

# Aktuelle Forschung: „The Virtual Cable Liner“

Seilbetriebene Automated People Mover (APM) drängen verstärkt als kostengünstiges und umweltfreundliches Nahverkehrssystem auf den Markt. In einem internationalen Forschungsprojekt werden neue Methoden entwickelt, um diese Nahverkehrssysteme hinsichtlich Komfort und Wirtschaftlichkeit zu optimieren.

**Der Personentransport** in Bereichen mit hohem Beförderungsbedarf wie Flughäfen, Messen oder Stadtzentren wird immer häufiger mit APM-Systemen durchgeführt. Diese Nahverkehrssysteme zeichnen sich neben dem automatischen Betrieb durch eine Spurführung und einen separaten Fahrweg aus.

Neben APM mit fahrzeugfesten Antrieben kamen in jüngerer Vergangenheit verstärkt seilbetriebene Systeme zum Einsatz, da diese wirtschaftliche und architektonische Vorteile aufweisen. Die ISR hat bereits mehrmals über die aktuellen Entwicklungen in diesem Bereich berichtet. So konnte Doppelmayr Cable Car (DCC), ein Unternehmen der Doppelmayr-Gruppe, vor kurzem den größten Auftrag der Firmengeschichte mit einem seilbetriebenen APM lukrieren (ISR 5/2010). Auf die technischen Ausführungen dieser Systeme durch die Hersteller DCC, Leitner und Poma-Otis wurde ausführlich in der ISR 5/2008 eingegangen.

Aktuell befinden sich vor allem Systeme im Einsatz, bei welchen die Fahrzeuge durch betrieblich nicht lösbare Klemmen oder anhand von Seilendverbindungen mit dem Seiltrieb verbunden sind. Folglich werden die Fahrzeuge durch den Seiltrieb beschleunigt und wieder abgebremst. Eine Weiterentwicklung dieser Variante stellen die so genannten „Pinched Loop“-Systeme dar, bei denen durch ein Umklemmen der antreibenden Seilschleife im Stillstand anstatt des konventionellen Pendelbetriebs ein Umlaufbetrieb der Fahrzeuge realisiert werden kann.

## Auslegung von seilbetriebenen APM-Systemen

Aufgrund der seilbahntechnischen Ähnlichkeit der oben genannten seilbetriebenen APM-System mit konventionellen Standseilbahnen kommen im Zuge der rechnerischen Auslegung die gängigen Seilbahnnormen

(EN 12930, ANSI B77.1) zur Anwendung. Zusätzliche APM-spezifische Vorgaben ergeben sich aus dem ASCE-Code (z. B. ASCE 21-98).

Die genannten Regulierungen stellen zwar alle Methoden zur sicheren Auslegung der Systeme zur Verfügung, die technische Optimierung hinsichtlich Betriebsfestigkeit, Komfort und Förderleistung erfordert jedoch weiterführende Berechnungsmethoden, welche bis dato noch nicht in gewünschter Form zur Verfügung standen.

Aus diesem Grund wurde am „Kompetenzzentrum – Das Virtuelle Fahrzeug“ (ViF) in Graz das Forschungsprojekt „The Virtual Cable Liner“ mit dem Ziel ins Leben gerufen, neue Methoden für die rechnerische Auslegung von seilbetriebenen APM zu entwickeln. Als Referenzsystem wurde hierfür das neue APM von DCC in Las Vegas herangezogen (ISR 1/2010). Neben DCC fungieren die Schweizer „Kontrollstelle IKSS“ und das Institut für Eisenbahnwesen der TU Graz als weitere Forschungspartner (Bild 1).

## Schwerpunkte des Forschungsprojektes

Die Dynamik eines seilbetriebenen APM-Systems ist durch die komplexe Interaktion von Fahrzeug, Fahrweg und Seiltrieb gekennzeichnet, wobei insbesondere in longitudinaler und lateraler Richtung eine starke Kopplung aller drei Teilsysteme besteht. Zu Projektbeginn wurde die Vorausberechnung der Fahrzeug-Fahrweg-Interaktion mit Hilfe von Programmen für Mehrkörper-

systeme (MKS) als Stand der Technik angesehen. Hier können jene Methoden herangezogen werden, welche im Straßen- und Schienenfahrzeugbereich vor allem in den letzten beiden Jahrzehnten entwickelt wurden.

Die Abbildung des Seiltriebs und dessen Interaktion mit den Fahrzeugen zeigte sich jedoch als schwarzer Fleck auf der „Modellierungslandkarte“. Eine ganzheitliche dynamische Vorausberechnung des seilbetriebenen APM-Systems scheiterte somit am Fehlen eines entsprechenden Seilmodells.

Der Schwerpunkt des Forschungsprojekts liegt daher in der Entwicklung einer entsprechenden Modellierungstechnik für den Seiltrieb. In einem zweiten Schritt wird das Seilmodell prototypisch in ein MKS-Programm implementiert. Dies soll im dritten Schritt im Verbund mit entsprechenden Fahrzeugmodellen eine integrierte Simulation des seilbetriebenen APM-Systems ermöglichen. Schlussendlich werden die Simulationsergebnisse anhand von Versuchen an einer Gesamtanlage validiert.

## Entwicklung des Seilmodells

Als Grundlage für die Entwicklung des Seilmodells diente die Identifikation und Bewertung der maßgebenden physikalischen Phä-



Bild 1: Projektteam „The Virtual Cable Liner“ (vlnr): Martin Rosenberger (ViF), Christian Nußbaumer (ViF), Georg Kopanakis (IKSS), Lothar Schmidt (DCC), Reto Canale (IKSS), Josef Nejez (TU Graz)

Foto: DCC

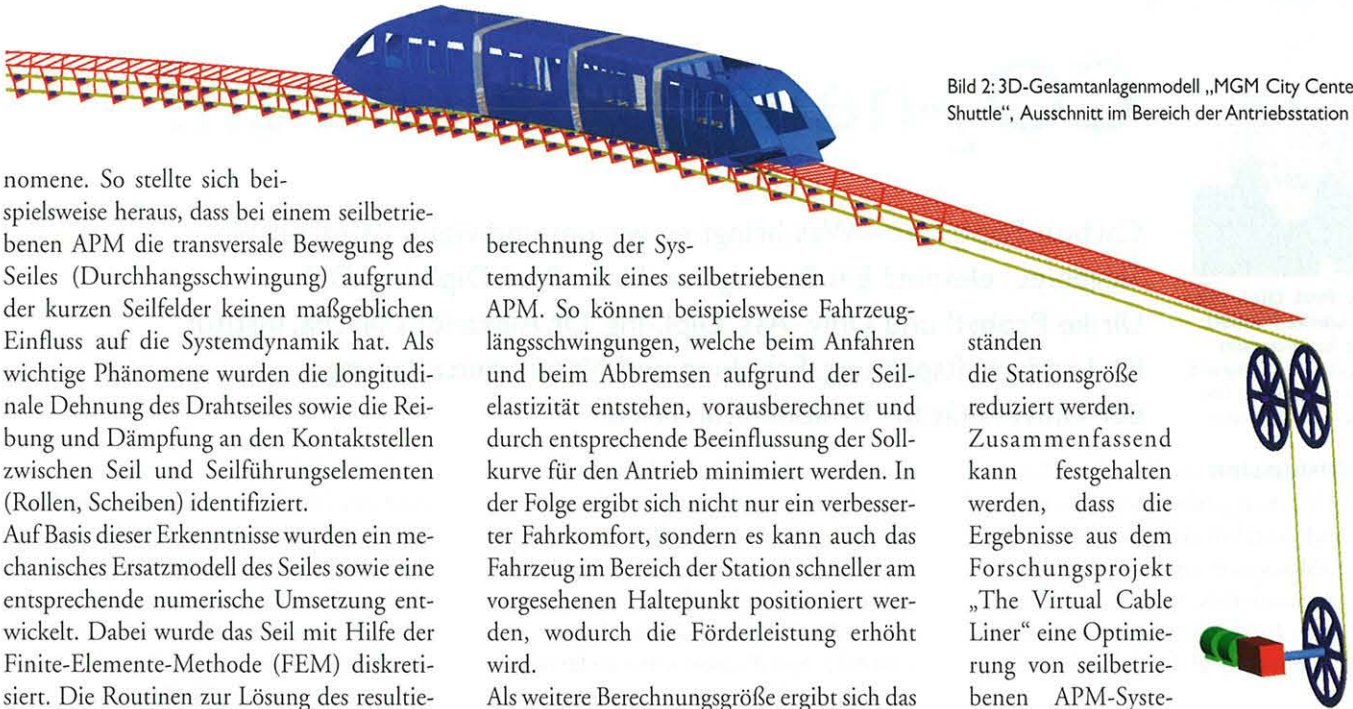


Bild 2: 3D-Gesamtanlagenmodell „MGM City Center Shuttle“, Ausschnitt im Bereich der Antriebsstation

nomene. So stellte sich beispielsweise heraus, dass bei einem seilbetriebenen APM die transversale Bewegung des Seiles (Durchhangsschwingung) aufgrund der kurzen Seilfelder keinen maßgeblichen Einfluss auf die Systemdynamik hat. Als wichtige Phänomene wurden die longitudinale Dehnung des Drahtseiles sowie die Reibung und Dämpfung an den Kontaktstellen zwischen Seil und Seilführungselementen (Rollen, Scheiben) identifiziert. Auf Basis dieser Erkenntnisse wurden ein mechanisches Ersatzmodell des Seiles sowie eine entsprechende numerische Umsetzung entwickelt. Dabei wurde das Seil mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode (FEM) diskretisiert. Die Routinen zur Lösung des resultierenden Gleichungssystems wurden in die bestehende MKS-Umgebung SIMPACK integriert, welche als Standardsoftware im Schienenfahrzeugbereich angesehen werden kann.

## Validierung

Die Gültigkeit der Modellierungstechnik wurde anhand von Messdaten aus Gesamtanlagenversuchen überprüft, welche im Rahmen des Forschungsprojektes im August 2009 am „MGM City Center Shuttle“ in Las Vegas durchgeführt wurden. Die messtechnische Erfassung der Systemdynamik erfolgte dabei durch den Einsatz von moderner GPS-Messtechnik.

Die dynamischen Vorgänge werden aktuell mit einem 3D-Gesamtanlagenmodell, welches das neue Seilmodell beinhaltet, nachgestellt (Bild 2). Die relevanten physikalischen Größen aus Messung und Simulation, wie beispielsweise Fahrzeugbeschleunigungen und Seilkräfte, werden dabei einem Vergleich unterzogen. Insbesondere die virtuelle Nachstellung der Notbremssituationen zeigt hierbei bereits eine sehr gute Korrelation (Bild 3). In weiteren Arbeitspaketen wird eine Optimierung des Seilmodells hinsichtlich der Reibungseffekte erfolgen, um die Prognosegüte weiter zu steigern.

## Anwendung in der Praxis

Die Anwendung der entwickelten Berechnungsmethode ermöglicht bereits in einer frühen Projektierungsphase die Voraus-

berechnung der Systemdynamik eines seilbetriebenen APM. So können beispielsweise Fahrzeuglängsschwingungen, welche beim Anfahren und beim Abbremsen aufgrund der Seil-elastizität entstehen, vorausberechnet und durch entsprechende Beeinflussung der Sollkurve für den Antrieb minimiert werden. In der Folge ergibt sich nicht nur ein verbesserter Fahrkomfort, sondern es kann auch das Fahrzeug im Bereich der Station schneller am vorgesehenen Haltepunkt positioniert werden, wodurch die Förderleistung erhöht wird.

Als weitere Berechnungsgröße ergibt sich das erforderliche Antriebsmoment, wonach sich die Auslegung der elektrischen Systeme richtet. Zusätzlich lassen sich durch das Gesamtanlagenmodell die Betriebslasten im Fahrzeug bestimmen, welche eine wichtige Basis für einen effizienten Fahrzeuggestaltbau darstellen. Das integrierte Seilmodell liefert dabei die dynamischen Seilkräfte, die u. a. die Lebensdauer des Drahtseiles beeinflussen.

Neben Standardzyklen des Fahrbetriebs können auch außerbetriebliche Szenarien wie beispielsweise Notbremsungen nachgestellt werden. Hier sind vor allem die Fahrzeuglängsbeschleunigungen von Interesse, welche laut ASCE-Code einen Wert von 0.25 g nicht überschreiten dürfen. Anhand des Simulationsmodells können das Bremsenkonzept und dessen Abstimmung vorab getestet und somit kostenaufwändige Nachbesserungen während der Inbetriebnahme vermieden werden. In Notbremssituationen treten im Allgemeinen auch die maximalen Verfahwege der Spannvorrichtung auf. Mit Hilfe des Berechnungsmodells können diese Maximalwege sehr genau vorausberechnet und unter Um-

ständen die Stationsgröße reduziert werden. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt „The Virtual Cable Liner“ eine Optimierung von seilbetriebenen APM-Systemen hinsichtlich Komfort und Wirtschaftlichkeit ermöglichen und in der Folge einen wertvollen Beitrag zur Konkurrenzfähigkeit dieser urbanen Seilbahnsysteme leisten.

*Christian Nufßbaumer*

## INFOBOX

Das „Kompetenzzentrum – Das Virtuelle Fahrzeug (ViF)“ ist eine Forschungseinrichtung an der TU Graz mit dem Schwerpunkt der virtuellen Produktentstehung.

Derzeit arbeiten 150 MitarbeiterInnen an der Entwicklung neuer Technologien, Methoden und Werkzeuge für einzelne Berechnungsdisziplinen sowie deren Integration in den Entwicklungsprozess.

Das ViF schafft eine effiziente Brücke zwischen universitärer Forschung und industrieller Vorentwicklung, welche durch die Kombination von angewandter Forschung und hoher Forschungsförderung aus dem COMET-Programm gesichert wird.

Weitere Informationen: <http://www.v2c2.at>

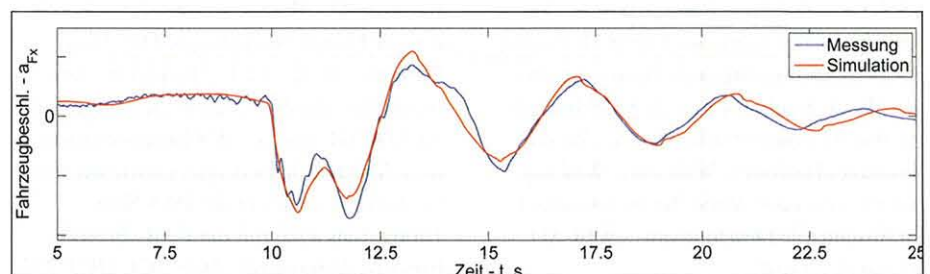


Bild 3: Vergleich von Messung und Simulation: Fahrzeuglängsbeschleunigung bei einer Notbremsung