

Konzeption wie auch der Konstruktion aus einem einzigen Tool heraus abgeschlossen. Bisher war es für die Durchführung dieses Prozessschrittes nötig, einen Softwarewechsel durchzuführen oder im Extremfall sogar sämtliche Fahrplandaten per Hand zu übertragen.

– **Simulation:** Bei Bedarf kann in einem letzten Schritt noch eine Simulation der Ergebnisse, z.B. in LUKS, durchgeführt werden. Neu ist hier, dass die Planungsgüte und Qualität der Daten keine Aufbereitung der Daten mehr notwendig machen. Durch die gespeicherten «named routes» kann jeder Zuglauf sofort von dem mikroskopischen System interpretiert und verarbeitet werden. So ist es möglich, ohne einen Bruch zwischen den Systemen Daten auszutauschen.

Mithilfe der Fallstudie konnte nachgewiesen werden, dass die Dauer des Prozesses in signifikantem Umfang verkürzt werden kann. Die Möglichkeit aus einem einzigen Planungssystem heraus sowohl die Prozessschritte der Konzeption als auch der Konstruktion durchzuführen, ohne dabei einen Systemwechsel und –bruch in Kauf nehmen zu müssen, sorgt für eine wesentlich höhere Effizienz. Dabei wird im gleichen Zug die Qualität der Planung erhöht und durch das frühzeitige und zielgerichtete Nutzen der mikroskopischen Informationen, wie auch das Erkennen von nicht zielführenden Varianten, die Anzahl der Iterationen signifikant verringert. Das integrierte Aufrufen einer mikroskopischen Konflikterkennung aus einem makroskopischen System heraus ist dabei schnell und performant möglich. Durch bisher noch nicht umgesetzte Weiterentwicklungsmöglichkeiten ist von einer weiteren Verbesserung des MoD-Konzepts auszugehen.

6 Zusammenfassung und Ausblick

«Microscopy on Demand» ist eine konzeptionelle Architektur, die unterschiedliche Realisierungen auf Basis der Anforderungen von verschieden Infrastrukturbetreibern ermöglicht. Die Architektur führt zu einem durchgängigen Planungsprozess ohne Systembrüche und vereint die Flexibilität und Effizienz der makroskopischen Planung mit der Präzision der Mikroskopie, wenn diese benötigt wird.

Die Tragfähigkeit von MoD konnte im Rahmen der Implementierung Viriato ←→ LaaS nachgewiesen werden. In einer ausführlichen Fallstudie wurden die hohen Erwartungen bezüglich Durchgängigkeit der Planung und Steigerung der Produktivität bestätigt sowie teilweise übertroffen.

Aktuell werden die ersten kommerziellen Planungsprojekte mithilfe der neuen Softwarearchitektur durchgeführt. Diese ermöglicht eine stufengerechte, fahrplanbasierte Netzentwicklung mit einer zeitgemäßen Software- und Architekturlösung.

Zukünftig ist geplant, die Anzahl an Systemwechseln und -brüchen im Prozessverlauf von der Konzeption bis zur Konstruktion weiter zu reduzieren. Dazu gehört eine verbesserte Systemunterstützung im Umgang mit Studieninfrastrukturen und Infrastruktur-Varianten. Ebenfalls ausbaufähig sind die GUI-Services, die aus Benutzersicht die makroskopische und mikroskopische Welt noch stärker integrieren. Schliesslich sind künftig Realisierung mit weiteren mikroskopischen Systemen denkbar.

Autoren

Glaus, Björn

Björn Glaus hat an der ETH Zürich Informatik mit Nebenfach Operations Research studiert. Seit 2005 arbeitet er bei SMA und Partner AG in der Software Abteilung und war maßgeblich an der Entwicklung von Viriato 8 beteiligt. Er leitet heute die Software Produktion der SMA.

von Olnhausen, Trutz

Trutz von Olnhausen hat an der TU Berlin einen Master im Bereich Planung- und Betrieb im Verkehrswesen erworben. Nach drei Jahren bei der SMA (Deutschland) GmbH als Consultant und Key Account Manager ist er nun für die DB Fernverkehr AG als Senior-Koordinator Bereitstellungspünktlichkeit tätig.