

## LITERATUR

[ZNA08] J. Zimmermann, A. Nealen und M. Alexa, „Sketch-based Interfaces: Sketching contours,“ *Comput. Graph.*, Bd. 32, pp. 486-499, 10 2008.

[EHB+11] M. Eitz, K. Hildebrand, T. Boubekeur und M. Alexa, „Sketch-based image retrieval: Benchmark and bag-of-features descriptors,“ *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, Bd. 17, pp. 1624-1636, 2011.

[ERB+12] M. Eitz, R. Richter, T. Boubekeur, K. Hildebrand und M. Alexa, „Sketch-Based Shape Retrieval,“ *ACM Transactions on Graphics (Proceedings SIGGRAPH)*, Bd. 31, pp. 31:1--31:10, 2012.

[ERH+11] M. Eitz, R. Richter, K. Hildebrand, T. Boubekeur und M. Alexa, „Photosketcher: interactive sketch-based image synthesis,“ *IEEE Computer Graphics and Applications*, Bd. 31, pp. 56-66, 2011.

[HA13] K. Hildebrand und M. Alexa, „Sketch-Based Pipeline for Mass Customization,“ *Rethinking Prototyping: Proceedings of the Design Modeling Symposium Berlin*, pp. 465-477, 2013.

[KSH12] A. Krizhevsky, I. Sutskever und G. Hinton, „Imagenet classification with deep convolutional neural networks,“ in *Advances in neural information processing systems*, 2012.

[EHA12] M. Eitz, J. Hays und M. Alexa, „How Do Humans Sketch Objects?,“ *ACM Trans. Graph.* (Proc. SIGGRAPH), Bd. 31, pp. 44:1--44:10, 2012.

[YYL17] Q. Yu, Y. Yang, F. Liu, Y.-Z. Song, T. Xiang und T. M. Hospedales, „Sketch-a-net: A deep neural network that beats humans,“ *International Journal of Computer Vision*, Bd. 122, pp. 411-425, 2017.

[SDM15] O. Seddati, S. Dupont und S. Mahmoudi, „DeepSketch: Deep convolutional neural networks for sketch recognition and similarity search,“ in *2015 13th International Workshop on Content-Based Multimedia Indexing (CBMI)*, 2015.

[SDM16] O. Seddati, S. Dupont und S. Mahmoudi, „DeepSketch 2: Deep convolutional neural networks for partial sketch recognition,“ in *2016 14th International Workshop on Content-Based Multimedia Indexing (CBMI)*, 2016.

[C17] F. Chollet, *Keras: Deep Learning library for Theano and TensorFlow*. 2017.

[SVS+15] T. N. Sainath, O. Vinyals, A. Senior und H. Sak, „Convolutional, long short-term memory, fully connected deep neural networks,“ in *Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, 2015 *IEEE International Conference on*, 2015.

## KONTAKT

Prof. Dr. Kristian Hildebrand  
Beuth Hochschule für Technik Berlin  
Fachbereich VI/Informatik und Medien  
Luxemburger Straße 10, 13353 Berlin  
Internet: <http://hildebrand.beuth-hochschule.de>

# Multi-Channel-Anwendungen: MPEG-DASH-Standard und Transportstreams

Prof. Dr. phil. Jürgen Lohr

## KURZFASSUNG

Für die Kommunikations- und Medientechnologien wurde ein neuer Standard entwickelt, die Dash-Technologie, welche viele Endgeräte an den unterschiedlichsten Netzwerken unterstützt. Die Beuth Hochschule forscht an zukünftigen interaktiven Medienbeiträgen und wie diese produziert, übertragen und dargestellt werden können. Kennzeichnend hierbei ist, dass die untersuchten interaktiven Medienbeiträge im Hypermedial-Verfahren verlinkt und im Multi-Channel-Verfahren mit vielen Audio- und Video-Spuren angereichert sind.

## ABSTRACT

For communications and media technologies, a new standard, the Dash technology, has been developed. This standard supports many terminal devices in different networks. The Beuth University of Applied Sciences does research on future interactive media contributions and examines how they can be produced, webcasted and provided to the users. Characteristic of this is that the examined interactive media contributions are linked via hypermedia procedures and are enriched in the multi channel process with many audio and video tracks.

## SCHLAGWÖRTER

Medienunternehmen, Kommunikations- und Medientechnologien, Endgeräte, Netzwerke, Dash-Technologie, Einsatzfelder, Beuth Hochschule, Forschung, Transportstreams, Multi-Channel-Verfahren, Audio- und Videospuren

## EINLEITUNG

Im Rahmen des Forschungsprojekts „Medien-Systeme für Business-TV“ beschäftigt sich ein Team rund um die BeuthBox-Plattform mit der Entwicklung eines Systems zur Übertragung von mehrkanaligen Medienbeiträgen über öffentliche Netzwerke und unternehmensweites Intranet. Im Fokus des Projektes stehen Einsatzszenarien für Bildung, Unternehmenskommunikation und Unterhaltung. Ausgehend von den Aspekten des Forschungsprojekts wurde eine Erweiterung des Ansatzes zur technologischen Machbarkeit vorgenommen, sodass ein dauerhafter, qualitativ hochwertiger und prozess-optimierter Betrieb möglich wird.

Wichtige Prozesse bei der Bereitstellung von Medien-systemen sind Vorplanung, Aufzeichnung, Bereitstellung, Übertragung, Darstellung und Nachverfolgung von Medienlieferungen. Die Prozesse beschreiben die kreative Phase bis hin zur Nutzungsphase der Medienbeiträge in einem Portalsystem mit einer interaktiven Client-Applikation auf einem Endgerät. Dabei können Medienbeiträge, z. B. Vorlesungen, Schulungen, Präsentationen und weitere Anwendungsbereiche, im interaktiven Hypermedien-Verfahren oder Multi-Channel-Verfahren angeboten werden. In den Medienbeiträgen können dann beliebig viele virtuelle Elementarbeiträge kombiniert oder beliebig viele virtuelle Elementar-Videospuren- und Audiospuren synchron verarbeitet und übertragen werden. Medienbeiträge, die im Multi-Channel-Verfahren übertragen und aufgezeichnet werden, bieten die Möglichkeit, individuellere Informationen bereitzustellen als es die bisherigen, verbreiteten Single-Channel-Verfahren können. Der Einsatz einer interaktiven Anwendung gestattet es dem Nutzer, die unterschiedlichen Medienbeiträge aus unterschiedlichen Kanälen zu selektieren.

So kann sich der Betrachter bei der Übertragung eines Medienbeitrags die Sprachen und die Blickwinkel aussuchen, da mehrere Audioquellen und mehrere Videofenster synchronisiert dargestellt werden.

**MPEG-DASH-Technologie**

Die aktuelle Forschung im Bereich der Videostreaming-Technologie beschäftigt sich mit MPEG-DASH. Die Standardisierung dieser Technologie im Jahr 2012 hat heute einen stabilen Zustand erreicht, sodass zuverlässige Übertragungen realisiert werden können. MPEG-DASH steht für dynamisches bitrate-adaptives Streaming und wird mittels des allgegenwärtigen Hypertext Transport Protocol durch alle Netze geleitet. Durch Nutzung verschiedenster Audio- und Videocodexs können vom Streaming-Server verschiedenste Endgeräte, wie z. B. PC, Tablet und Smartphone, erreicht werden.

Der Einsatz des MPEG-Dash-Standards bei Internetübertragungen stellt eine unterbrechungsfreie Übertragung auch bei schwankenden Bandbreitkapazitäten sicher. Bei der Übertragung einer Business-Videoinformation aus einem Unternehmensportal kann beispielsweise die maximale Bandbreite nicht immer zur Verfügung gestellt werden. Der Vorteil der MPEG-Dash-Technologie liegt in der Fehlertoleranz bei der Netzwerkverbindung.

Eine unterbrechungsfreie Übertragung wird garantiert, indem Geschwindigkeitsschwankungen der Datenübertragung in Telekommunikationsnetzen ausgeglichen werden. Diese Unterbrechungsfreiheit der Datenübertragung wird durch die ständige, automatisierte Anpassung der Datenrate für Audio und Video erzielt. Es wird mit der Übertragung einer kleinen Bandbreite begonnen und Stück für Stück zur höchsten verfügbaren Qualität hochgearbeitet, wenn die entsprechende Bandbreite zur Verfügung gestellt wird.

Für die Übertragung der Video- und Audiokanäle vom Encoder zum Server wird das im Jahr 1995 standardisierte MPEG-PS genutzt. Der Übertragungsstrom wird am Server in Programmstreams mit MPEG-Dash weitergeleitet. Der Übertragungsstrom ins Internet hinein wird auch dann nicht unterbrochen, wenn die Verbindung zwischen

Sender und Empfänger gestört ist. Zwar können einzelne Pixel- und Bildfehler auftreten, welche beim Betrachten von Videos jedoch nicht oder nur selten vom Betrachter wahrgenommen werden, da der Gesamtkontext zumeist erkennbar ist.

**MPEG-DASH & Hypermedia**

Unter Hypermedia werden Medienbeiträge verstanden, die aus Medienelementen zusammengesetzt sind. Die Medienelemente können aus mehreren Videos, Audios, Bildern und Texten bestehen. Sie können nacheinander oder parallel zusammengesetzt werden. Bisher wurde nur ein Audio oder ein Video parallel mit Bild und Text kombiniert. Auf dem Server sind Mediendateien abgelegt, die einen festen Ablauf haben. Bei virtuellen Medienbeiträgen wird der Ablauf unterbrochen und ein virtueller Schnitt sowie eine virtuelle Bildmischung werden durchgeführt.

**Beiträge**

Um Medienbeiträge im Content-Management-System einzustellen, war bisher Rohmaterial notwendig, das festgelegte Eigenschaften besaß. Zu den visuellen, auditiven oder textuellen Eigenschaften gehören ein bestimmtes technisches Format, ein bestimmter Ausschnitt und ein bestimmter Klang oder eine Darstellung. Wenn das Rohmaterial von hochwertiger medialer Qualität bezüglich Ausschnitt und Darstellung ist, sind lediglich wenige Arbeiten, wie z. B. eine technische Formatierung, notwendig. Fortschrittliche Content-Management-Systeme erfordern bei der Medienbeitragsintegration (content upload) lediglich die Anpassung des technischen Formats für den jeweiligen Distributionskanal in automatisierten Abläufen.

Im Prozessabschnitt „Formatierung“ werden die hoch aufgelösten Informationen und Daten des Rohmaterials in ein komprimiertes Datenformat überführt. Der hohe Informationsgehalt des Rohmaterials wird in ein reduziertes Datenformat überführt, damit auch bei den kleinsten Übertragungskapazitäten die relevantesten Daten schnell zum Nutzer gelangen können. Im Beuth-System

wurden die automatisierten Produktionsprozesse für die fünf Qualitätsstufen bereits integriert: Von Ultra-Low-Quality mit 270p15 bis hin zur High-Quality mit 1080p25. Im Content-Management-System (CMS) sind die Zustände des automatisierten Prozesses erkennbar, bei dem das grüne Label die erfolgreiche Konvertierung beschreibt, ebenso wie die Möglichkeit, vom Endgerät auf dieses Dateiformat zuzugreifen.

**Virtuelle Beiträge**

Neuartig sind automatisierte Prozesse für das Schneiden und für eine grundlegende grafische oder klangliche Aufwertung für CMS-gestützte Medienbeiträge über ein zentralisiertes Portal. Der Prozess verlagert sich bei der Durchführung von der Produktionsstufe zur Darstellungsstufe. Das bedeutet, dass das Endgerät vor der Darstellung die Arbeiten für die Prozesse des Schneides und des grafischen oder klanglichen Aufwertens übernimmt. Somit wird eine Prozessverlagerung erreicht und die Distributionsstufe mit CMS, Content- u. Streaming-Server und Netzwerk übersprungen.

Unter dem Prozessabschnitt „Schneiden“ können Anfang und Ende eines Beitrages bestimmt werden. Darüber hinaus sind auch Einblenden für Audiolautstärke oder Bildhelligkeit möglich. Im Prozessabschnitt „Aufwertung“

können Logos, Farbstil oder Klangstil für den gesamten Beitrag bestimmt werden.

Bei einem virtuellen Medienbeitrag wird somit das Rohmaterial aus der Produktionsstufe bereitgestellt. Beiträge bestehen aus zwei zeitlichen Ereignissen: Anfangs-Timecode und Ende-Timecode. Durch die Angaben zum File-Anfang und zum File-Ende wird der öffentliche Beitrag in seinen absoluten Beitragsgrenzen definiert. Durch Angaben für Beitragsanfang und Beitragsende werden die relativen Beitragsgrenzen definiert. Wenn der Redakteur keine Unterschiede macht, sind Anfang und Ende für Rohmaterial und Beitrag gleich. Es liegen zumeist geschnittene Beiträge vor. Wenn der Redakteur jedoch einen Unterschied zwischen File und Beitrag macht, hat der Zuschauer die Möglichkeit, im Material zu recherchieren. Über die Beitragsgrenzen hinaus kann eine Einleitung und eine Weiterführung verfolgt werden. In diesem Fall sind Anfang und Ende für Rohmaterial und Beitrag ungleich (siehe Abb. 1).

**MPEG-DASH und Multi-View**

Bei einer Multi-View-Anwendung bietet der Player für den Nutzer die Möglichkeit, in einem großen Darstellungsfenster (Main-View) ein Bild groß darzustellen sowie drei weitere Bilder in kleinerer Darstellung (Preview)

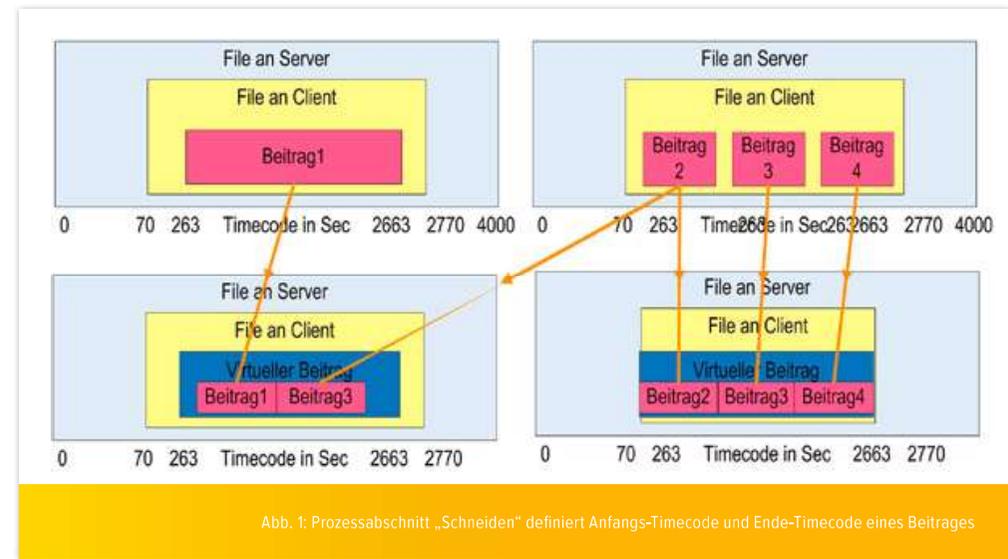


Abb. 1: Prozessabschnitt „Schneiden“ definiert Anfangs-Timecode und Ende-Timecode eines Beitrages

zu präsentieren. Durch Anklicken der kleineren Bilder kann der Nutzer dabei diese auf das Main-View verschieben und sie dementsprechend vergrößern. Dieses verlagert den Blickwinkel und kann darüber interaktiv entscheiden. Für die Auswahl der Tonspur ist ebenfalls eine Interaktion möglich. Die BeuthBox-Plattform integriert die Vorentwicklung eines Multichannel-Systems zur Übertragung von mehrkanaligen Medienbeiträgen über öffentliche Netzwerke und unternehmensweites Intranet. Für die Übertragung der Video- und Audiokanäle vom Encoder zum Server wird das standardisierte MPEG-Transportstreamprotokoll (TS) genutzt. Dabei ist die Basis des Servers und des Players am Client die Dash-Technologie. Die Abbildung 2 zeigt einen Dashplayer „Dashplayer MC1“ als Multi-View-Player mit dem Medienbeitrag „Rock Am Platz“ (Einsatzfeld Unterhaltung) im Beuth-Portal. Dieser Player ermöglicht die Darstellung von

vier Videokanälen und einem Stereo-Audio-Kanal. Hier kann der Zuschauer die Größe der einzelnen Videos selbst auswählen. Die Auswahl der Audiospur wird vom Redakteur vorgegeben. Wird der Player im Full-Screen-Mode betrieben, wird das Main-View im Vollbild gezeigt und die weiteren Videos als Picture-In-Picture überlagert in der oberen rechten Ecke dargestellt (siehe Abb. 2).

#### TRANSPORTSTREAMS (TS)

Vom Encoder im Live-Verfahren oder vom Datenspeicher im On-Demand-Verfahren kommt der Übertragungsstream im TS-Protokoll und wird am Server als Programmstream (PS) ins MPEG-Dash-Format gewandelt. Das Multi-Channel-Material kann in der Transportstream-Technologie MPEG-TS für Aufzeichnung, Verwaltung und Übertragung bis zum Streaming-Server Verwendung



Abb. 2: Dashplayer unten Interaktiv, links: Fallback-Video, rechts: Fullscreen-Mode

finden. Innerhalb eines solchen Transportstreams können beliebige Audio- und Video-Kanäle transportiert werden. Am Streaming-Server „Wozwa“ wird eine Transkodierung vorgenommen, indem jeder Transportstream in einen Programmstream im MPEG4-Format umgepackt wird. In der entwickelten Multi-Channel-Applikation werden nur vier PS-Verbindungen aus dem achtkanaligen TS-Beitrag extrahiert und über das Netzwerk eingeleitet.

Diese Technologie ermöglicht eine Auswahl an Tracks für eine Individualisierung der Medienbeiträge. Zunächst wählt der Redakteur die Kanäle aus, die als Angebot und als Fallback bereitstehen. Der Betrachter selbst kann hingegen aus einem solchen Transportstream nicht individuell direkt auswählen, welche Kanäle er betrachten oder hören möchte. Jedoch kann der Betrachter aus den Programmströmen individuell auswählen, die bei einer Übertragung aus dem Netzwerk an die Endgeräte gelangen. Der Übertragungsstream ins Internet hinein ist bei Multi-Channel-Beiträgen besonders kritisch, da hier eine erhöhte Datenrate existiert und auf eine sehr schnelle Verarbeitung der Netzpakete Wert gelegt wird. Aus den zeitlich-sequenziellen Netzpaketen wird eine Umwandlung in eine parallele Ausgabe der Mediendarstellung zu einem bestimmten Zeitpunkt (z. B. Frame) vorgenommen. Dabei werden die ersten Pakete soweit verzögert, bis die letzten Pakete für ein Ereignis, z. B. Frame für Video 4, eingetroffen sind. Je geringer die Auflösung ist, desto kürzer sind auch die Übertragungszeiten der einzelnen Pakete und damit das Warten auf Vollständigkeit für die parallele Ausgabe.

Medienbeiträge als Hypermedias können aus elementaren Medien wie Text, Audio, Video, Bildern und Links bestehen. Aus medialer Sicht kann sich ein virtueller Medienbeitrag aus verschiedenen Transportstreams zusammensetzen, die innerhalb eines Zeitverlaufes die Informationen aus den unterschiedlichen realen Medienbeiträgen für einen bestimmten Zeitpunkt zusammenfügen. Aus dem Rundfunkbereich sind technische Transportstreams bekannt, die für elementares Audio und Video als auch für Subtitles verwendet werden. Im Internet werden HTML-Elemente verwendet, die dynamische Informationen zusammenstellen. Zukünftige Entwicklungen befassen sich mit der Thematik, alle

Medienelemente als Transportstreams zu verwalten und vom Server über das Netzwerk zum Endgerät zu bringen. Die Vielfältigkeit sowohl der Endgeräte, der Zugangswege als auch der Darstellungsmöglichkeiten, z. B. von kleinsten bis hin zu größten Auflösungen, zwingt zu einer flexiblen Medienverarbeitung direkt am Endgerät. Sowohl für eine Live-Übertragung als auch für On-Demand-Verfahren können Transportstreams eingesetzt werden.

#### Transportstreams mit Fallback mit Netzwerk

Sollte eine Übertragung im Multi-Channel-Verfahren bei bestehendem Netzwerk und geringen Netzwerkkapazitäten nicht möglich sein, ist ein Fallback im Single-View-Verfahren vorgesehen. Dabei wird ein Track aus dem Transportstream ausgewählt. Als Fallback könnte ein Standardprogramm oder ein Multi-View-Splitscreen verwendet werden. Ein Standardprogramm wird aus Videos mit sequenziellem Blickwinkel im traditionellen Schnittsystem hergestellt und mit einer Master-Audiospur unterlegt. Ein Multi-View-Splitscreen ermöglicht die parallele Darstellung der Videos in mehreren, kleinen Fenstern und eine tonale Ausspielung einer Master-Audiospur (siehe Abb. 2). Eine Standard-Videoproduktion wird bei der Beuth-Plattform mithilfe des netzwerkbasierten Videoschnittsystems ATEM durchgeführt, das direkt mit einem passenden, digitalen Format aufgezeichnet wird. Beim aufgezeigten Multi-View-Verfahren wird das bisherige Standard-Produktionsverfahren integriert, eingebettet (embedded) und mit elementaren Tracks angereichert.

#### Transportstream mit Fallback ohne Netzwerk

Sollte eine Nutzung einer Multi-Channel-Applikation ohne bestehendes Netzwerk erforderlich sein, ist ein Fallback mit einem Offline-Demonstrator vorgesehen. Der Offline-Demonstrator, als HTML5-App realisiert, stellt eine Download-Applikation dar, die die Daten aus einem Speicher, wie bei einer Blue-Ray oder bei einer Festplatte, bezieht (siehe Abb. 3).

## ANWENDUNGSSZENARIOEN

Die zuvor beschriebene Technologie ermöglicht eine vielfältige Nutzung: E-Learning und Information, Wissenskquisition und Wissenstransfer sowie Entertainment. Dabei sind unterschiedliche Endgeräte, Interaktionsanwendungen und Automation im Betrieb wichtige Faktoren zur Einführung der Technologie. Über ein Portal können Betriebe, externe Mitarbeiter an mobilen Arbeitsplätzen oder Kunden an mobilen Endgeräten auf die Inhalte zugreifen. Die MPEG-DASH-Technologie ermöglicht, dass beliebige Endgeräte über beliebige Zugangsnetzwerke erreicht werden können.

Ein wichtiges Anwendungsszenario stellen Wissensakquisition und Wissenstransfer dar. Medienbeiträge für dieses Szenario haben einen kurzen Produktlebenszyklus. Sie müssen aktuell und somit leicht abänderbar sein und ihre Länge ist in kurze Kapitel segmentiert. Sie sind thematisch strukturiert und bauen auf globalen Firmeninformationen auf. Die Medienbeiträge müssen sehr flexibel zusammengestellt werden, je nach Vorwissen, Zeitkonto und Fachwissen des Nutzers. Die komplexen Bilder der Medienbeiträge fordern viele Sichten, viel Audio- und vernetzte Information. Die Internationalität fordert eine Multilingualität in Schrift, Bild und Audio. Beide Forderungen können mit der Multi-View- und Multi-Audio-Anwendung gelöst werden, wobei die nicht-interaktive Fallback-Variante für Einzelplatznutzer von geringer Relevanz ist.

Seit dem Wintersemester 2015/16 entsteht mit dem St. Hedwig-Krankenhaus in Berlin (in Kooperation mit der Alexianer Krankenhaus GmbH) ein zweites Fallbeispiel „Multi-Channel-Aufzeichnung und Distribution im Web-Portal bei einer realen Operation im Fachbereich Urologie“ mit Chefarzt Prof. Dr. med. Helmut H. Knispel und seinem Ärzte-Team sowie dem betroffenen Patienten.

Darüber hinaus besteht das Ziel, zukünftig eine „Multi-Channel-Live-Übertragung und Live-Distribution im Web-Portal“ umzusetzen, bei der mit einem zusätzlichen Arzt als Moderator sowie mit MC-Einspielungen der Informationsgehalt für Businesskunden, z. B. Fachärzte, angereichert und verdichtet wird.

Seit Januar 2016 sind in einem nicht öffentlichen Kanal des BeuthBox Portals Multi-Channel-Applikationen eingestellt, bei denen vier Views angeboten werden (MC4): 1. Gesamtansicht des Operationssaals, 2. Profil des Chefarztes als Wissensdozent, 3. sterile Endoskop- oder Exoskop-Kamera für eine Einstellung sehr nah im Operationsbereich und 4. direkte Operationsstelle vom Blick des Chefarztes (Handlungsträger). Dabei wurden als Audio-Spuren 1. der Vortragende Chefarzt, 2. der Assistenzarzt (Wissensempfänger), 3. die Raumakustik und 4. die Gesamt Mischung sowie acht Videoquellen aufgezeichnet (siehe Abb. 4). Bei der Aufzeichnung und Encodierung in Echtzeit wurde die Fallbacklösung als Single-View-Programm und als Multi-View-Split-screen-Verfahren erstellt. Problematisch sind die Anbindungen der Endoskop-Kamera, die mit galvanischen Trennungen und mit DVI-SDI-Konvertierungen erfolgen muss.

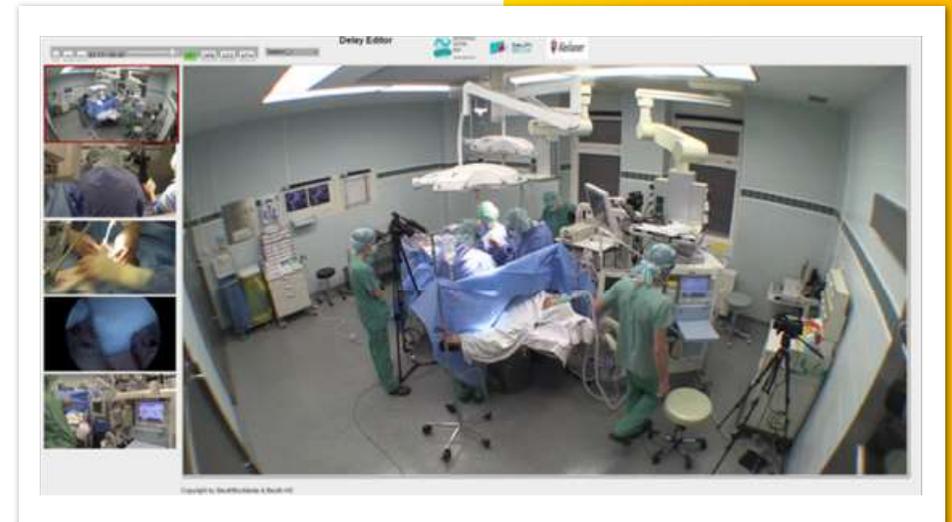


Abb. 3: Delay-Editor und Offline-Demonstrator

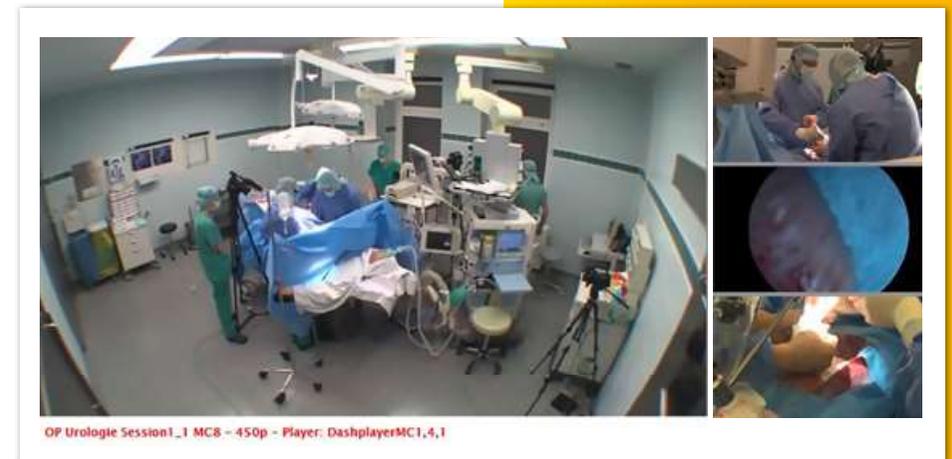


Abb. 4: Anwendungsszenario Wissensakquisition und Wissenstransfer

## ZUSAMMENFASSUNG

Die Kommunikation und die Übertragung von Medien ist eine Notwendigkeit für ein Unternehmen. Besonders in Gesellschaftskreisen, in denen immer mehr Wissen benötigt wird, viele Kulturen aufeinandertreffen und die Multilingualität stetig wächst, werden Medien für internationale Nutzerkreise benötigt. Somit ist eine Lösung für mediale Beiträge mit Multiperspektive und Mehrsprachigkeit nicht zu umgehen.

Die MPEG-TS-Technologie bietet die Möglichkeit, Medienbeiträge mit beliebig vielen Audio- und Videokanälen sowie Metadaten zu übertragen und diese zu individualisieren. Mit dieser Entwicklung können mehrere Medienbeiträge für mehrere Nutzer auf Basis des gleichen Rohmaterials in einem einfachen, auto-

matisierten Betrieb bereitgestellt werden.

Der Einsatz der MPEG-DASH-Technologie und die Fallback-Lösungen ermöglichen eine Verfügbarkeit audiovisueller Medien auf allen Endgeräten (mobil, stationär). Virtuelle Beiträge stellen eine Vereinfachung des Betriebs und dessen Automatisierung da, da anderenfalls das Datenaufkommen und die File-Ressourcen bei Multi-Channel-Beiträgen sprunghaft ansteigen. Multi-Channel-Beiträge bedeuten einen großen Fortschritt für individualisierte, interaktive Kommunikation und den Medientransfer in international agierenden Unternehmen. «

### ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Oben: Dashplayer MC1, unten links:

Fallback-Video, Fullscreen-Mode

(eigene Darstellung)

Abb. 2: Delay-Editor und Offline-Demonstrator

(eigene Darstellung)

Abb. 3: Delay-Editor und Offline-Demonstrator

(eigene Darstellung)

Abb. 4: Anwendungsszenario Wissensakquisition

und Wissenstransfer

### KONTAKT

Prof. Dr. phil. Jürgen Lohr

Beuth Hochschule für Technik

Fachbereich VI / Informatik und Medien

Luxemburger Straße 10, 13353 Berlin

Telefon: (030) 4504-5212

E-Mail: juergen.lohr@beuth-hochschule.de

Internet: <https://prof.beuth-hochschule.de/lohr/>

<http://beuthbox.beuth-hochschule.de/beuthbox/#/>

## Bereinigung unvollständiger und fehlerhafter Messreihen für Verkehrsvorhersagen

Stephan Pieper, Felix Kunde, Petra Sauer (Beuth Hochschule für Technik Berlin), Salka Waterloo (Adikteev GmbH Berlin)

### KURZFASSUNG

Verkehrssensoren aus Dresden produzieren in 5 % der Fälle unvollständige Messreihen. Maschinelle Lernverfahren können aber mit lückenhaften Daten schlecht umgehen und liefern ungenaue Verkehrsvorhersagen. Um die Daten der Sensoren für Maschinelle Lernverfahren nutzen zu können, werden in diesem Beitrag Bereinigungsverfahren untersucht. Somit können die fehlenden Werte berechnet und in die Lücken eingesetzt werden. Die Erkenntnisse fließen in ein Programm zur Behandlung dieser Lücken ein. Anschließend sind Vorhersagealgorithmen für Verkehrszustände und Staus möglich.

### ABSTRACT

Traffic sensors from the city of Dresden are creating incomplete measurements in nearly 5 % of the cases. Machine learning methods can handle incomplete data insufficiently and therefore generate inaccurate traffic predictions. To use the data of the sensors for machine learning methods, this paper examines cleansing methods. Thus the missing values can be calculated and inserted into the gaps. The research results are used in a program to treat these gaps. Afterwards, prediction algorithms for traffic conditions and congestions are possible.

<sup>1</sup> <http://excell-mobility.com/>

### EINLEITUNG

Wir leben in Zeiten von Big Data, umfangreiche Datensammlungen existieren in unterschiedlichen Bereichen und werden zunehmend analysiert und für Vorhersagen genutzt. Firmen wie Facebook, Google und der Geodatendienst „Here“ sammeln Daten über Menschen, Maschinen und Fahrzeuge. Immer mehr Daten werden aus heterogenen Quellen generiert, wodurch das Datenvolumen und die Datenvielfalt steigen [PRE 14]. Die Masse der Daten ermöglicht neue Geschäftsfelder und vielfältige Möglichkeiten der Datenanalyse. Leider steigt damit auch die Menge der fehlerhaften Daten an. Im Forschungsprojekt ExCELL<sup>1</sup> (gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie) stehen Massendaten aus dem Verkehrsmanagementsystem VAMOS [KFK 06] der Stadt Dresden zur Verfügung. Ziel des Projekts ist die Entwicklung einer Logistik-Plattform, die Mobilitätsdienstleistungen für kleine und mittelständische Unternehmen (KMUs) anbieten wird. VAMOS wird an der Technischen Universität Dresden betrieben und liefert aus diversen Datenquellen wie Verkehrssensoren aus dem Straßenverkehr und Floating Car Daten (FCD) von Taxen große, teilweise anonymisierte Datenmengen. Im Projekt ExCELL kann somit auf über 500 GBytes an Verkehrsdaten aus Dresden zugegriffen werden, die in den Jahren 2009 bis 2017 entstanden sind. Diese Daten werden genutzt, um den Verkehrsfluss auf innerstädtischen Straßen zu steuern und zu optimieren. Sie registrieren und analysieren den aktuellen Verkehr und ermitteln Prognosen. Dadurch können mithilfe gezielter Ampelschaltungen Stau und überfüllte Kreuzungen verhindert werden. Die Daten können außerdem in Anwendungen für den Individualverkehr genutzt werden, in denen beispielsweise Routingempfehlungen an die aktuelle Verkehrslage angepasst werden. Aufgrund der guten räumlichen Abdeckung in Dresden und der

hohen Messfrequenz bieten sich insbesondere die Sensordaten als Datengrundlage für Verkehrsanalysen an (siehe Abb. 1).

Wartungsarbeiten oder Ausfälle der zur Verkehrszählung eingesetzten Sensoren führen jedoch dazu, dass die Daten nur unvollständig verfügbar sind. Viele Datenanalyse- und Datenverarbeitungsmethoden, wie z. B. Verfahren zur Mustererkennung oder Verkehrsprognose, sind jedoch auf lückenlose Datensätze angewiesen. Wie lassen sich lückenlose und qualitativ hochwertige Datensätze aus unvollständigen Sensordaten erzeugen?

### PROBLEME MIT UNVOLLSTÄNDIGEN UND FEHLERHAFTEN SENSORDATEN

Unvollständige Messreihen machen Datenanalysen schwierig, da viele statistische Verfahren vollständige Datenreihen erfordern [ALL 12]. In den Sensormessreihen aus dem Dresdner Verkehrsmanagement System VAMOS fehlen beispielsweise knapp 5 % der Daten bei den ca. 1.300 im gesamten Stadtgebiet von Dresden verteilten Sensoren, deren Standorte aus Abbildung 1 hervorgehen. Beispielsweise weisen Messreihen von Verkehrssensoren in Dresden häufig Lücken (fehlende Messungen) auf, die durch Sensorausfälle, Wartungsintervalle oder Übertragungsfehler entstehen [KFK 06]. Für korrekte Vorhersagen auf den Messwerten ist ein permanenter Strom von Daten erforderlich. Eine Zeitreihenanalyse auf Basis dieser Sensordaten berechnet dadurch möglicherweise falsche Ergebnisse, die massive Auswirkungen auf nachgelagerte Data-Mining-Prozesse haben können.

**Wie sehen die Datenstrukturen der Sensordaten aus?** Die meisten Sensoren senden minütlich ein Datum im folgenden Format:

- > Sensor-ID
- > Zeitstempel
- > Aggregierter Belegungswert  
(Anzahl der Fahrzeuge pro Zeiteinheit)
- > Durchschnittsgeschwindigkeit

Aus den Belegungswerten und der Durchschnittsgeschwindigkeit sind Rückschlüsse auf den Verkehrszustand in Dresden möglich und daher besonders interessant für die Verkehrsanalysen. Die Messwerte aller Sensoren zu einem bestimmten Zeitabschnitt bilden den Verkehrszustand effektiv ab. Aus einem Strom dieser Verkehrssensordaten lässt sich ein zukünftiger Wert für den Verkehrsfluss oder für Staus in Dresden prognostizieren.

Abbildung 2 zeigt eine Übersicht über die fehlenden Daten. Hierbei ist zu erkennen, dass die Ausfallrate abhängig vom Sensorstandort ist. Auf der X-Achse ist der Wochentag abgetragen und auf der der Y-Achse der Sensor mit der Sensor-ID. Bestimmte Verkehrssensoren haben eine hohe Ausfallrate, wohingegen andere Sensoren kaum unvollständige Messreihen generieren. Gerade die Sensoren mit einer hohen Ausfallrate sind für Datenanalysen problematisch.

Um die Daten aus den Verkehrssensoren trotzdem nutzen zu können, ohne lückenbehaftete Zeitreihen komplett zu entfernen, werden in diesem Beitrag verschiedene Bereinigungsverfahren untersucht. Über diese sollen die fehlenden Werte geschätzt und in die Lücken eingesetzt werden. Die Erkenntnisse fließen in ein Computerprogramm zur automatischen Behandlung fehlender Werte ein.

Das Weglassen fehlerhafter Datensätze ist die einfachste Möglichkeit, mit dem Problem umzugehen. Dadurch werden nur vollständige Datenreihen für die Analyse benutzt. Die Aussagekraft der Data-Mining-Algorithmen verringert sich, wenn Daten wichtiger Verkehrssensoren an Verkehrsknotenpunkten z. B. nicht in die Prognose von Staus einfließen. Wir untersuchen daher Verfahren, die Schätzwerte in den Lücken einsetzen und so komplette Datensätze für Verkehrsanalysen bereitstellen. Dieses Verfahren wird im Weiteren als Imputation bezeichnet [GH 06].

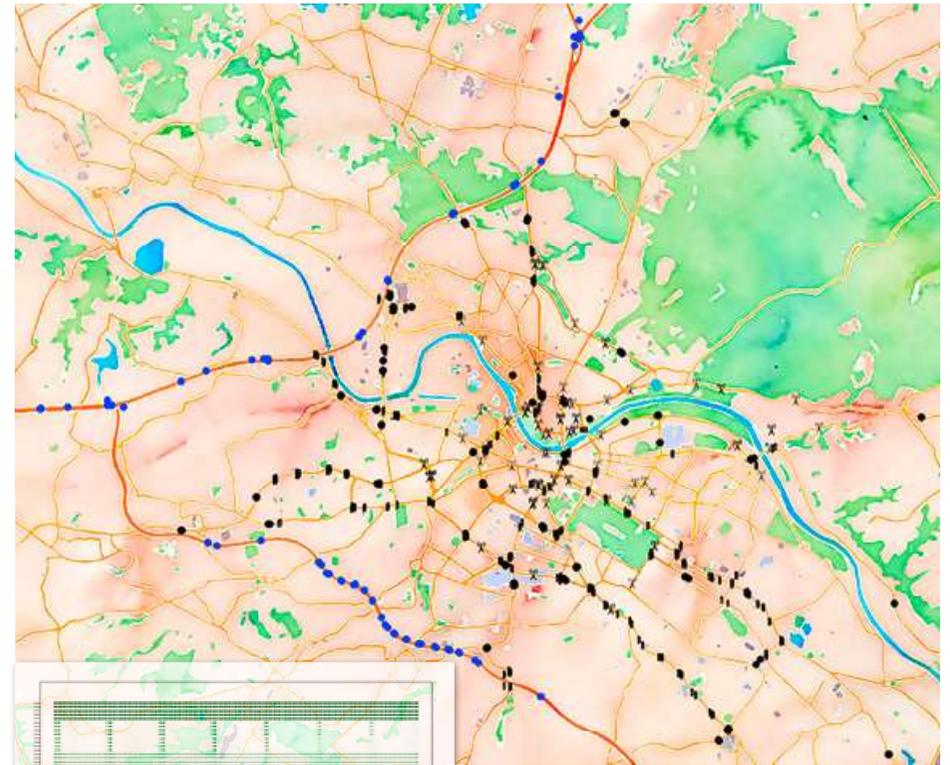


Abb. 1: Verteilung der Verkehrssensoren in Dresden

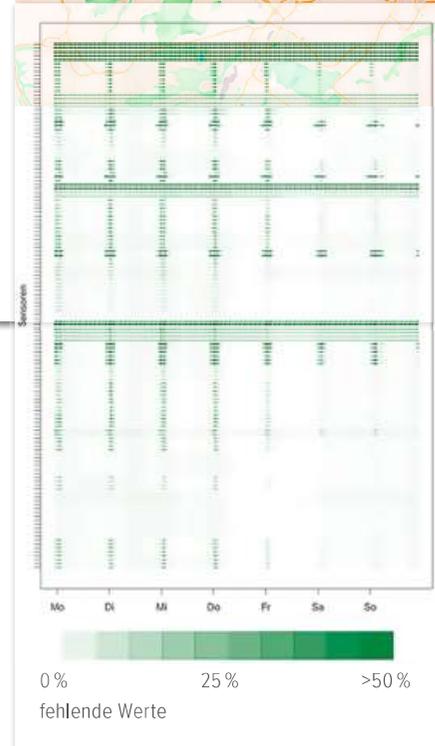


Abb. 2: Sensorübersicht mit dem Anteil an fehlenden Messpunkten

### ALGORITHMUS ZUR BEREINIGUNG DER SENSORDATEN

Im ersten Schritt wurde zur Verifikation der Bereinigungsverfahren ein Testdatensatz erstellt. Dieser Datensatz besteht aus 16 Sensoren von April bis Dezember 2014, also historischen Sensordaten. Aus diesem vollständigen Datensatz werden künstlich Werte entfernt und als fehlend gekennzeichnet. Für die Bewertung der einzelnen Methoden werden pro Methode mehrere Durchläufe mit unterschiedlichen Lückengrößen und variierender Lückendichte durchgeführt. Die Lücken sind hierbei zufällig über den betrachteten Zeitraum verteilt. Ein