

Live Streaming

Thorsten Röder
(roeder@in.tum.de)

Seminar „Internet-Measurement“ ,
Technische Universität München

SS 2005 (Version vom 24. Juli 2005)

Zusammenfassung

Diese Ausarbeitung befasst sich mit der Thematik des *Internet Live Streamings*. Dabei werden grundlegende Konzepte und Eigenschaften der heute zum Einsatz kommenden Streaming Technologien erläutert und die Probleme, die sich aus der Struktur des Internets ergeben. Die meisten dieser Probleme lassen sich durch eine besonders auf die Bedürfnisse des Internet Streamings ausgerichtete Netzwerkarchitektur weitestgehend lösen. Um auch die weiteren Anforderungen an Streaming Systeme - welche durch das Verhalten des Anwenders stark beeinflusst werden - verstehen zu können, werden die über einen Zeitraum von drei Monaten aufgezeichneten Verbindungsprotokolle von einem der größten Streaming Provider ausgewertet und bzgl. der Anwendereigenschaften analysiert. Diese Ergebnisse werden verwendet, um einige Schwierigkeiten eines Streaming Providers aufzuzeigen.

1 Einleitung und Motivation

Das Übertragen von Audio- und Video-Inhalten erfreut sich großer Beliebtheit bei Anwendern auf der ganzen Welt. Der Transport dieser Inhalte wird heute meist über die global verfügbare Internet Technologie realisiert. Die daraus resultierenden Vorteile, wie z.B. globale Erreichbarkeit über mehrere Kontinente, Kostenersparnisse und das Empfangen von Inhalten auf mobilen Endgeräten, ziehen auch zahlreiche Probleme bei der Realisierung nach sich. Beispielsweise ist die effiziente Anbindung von mehreren tausend bis hunderttausend Konsumenten eines einzigen Programms zur gleichen Zeit auf allen Kontinenten nicht gerade eine trivial zu lösende Aufgabe.

Dieses Dokument beschreibt die heute in *Content Delivery Networks (CDN)* eingesetzten Technologien und Techniken. Dabei wird der Fokus auf das sog. *Live Streaming* gesetzt. Diese Art des Streamings unterscheidet sich wesentlich vom Verhalten eines *On Demand Streamings*. Ein wesentlicher Bestandteil dieses Dokuments ist die Analyse des Anwenderverhaltens von Live Streaming und dessen Auswirkungen auf das Netzwerkdesign eines *Content Delivery Network*.

2 Klassifizierung von Streams

Unter dem Begriff *Streaming* ist die Übertragung von Audio- und Videoinhalten zu verstehen, bei der man bereits während der Übertragung den Inhalt verfolgen kann. Man

spricht hierbei auch von einer Echtzeitübertragung, da die Inhalte meist ohne größere Zeitverschiebung wiedergegeben werden können. Derzeit existieren drei unterschiedliche Ansätze in der Übermittlung von Audio- und Videoinhalten über das Internet. Je nach Art der Bereitstellung des Inhalts unterscheidet man zwischen diesen drei Klassen von Streams:

- On demand Streaming
- Live Streaming
- Simulated Live Streaming

Unter dem wohl am meisten verwendeten *On demand Streaming* versteht man die Bereitstellung eines bereits im Vorfeld digitalisierten Inhalts, wie z.B. ein Kinofilm oder eine Aufzeichnung eines Interviews. Dieser Inhalt wird bei der Anforderung durch den Benutzer an dessen Wiedergabeclient, in den meisten Fällen ein Player wie z.B. der Windows Media Player, übertragen. Hierbei hat der Benutzer die Möglichkeit, nach Belieben die Wiedergabe des Inhalts zu pausieren, zurückzuspulen oder sogar schneller vorzuspulen. Dies ist möglich, da der übertragene Inhalt vom Server an jeder Position und zu jeder Zeit erneut übertragen werden kann.

Das *Live Streaming* hingegen bietet diese Möglichkeiten der Benutzerinteraktion nicht. In diese Klasse von Streams fallen beispielsweise live Ereignisse wie Sport- oder Konzertübertragungen, bei denen das zu übertragende Ereignis „gerade erst“ stattfindet. Hier wird dem Client nur der Inhalt seit dessen Anmeldung weitergegeben.

Beim sog. *Simulated Streaming* kommt eine Hybridlösung aus On Demand- und Live Streaming zum Einsatz. Hierbei wird das zu übertragende Ereignis im Vorfeld aufgezeichnet und zu einem späteren Zeitpunkt mit den Eigenschaften eines Live Streams gesendet. Dies entspricht einem *Video On Demand*, bei dem sämtliche Funktionen wie Pause, Rücklauf und Vorlauf nicht implementiert sind.

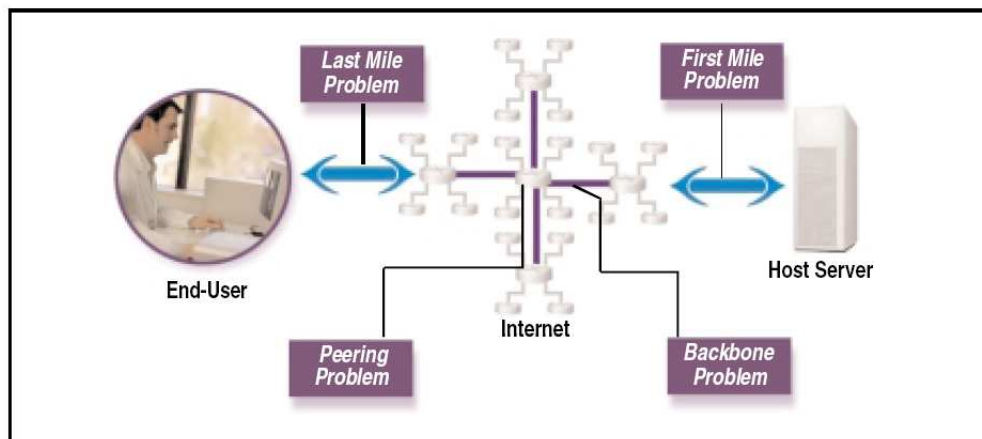


Abbildung 1: Internet-Bottlenecks (Quelle: [Akamai White Paper])

3 Internet-Bottlenecks

Da für die Übertragung der Daten eine bestimmte Mindestbandbreite zur Verfügung stehen muss um eine definierte Qualität des Inhalts zu erreichen, muss auch die heute vorhandene Architektur des Internets berücksichtigt werden. Die Infrastruktur des Internets hat aus Sicht des Live Streamings, wie in [Akamai White Paper] beschrieben und in Abbildung 1 dargestellt, vier große Probleme:

First Mile bezeichnet die Anbindung vom Anbieter selbst an das Internet. Das Live Streaming hat traditionell nur eine physikalische, zentrale Quelle, von der die Übertragung ausgeht. Von dort aus werden alle Anfragen der Benutzer bearbeitet. Um nun tausende von Benutzern unterstützen zu können, ist die Anbindung der First Mile ein wichtiges Kriterium für die Qualität und die Anzahl der unterstützten Endbenutzer. Ist die Bandbreite dieser Anbindung zu gering, können nicht alle Anfragen in ausreichender Qualität (z.B. Latenz, Bitrate, ...) abgearbeitet werden.

Peering Points bezeichnen die Übergabepunkte zwischen ein oder mehreren Providern. Unter dem Begriff *Peering* ist der Austausch des Netzwerkverkehrs eines Providers mit ein oder mehreren anderen Providern (*Peering Partner*) zu verstehen. Die an Peering Knoten¹ auftretenden Probleme sind meistens ökonomischer Natur. Die Anzahl der Peering Partner eines Netzwerk Providers sind wegen der sehr hohen Unterhaltungskosten eines Knotens begrenzt. Hinzu kommt, dass die bereits vorhandenen Knoten möglichst effizient ausgelastet werden, um die getätigten Investitionen wirtschaftlich zu nutzen. Aus diesem Grund sind heute viele Peering Knoten bereits zu einem hohen Grad ausgelastet. Dies führt vermehrt zu überbelasteten Knoten, was sich z.B. durch resultierende Paketverluste und gesteigerte Latenzzeiten auch auf das Live Streaming auswirkt.

Backbone bezeichnet eine von vielen „Hauptverkehrsadern“ des Internets. Im Internet werden Dienste meist von einem zentralen Punkt aus angeboten. Daher wird der Verkehr über breitbandige Langstreckennetze in alle Kontinente geleitet. Diese Backbones müssen den ständig wachsenden Bedarf des Internetverkehrs verarbeiten können. Betrachtet man beispielsweise das 10Gbps Backbone des Providers UUNET vom Jahr 2000, so würde alleine eine amerikanische Kochsendung mit 100.000 Zuschauern bei einer niedrig gewählten Bitrate von 300Kbps schon etwa 30Gbps Bandbreite benötigen.²

Last Mile bezeichnet die Anbindung des Endbenutzers an das Internet. Werden beispielsweise Videoinhalte übertragen, so benötigt der Endbenutzer eine ausreichende Mindestbandbreite an das Internet. Dieses Problem wird bzw. hat sich mit der Verbreitung von breitbandigen Anschlüssen, wie z.B. DSL/Kabel, relativiert. Dennoch gibt es zahlreiche Anwender, die auch heute noch nicht einen solchen Zugang verwenden.

4 Live Streaming Infrastruktur

Es existieren zahlreiche Modelle für *Content Delivery Networks (CDN)* im Internet. Der Begriff CDN bezeichnet einen Verbund von Servern, welche über das Internet verteilt sind und angeforderte Inhalte an den Anwender ausliefern. Hierbei geschieht die Auslieferung meist völlig transparent für den Endbenutzer. Jedes Modell hat je nach Verwendungszweck und gewünschten Rahmenbedingungen (On demand, Live, Anzahl der gleichzeitigen Übertragungen, lokale Diversität der Endbenutzer) gewisse Vor- und Nachteile. Eine weitergehende, detaillierte Beschreibung verschiedener Live Streaming Infrastrukturen kann [Falaschi] entnommen werden.

4.1 Architektur

Für die Entscheidung der Architektur eines CDN ist die Verbreitungsmethode der Inhalte von großer Bedeutung. Danach richtet sich beispielsweise der Bandbreitenbedarf

¹Peering Points

²Vorausgesetzt: Jeder Stream wird einzeln an den Benutzer ausgeliefert.

des Netzwerks, die Anzahl der benötigten Server und unterstützen Anwender, sowie die Höhe der laufenden Kosten für den Betrieb. Daneben sind auch Kenngrößen wie z.B. die globale Erreichbarkeit der Anwender, Latenzzeiten, usw. zu berücksichtigen. Die Auslieferung der Streaminhalte an die anfragenden Clients kann bei Live Streams im Wesentlichen durch drei Methoden geschehen:

- Unicast
- Multicasting
- Splitting

Die einfachste und am häufigsten angewandte Methode ist *Unicast*. Hier besteht die Kommunikation zwischen einem einzelnen Sender und einem einzelnen Empfänger. D.h. es besteht zu jedem Empfänger eine direkte Verbindung zum Anbieter des Streams.

Beim *Multicasting* besteht die Netzwerkkommunikation zwischen einem Sender und mehreren Empfängern. Hier werden die Streamdaten einmal an das Netzwerk geschickt und an jeden Anwender verteilt.

Beim *Splitting* werden die Streamdaten zuerst an sog. *Edge Server* weitergegeben (siehe Abschnitt 4.2). Diese wiederum verteilen die Inhalte weiter an die jeweiligen angeschlossenen Clients. Dies hat z.B. den Vorteil, dass die Netzwerklast eines Streams sehr früh an verschiedene Knoten ausserhalb bzw. am Rande des eigenen Streamingnetzwerkes verteilt wird und somit das interne Streamingnetzwerk nicht den Datenverkehr aus der Summe eines jeden Anwenders bewältigen muss.

4.2 Akamai Technologies: Edge Delivery

Um die bereits in Abschnitt 3 vorgestellten Probleme zu bewältigen zu können, wird bei Akamai Technologies, Inc. ein effizientes Architekturmodell verwendet. Das hier vorgestellte Modell einer Streaming Infrastruktur von Akamai Technologies, Inc., einer der größten Internet Streaming Provider, zielt sowohl auf *On Demand Streams* als auch auf *Live Streams* mit einer hohen Anzahl an gleichzeitigen Anwendern ab:

Akamai setzt für große Streams (d.h. Streams mit vielen Teilnehmern) das Splitting als Übertragungstechnik ein. Hierbei werden sog. *Edge Server* an strategisch wichtigen Positionen im Internet aufgestellt. Die Daten werden von einer Quelle an alle Edge Server (zum Großteil mittels Multicasting) verteilt. Diese wiederum liefern die Daten direkt an die anfragenden Teilnehmer aus, welche mit dem nächstgelegenen Edge Server in direkter Verbindung stehen. Die Verwendung von Edge Servern löst das First Mile Problem nahezu vollständig, da hier die gesamten Daten nicht von einer zentralen Stelle aus an die angeschlossenen Teilnehmer gesendet werden müssen. Die Daten müssen im günstigsten Fall nur einmal über das Kernnetzwerk zu den Edge Servern transportiert werden, da diese dann den Verkehr, ähnlich eines Multiplikators, weiterverteilen.

Diese Methode (Verwendung von Multiplikatoren) hilft auch das Peering Problem etwas besser in den Griff zu bekommen, da hierbei der gesamte Netzwerkverkehr stark reduziert wird. Um jedoch dieses Problem vollständig lösen zu können, wäre es notwendig mindestens einen Edge Server bei jedem größeren *Internet Service Provider (ISP)* zu betreiben. Bei einer Anzahl von über 1000 solcher Netzwerkprovider stellt dies jedoch eine derzeit nicht realisierbare Lösung dar.

Sofern die Daten mittels Edge Servern übertragen werden, wird auch die benötigte Backbone Kapazität verringert, was die Tragweite des Backbone Problems deutlich lindert, weil hier die *Edge Server* als Multiplikatoren für den Netzwerkverkehr dienen.

4.3 Protokolle

Für die Kommunikation zwischen Anbieter und Anwender sind spezielle Protokolle erforderlich. Insbesondere dann, wenn sowohl Audio- als auch Videodaten eines Streams gleichzeitig auf zwei getrennten Verbindungen übertragen werden sollen. Es existieren zahlreiche Protokolle, die für spezielle Aufgaben, wie z.B. der Datentransport oder der Austausch von Steuerungsinformationen, konzipiert sind:

Session Description Protokoll SDP - Protokoll zur Beschreibung von Sitzungsinformationen (Sessions) von Medien. Hierdurch werden z.B. Ankündigungen oder Einladungen zu laufenden Sitzungen, sowie Weiterleitungen zu den wirklichen Stream URLs abgewickelt.

Real Time Transport Protokoll RTP - Protokoll zur Realisierung der Datenübertragung der Inhalte mittels UDP. (Siehe auch [Tanenbaum 2003](Kapitel 6.4.3))

Real Time Control Protokoll RTCP - Protokoll zur Steuerung der Datenübertragung mittels RTP, zur Leistungsverbesserung bzw. zu Zwecken der Diagnose.

Hypertext Transfer Protokoll HTTP - Protokoll zur Bereitstellung der Download URL, sowie zur reinen Datenübertragung der Inhalte.

Real Time Streaming Protokoll RTSP - Protokoll zur Steuerung der Übertragung von Echtzeit-Inhalten mittels UDP oder TCP. (Siehe auch [Tanenbaum 2003](Kapitel 7.4.3))

Für den Einsatz des RTSP Protokolls werden beispielsweise das HTTP und das RTP Protokoll benötigt. Zum besseren Verständnis des Verlaufs einer Übertragung, wird an dieser Stelle der Ablauf einer RTSP Sitzung schematisch skizziert:

1. Der RTSP Client verbindet sich mittels HTTP z.B. zu einem Webserver und stellt dort die Anfrage nach dem gesuchten Stream.
2. Daraufhin antwortet der Webserver dem RTSP Client mittels dem SDP Protokoll und verweist diesen mit einem Redirect auf einen neuen URI auf den für ihn zugewiesenen Streaming Server.
3. Daraufhin verbindet sich der RTSP Client mit dem zugewiesenen RTSP Server.
4. Der Streaming Server antwortet dem Client mit den Daten des Inhalts. Dies kann, je nach Konfiguration des Servers und des Clients z.B. mittels RTP oder HTTP geschehen.

Für eine detaillierte Beschreibung des Ablaufs und für eine genaue Beschreibung des Protokollaufbaus sei an dieser Stelle auf [RTSP Protokoll] und [RFC2326] hingewiesen.

5 Live Streaming Analyse

Die folgende Analyse basiert auf der Veröffentlichung von [SrMaZh 04] und [VeAlMe 02]. Als Grundlage für die Analyse dienen hierbei Logfile Informationen der Streaming Server von Akamai Technologies, Inc. über einem Zeitraum von 3 Monaten. Diese Daten umfassen über 70 Millionen Anfragen für 5.000 verschiedene URLs von Clients in über 200 Ländern. Diese Auswertung ist bis heute, laut Angabe von [SrMaZh 04], die bislang vollständigste und umfassendste durchgeführte Analyse des Internet-Streaming-Verhaltens. Anhand der Ergebnisse ist erkennbar, dass der Einfluss der Internet Streaming Technologie, im Gegensatz zu herkömmlichen Medien wie lokale TV- oder Radio-stationen mit begrenztem Angebot an Übertragungskanälen und Reichweite, sehr groß ist und zudem ein globales Publikum anspricht. Daher ist zu erwarten, dass die Popularität von Streams weiterhin steigen wird, weshalb eine Analyse und das Verständnis der Vorgänge von großer Bedeutung für Designentscheidung, Auswertung, Planung und Management von globalen Streaming Netzwerken ist.

5.1 Klassifizierung von Streams

Folgendes Klassifizierungsschema wird bei der weiteren Analyse in dieser Ausarbeitung verwendet:

Groß / Klein Mehrere Definitionen von großen Streams sind denkbar: Gesamte Anzahl an Anfragen, gesamte Anzahl an einzelnen Clients oder der Höchstwert an gleichzeitigen Clients (*Peak*). Hier wird als *großer Stream* der *Peak* der gleichzeitig angeschlossenen Teilnehmer angesehen, da diese Größe die Leistungsfähigkeit eines Servers zur Bewältigung der Last widerspiegelt. In diesem Kontext haben *große Streams* einen *Peak* von mindestens 1.000 gleichzeitigen Clients. In dem oben angegebenen dreimonatigen Erfassungszeitraum, wurden 660 Streams als *große Streams* identifiziert. Fällt ein Stream nicht unter der Klasse der großen Streams, so wird dieser als ein kleiner Stream betrachtet.

Non-Stop / Kurze Dauer Unter dem Begriff *Non-Stop* werden Streams verstanden, die jeden Tag 24 Stunden lang ohne Unterbrechung online sind. Dahingegen haben *kurze Streams* eine definierte, relativ kurze Dauer. Dies kann z.B. eine zweistündige Talkshow sein, welche nur zu einem festen Zeitpunkt online ist und eine begrenzte Dauer hat. Um aus den erhobenen Daten zwischen *Non-Stop* und *kurzen Streams* unterscheiden zu können, wird beispielsweise ein Schwellwert für die Anzahl der gleichzeitigen Teilnehmer verwendet. Sind immer mindestens zehn Teilnehmer in einem Zeitraum von 24 Stunden als Teilnehmer eines Streams registriert, so geht man von einem *Non-Stop Stream* aus. Dieses Vorgehen ist allerdings nur auf große Streams anwendbar, weshalb im Weiteren für diese Klasse nur große Streams betrachtet werden. Ausgehend von dieser Herangehensweise wurden 76% der Streams als *Non-Stop* und 24% als Streams von kurzer Dauer eingestuft. Alle in den Log-Dateien aufgezeichneten Video Streams waren von *kurzer Dauer*. Im Vergleich zu Audio Streams scheinen die erhöhten Unterhaltungskosten für *Non-Stop Video Streams* nicht attraktiv zu sein.

Wiederkehrend / Einmalig Unter der Klasse der *wiederkehrenden Streams* werden Streams (bzw. dessen eindeutige URL) verstanden, die nicht nur einmalig online sind. Dies kann eine periodische Wiederholung eines Ereignisses oder eine tägliche Talkshow sein, solange die gleiche URL in den Anfragen des Clients an den Server verwendet wird. 97% der *großen Streams* waren in der Auswertungszeit *wiederkehrend*. Von der Definition her sind alle *Non-Stop Streams* selbst *wiederkehrend*. Eine tägliche Talkshow wäre ein Beispiel für einen *wiederkehrenden Stream* von *kurzer Dauer*, welche nahezu 21% der *großen Streams* ausmachen. Einmalige Streams treten während dem Betrachtungszeitraum nur ein einziges mal auf.

Blitzartige Ankunft / Gleichmäßige Ankunft Betrachtet man die Ankunftszeiten von Teilnehmern, also die Anzahl der innerhalb eines gewissen Intervalls verbindungs-aufbauenden Teilnehmer, so stellt man fest, dass alle Streams mit einer *kurzen Dauer* einen blitzartigen Anstieg in der Teilnehmerzahl aufweisen. Dies begründet sich darin, dass diese Streams einen definierten Anfang und eine feste Dauer haben. Für gewöhnlich möchte ein Teilnehmer von Anfang an das Ereignis verfolgen. Darüber hinaus gibt es auch *Non-stop Streams*, die diesen rapiden Anstieg der Teilnehmerzahl aufweisen. Dies liegt vermutlich daran, dass während der Ausstrahlung ein populäres Ereignis, wie z.B. das Auftreten einer prominenten Persönlichkeit, stattfindet. Um nun zwischen einem rapiden Anstieg und einer eher gleichmäßig durchschnittlichen Ankunftsrate zu unterscheiden, wird in der Auswertung die Ankunftsrate alle 10 Minuten ermittelt und ein evtl. vorhandener *Peak* gesucht. Etwa 50% der großen Streams weisen eine blitzartige Ankunftsrate auf.

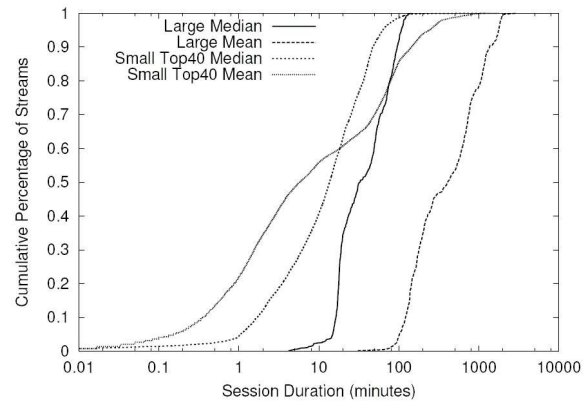
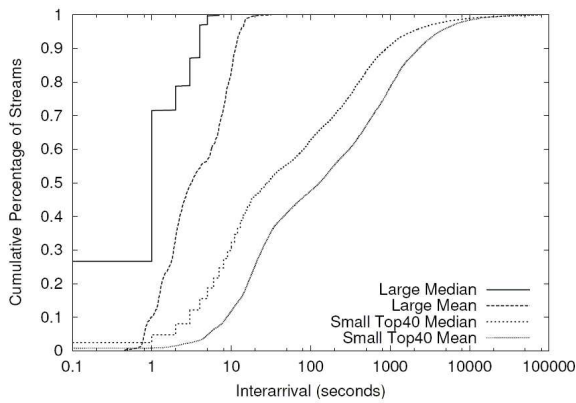


Abbildung 2: Ankunftszeiten der Top40 Streams **Abbildung 3:** Sitzungsdauer der Top40 Streams

5.2 Sitzungseigenschaften

Für Live Streams ist auch eine Analyse des Verhaltens der Sitzungsperioden (Sessions) interessant. Bei dieser Analyse - ausgehend von Log-Datei Informationen - wird jede Anfrage eines Clients als eine Sitzung betrachtet.

Arrival Process Die erste Beobachtung die man bei der Analyse der Ankunftseigenschaften der Anfragen machen kann, ist, dass die mittlere Dauer zwischen zwei Anfragen bei großen Streams im Allgemeinen kürzer ist als bei kleinen Streams. Hier liegt oft die Dauer bei zehn Sekunden für große Streams, wohingegen die Dauer bei kleinen Streams bis zu 10.000 Sekunden betragen kann. Dies liegt u.a. daran, dass große Streams generell mehr Anfragen haben.³ Daher ist die Ankunftsrate von Clients im Allgemeinen zeitabhängig und nicht über einen langen Zeitraum konstant. Es wurden sowohl „blitzartige Ankünfte“ von Anfragen bei allen Streams von kurzer Dauer, als auch bei einigen Non-Stop Streams festgestellt. Hierbei betrug beispielsweise die höchste Ankunftsrate bis zu 40 Ankünfte pro Minute im Gegensatz zu einer üblichen Rate von 20 Ankünften pro Minute.

Im gemessenen Zeitraum wurden für einen Stream drei hohe Peak Werte an aneinanderfolgenden Tagen registriert. Hierbei zeigte sich, dass zwei davon von Clients aus den USA kamen und einer aus Großbritannien kam. Im Allgemeinen kann man feststellen, dass die Ankunftsrate kurzer Streams von Zeitzonen und der Tageszeit beeinflusst werden. Dies liegt vermutlich darin begründet, dass die Anfragen nach einem solchen Stream sehr stark vom Inhalt des Streams abhängig sind, je nachdem ob der Inhalt für den Anwender interessant ist oder nicht. Abbildung 2 zeigt die durchschnittlichen Ankunftszeiten der Top40 Streams nach Beginn des Ereignisses. In Abbildung 4 ist die Ankunftsrate eines Radiostreams über den Zeitraum von einer Woche dargestellt.

Session Duration Betrachtet man die Dauer der Sessions, so stellt man fest, dass große Streams eine längere Sitzungsdauer haben als kleine Streams. Zusätzlich fällt auf, dass für eine kleine Anzahl an Streams die mittlere Sitzungsdauer weniger als 10 Sekunden beträgt und somit sehr klein ist. Diese kleine Sitzungsdauer ist vermutlich eine Auswirkung von „Channel-Surfing“, was wiederum Auswirkungen auf das Design von Live Streaming hat: Das „Durchzappen“ durch einzelne Kanäle erfordert vom Streaming System kurze und somit schnelle Reaktionszeiten. D.h. das Entgegennehmen und Abschließen einer Anfrage bzw. Sitzung muss von dem Server effizient und unter geringem Ressourcenverbrauch abgehandelt werden. Dies

³Wobei hier auch Intervalle mit einer größeren und kleineren Anhäufung an Anfragen existieren.

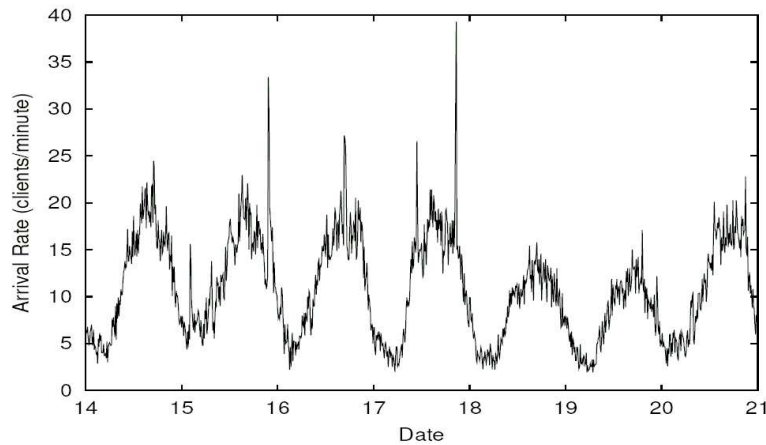


Abbildung 4: Ankunftsrate für einen Radiostream, gemessen über den Zeitraum von einer Woche

ist u.a. bei den TCP Timeouts (z.B. durch Verbindungsabbruch durch den Client) zu berücksichtigen, so dass ein assoziierter Socket möglichst schnell wieder freigegeben werden kann, um neue Anfragen bearbeiten zu können. Nur einige wenige Clients verfolgen einen Stream über eine längere Dauer. Die Vielzahl der untersuchten Sitzungen waren von kürzerer Dauer. Die mittleren Werte liegen hier von etwa 4 Minuten bis zu 140 Minuten, wobei etwa 40% der Streams eine mittlere Sitzungsdauer von weniger als 20 Minuten haben. Eine Auswertung der Sitzungsdauer der täglich neu ermittelten Top40 Streams ist in Abbildung 3 dargestellt.

Die Betrachtung des Ankunfts- und Sitzungsverhaltens bildet eine sehr wichtige Grundlage bei der Bewertung von Streamingarchitekturen und -Konzepten. Beispielsweise würde ein Streaming System, basierend auf einer Peer-to-Peer Architektur, nicht funktionieren, wenn ein Teilnehmer, den andere Teilnehmer zur weiteren Teilnahme im Overlay Netzwerk benötigen, das Peer-to-Peer Overlay Netzwerk verlässt. Diese Art der Störungen gilt es zu vermeiden. Dennoch wäre es denkbar, eine Peer-to-Peer Streaming Architektur zu entwerfen, die z.B. auf das Problem der verlassenden Teilnehmer zu reagieren vermag. Durch die Auswertung des Sitzungsverhaltens wird klar, dass es stets - wenn auch nur wenige - Teilnehmer gibt, die auch für eine längere Dauer den Stream verfolgen. Ausgehend von dieser Erkenntnis wäre ein derartiges Overlay Netzwerk mit hoher Stabilität auch unter realen gruppenspezifischen Aspekten durchaus denkbar.

5.3 Transportprotokolle

Dieser Abschnitt widmet sich der Untersuchung der zwischen Client und Server verwendeten Transportprotokolle. Für das Live Streaming stellt UDP ein geeignetes Transportprotokoll dar, da hier die Anwendung selbst die Kontrolle über das Puffern und wiederholte Senden von Daten hat. Bei TCP hingegen kümmert sich das Protokoll selbst um die Zuverlässigkeit der übertragenen Daten, z.B. durch automatisch wiederholtes Senden eines Pakets oder der Reihenfolgesicherung einer Verbindung.

Einige Aspekte von TCP stehen daher im klaren Gegensatz zur Verwendung in Echtzeit Live Streaming Systemen, weshalb auch vorrangig versucht wird, UDP zu verwenden. Normalerweise versucht ein Client bei einer Anfrage herauszufinden, welches Transportprotokoll für diese Sitzung am besten geeignet ist, da ISPs, Firewalls und die Verwendung der *Network Address Translation (NAT)* Technik auf dem Weg zum Server evtl. die Verwendung bestimmter Protokolle unterbinden können. Beispielsweise ist UDP hinter einer Firewall, die UDP Pakete herausfiltert, nicht möglich. Aktuelle Wiedergabe-

	UDP dominant	TCP dominant
QuickTime	56%	44%
Real	49%	51%
Windows Media	12%	88%

Tabelle 1: Dominanz der Transportprotokolle aus AS Domänen Sicht

software (Player) verwenden, wenn möglich, das UDP Protokoll als erste Wahl vor TCP, sofern der Anwender dies nicht explizit in seinem Player anders konfiguriert hat. Da sich in der Analyse herausgestellt hat, dass circa 40% der Sessions mittels TCP übertragen werden, ist zu vermuten, dass dieser Wert das derzeitige UDP Filterverhalten im Internet widerspiegelt. In Tabelle 1 und Tabelle 2 wurden die beiden verwendeten Transportprotokolle anhand der *AS Domäne*⁴ und des Herkunftslandes unterteilt, um zu verstehen ob die Verwendung eines bestimmten Transportprotokolls davon abhängig ist und welches Protokoll am häufigsten verwendet wird. Hieraus ist beispielsweise ersichtlich, dass für das QuickTime Protokoll 44% der betrachteten AS Domänen, aber nur 25% der Herkunftsländer TCP als Transportprotokoll verwenden.

Auffallend ist die besonders abweichende Stellung des Windows Media Formats. Hier wurden 80% der registrierten Sessions mittels TCP übertragen, vornehmlich durch das HTTP Protokoll und dem proprioritären Microsoft MMS Streaming Protokoll. Dies liegt darin begründet, dass der Windows Media Player Client⁵ die Auswahl eines geeigneten Netzwerkprotokolls bei der Netzwerküberprüfung in folgender Priorität versucht:

1. RTSP/TCP
2. RTSP/UDP
3. HTTP
4. MMS

Ältere Windows Media Player bevorzugten stets UDP vor TCP Verbindungen. Dennoch zeigt sich, dass hier HTTP als präferiertes Protokoll verwendet wird. Die Ursache hierfür liegt allerdings in der Serverkonfiguration von Akamai. Hier wird aus Gründen der Skalierbarkeit für den Windows Media Player das HTTP Protokoll für den Transport vorgezogen. Daher sind die gemessenen Ergebnisse des Windows Media Players nicht repräsentativ genug, um Rückschlüsse auf das insgesamt verwendete Transportprotokoll vorzunehmen. Da etwa 40-50% der AS Domänen TCP dominant sind, liegt die Vermutung nahe, dass diese Clients hinter einer Firewall betrieben werden, die die Kommunikation mittels UDP verhindert. Diese Erkenntnis hat Folgen für die Entwicklung und Verbreitung von z.B. UDP basierenden Flusskontrollen. Diese können nur in AS Domänen eingesetzt werden, in denen ein UDP Verkehr möglich ist. Dies wirkt sich auch auf Anwendungen und Dienste aus, welche über das Internet kommunizieren, da diese evtl. auf das TCP Protokoll beschränkt werden müssen, um einen verbreiteten Betrieb zu ermöglichen.

5.4 Herkunft der Teilnehmer

Betrachtet man die 20 häufigsten von insgesamt 223 Herkunftsländern der Anfragen⁶, so stellt man folgendes Ranking für die ersten fünf Plätze fest:

1. USA

⁴Hier der Einzugsbereich eines Autonomen Systems. Siehe auch Border-Gateway-Protokoll (BGP)

⁵ab Version 9

⁶gemessen an der Anzahl der ermittelten IP Adressen

	UDP dominant	TCP dominant
QuickTime	75%	25%
Real	72%	28%
Windows Media	2%	98%

Tabelle 2: Dominanz der Transportprotokolle aus Sicht der Herkunftsländer

2. China
3. Deutschland
4. Spanien
5. Frankreich

An dieser Stelle ist zu erwähnen, dass Europa insgesamt mehr Anfragen stellt als alle anderen Kontinente zusammen. Im folgenden wird die Herkunft der Teilnehmer unter drei verschiedenen Gesichtspunkten betrachtet:

AS Domänen Die Betrachtung der Verteilung der AS Domänen lässt Rückschlüsse auf der Netzwerk Ebene zu.

Städte, Länder Die Unterteilung in Städten und Ländern beschreibt die Verteilung und die Art der Verbreitung von geopolitischen Regionen in denen sich die Teilnehmer befinden. Hier geht es vor allem darum, herauszufinden ob das Internet Streaming ein größeres Zielpublikum als die herkömmliche weit verbreitete - meist lokale - TV und Radio Kommunikation erreicht. In diesem Sinne spielt die globale Erreichbarkeit der Teilnehmer über Kontinente hinweg eine wichtige Rolle.

Zeitzone Die Aufteilung und Betrachtung der Anfragen bzgl. der Zeitzone, in denen sich die Teilnehmer befinden, ermöglicht es, Rückschlüsse auf evtl. gleiches bzw. ähnliches Verhalten von Teilnehmern in derselben Zeitzone zu tätigen.

Die Umsetzungen von IP Adressen nach AS Domänen, Städten, Ländern, Höhen- und Breitengraden wurden bei der Analyse durch mehrere Quellen ermittelt und verifiziert (z.B. durch EdgeScape [Akamai Edgescape], Route View [Route View], GeoIP [GeoIP], ...). Lediglich die Zeitzone wurde durch eine Unterteilung der Breitengrade in 15° Abschnitte aufgeteilt.

Aus dieser Betrachtungsweise und Körnung heraus ergeben sich folgende drei wichtigen Metriken:

Diversity Index Dieser Wert beschreibt die Anzahl der sich unterscheidenden „Orte“ (bzgl. AS Domänen, Städten, Ländern oder Zeitzone). Konkret bedeutet dies, dass wenn ein Stream nur von Teilnehmern in den USA verfolgt wird, dessen „Länder (Country) Diversity Index“ einen Wert von 1 hat.

Clustering Index Der „Clustering Index“ beschreibt die Verteilung und die Anhäufung der Teilnehmer. Hierbei wird der Wert definiert als die kleinste Anzahl an verschiedenen Orten, welche mindestens 90% der für jeden Stream ermittelten IP Adressen abdecken. Beispiel: Kommen 95% der Teilnehmer aus den USA, 3% aus Großbritannien und 2% aus Polen, so liegt der Clustering Index bei 1. Wenn dieser Wert niedrig ausfällt, so ist die Anzahl der Orte, an denen das meiste Interesse am Stream liegt, gering.

Radius Index Dieser Wert gibt an, in welcher Relation diese Orte zueinander stehen. D.h. wenn ein Stream zwei verschiedene Zeitzone beliefert, möchte man wissen, wie weit diese Zeitzone von einander entfernt sind und ob diese unmittelbar aneinander angrenzen oder weit voneinander entfernt liegen. Für diese Größe wird hier der Zeitzone „Radius Index“ eingeführt.

Für eine ausführliche Beschreibung der Vorgehensweise bei der Berechnung des Radius Index aus den aufgezeichneten Datenbeständen, siehe [SrMaZh 04](Kapitel 7.3)

Vergleicht man unter o.g. Aspekten große und kleine Streams, so stellt man folgende zwei Beobachtungen fest:

1. Bei großen Streams liegt die Anzahl der unterschiedlichen AS Domänen zwischen 200 und 3.500. Auch auf der Städte Ebene wurden etwa 200-3.500 verschiedene AS Domänen ermittelt. Diese Spanne ist viel größer als die Reichweite der herkömmlichen TV und Radio Kommunikation, welche eher lokal Regionen erreichen. Bei großen Streams ist auch der Clustering Index relativ hoch, was die breite Abdeckung widerspiegelt. Etwa 90% der IP Adressen kommen von nur zehn bis 1.000 Städten bzw. AS Domänen. Fast alle großen Streams haben einen Clustering Index von zehn oder weniger Ländern, während für 15% der kleinen Streams dieser größer als zehn Länder ist. Diese kleinen Streams sind somit - geographisch gesehen - weiter verstreut.
2. Die Diversity Index Werte und Clustering Index Werte bei kleinen Streams sind für gewöhnlich kleiner als bei großen Streams. Dennoch sind die Index Werte immer noch so groß, dass die Hälfte der kleinen Streams über 100 Städte in zehn oder mehr Ländern abdeckt. Dies zeigt auch die globalen Erreichbarkeitsmöglichkeiten des Internets im Gegensatz zu lokalen physikalisch limitierten Radio- oder TV-Stationen.

Fast alle großen Streams decken 13 oder mehr Zeitzonen ab. Kleine Streams hingegen erreichen nur wenige Zeitzonen. Für über 90% der großen Streams beträgt der Clustering Index vier Zeitzonen, während für 90% der kleinen Streams dieser bei acht Zeitzonen liegt. Um zu verstehen wie weit die Clients auseinander liegen, betrachtet man den Radius Index. Dieser reicht bei kleinen Streams von 0 (d.h. 90% der Clients befinden sich in derselben Zeitzone) bis über 10 (d.h. Clients sind gleichmäßig über viele Zeitzonen verteilt). Für 50% der kleinen Streams ist der Radius Index größer als vier. Etwa 65% der großen Streams besitzen einen Radius Index von zwei oder weniger, was bedeutet, dass 90% dieser Clients nur über einen Kontinent verteilt sind. Berechnet man für die Ereignisklassen *kurze Streams* und *Non-Stop Streams* die Index Werte nach obigem Schema, findet man heraus, dass kurze Streams oft viel verschiedener und weniger geballt (auf der Ebene der AS Domänen und Städte) sind. Hingegen sind Non-Stop Streams, auf der Ebene von Ländern und Zeitzonen betrachtet, untereinander verschieden. So sind die Eigenschaften des Clustering Index für Länder und Zeitzonen ähnlich. Kurze Streams haben einen größeren Radius Index als Non-Stop Streams, womit diese auch einen höheren Verteilungsgrad auf der Welt haben.

Aus den Betrachtungen heraus stellt man fest, dass sich viele der betrachteten Streams auf mehreren Ebenen der Betrachtungen sich unterscheiden. Auch bei kleinen Streams scheint dies der Falls zu sein. Der hohe Grad an Verschiedenheit hat starken Einfluss auf das Design eines CDN. Beispielsweise ist es nach obiger Analyse wichtig, dass zum einen die globale Erreichbarkeit gewährleistet ist, gleichzeitig aber auch die Anzahl der Clients und Kanälen skalierbar sein muss. Es stellt sich die Frage, wie die Server im Netzwerk verteilt werden müssen, um für einen Kanal 10.000 gleichzeitige Benutzer über 2.000 AS Domänen hinweg versorgen zu können. Will man mehrere sowohl kleine als auch große Kanäle bzw. Streams betreiben, so wird es noch schwieriger. An dieser Stelle sei auf ein paar weitere Probleme bei einem solchen Netzwerk hingewiesen: Lastverteilung, Ausfallsicherheit, effiziente Ressourcennutzung, dynamische Anpassung an Technologien und Anwendungen, Skalierbarkeit und bestmögliche Leistung.

5.5 Überblick über die Analyse

Während der Analyse der über einen Zeitraum von drei Monaten aufgezeichneten Streaminginformationen wurden verschiedene Aspekte untersucht. An dieser Stelle soll eine kurze zusammenfassende Übersicht über die wichtigsten Erkenntnisse gegeben werden:

- Die heute meist genutzten Streaminginhalte sind Audiostreams. Nur 7% der verfügbaren Streams sind Videostreams. Nur 1% aller Anfragen sind für Video Streams.
- Auf eine geringe Anzahl von Ereignissen, hauptsächlich Non-Stop Audioprogramme (z.B. Radio), konzentriert sich eine große Anzahl der Anfragen.
- Non-Stop Streams besitzen ein starkes tageszeit- und zeitzoneabhängiges Verhalten. 50% aller großen Streams, Non-Stop Streams und kurzen Streams weisen ein blitzartiges Ankunftsverhalten auf.
- Fast die Hälfte der untersuchten AS Domänen tendiert dazu, TCP als dominantes Transportprotokoll zu verwenden. Dies könnte evtl. durch NAT oder Firewalls (welche UDP verbieten) verursacht worden sein.
- Die Verschiedenheit der Clients, die das Live Streaming verwenden, ist größer als bei traditionellen Verbreitungsmedien wie TV oder Radio. Fast alle großen Streams erreichen 13 oder mehr Zeitzonen, zehn oder mehr Länder und 200 oder mehr verschiedene AS Domänen. Die Hälfte der kleinen Streams erreicht elf oder mehr Zeitzonen, zehn oder mehr Länder und 100 oder mehr AS Domänen.
- Wie in [SrMaZh 04](Kapitel 8) aufgeführt, jedoch hier nicht weiter beschrieben, ist ein weiteres Kriterium für eine Analyse die „Lebenszeit“ eines Clients. Die Hälfte der neuen Clients, die sich mit einem Stream verbinden, verbinden sich nur für einen Tag. Während sich die andere Hälfte sich etwa 1/3 der Dauer (in Tagen) eines Ereignisses verbindet.

6 Zusammenfassung

Die Beliebtheit von Live Streaming über das Internet wird sehr wahrscheinlich weiter zunehmen. Schon jetzt gibt es eine Vielzahl von On Demand Video Streams und Live Streams. Derzeit handelt es sich jedoch meist um Audio Streams. Im Zuge der Eroberung des heimischen Wohnzimmers (z.B. durch internetfähige Fernseher) und mobiler Endgeräte, wird die Nachfrage nach neuen Angeboten mit höheren Bitraten und einer größeren Auswahl, evtl. sogar mit einer höheren Interaktivität des Benutzers, steigen. Somit auch die Anforderungen an ein Streaming Netzwerk, welches tausende Benutzer simultan erreichen können muss. Um eine solche Herausforderung realisieren zu können, müssen reproduzierbare Erkenntnisse des realen Streaming Verhaltens bekannt sein. Neben den o.g. Aspekten beispielsweise auch, das Non-Stop Streams eher vom Verhalten des Anwenders beeinflusst werden, im Gegensatz zu kurzen Streams, welche durch die Popularität des übertragenen Ereignisses selbst beeinflusst werden.

Literatur

- [SrMaZh 04] Kunwadee Sripanidkulchai, Bruce Maggs, Hui Zhang: *An Analysis of Live Streaming Workloads on the Internet*; Proceedings of the 2004 ACM Internet Measurement Conference IMC 2004, <http://www.imconf.net/imc-2004/papers/p41-sripanidkulchai.pdf>
- [VeAlMe 02] E. Veloso, V. Almeida, W. Meira, A. Bestavros, S. Jin: *A Hierarchical Characterization of a Live Streaming Media Workload*; Proceedings of the Second Internet Measurement Workshop IMW 2002, <http://www.imconf.net/imw-2002/imw2002-papers/180.pdf>
- [Tanenbaum 2003] Andrew S. Tanenbaum: *Computernetzwerke, 4., überarbeitete Auflage*, Prentice Hall (2003).
- [Falaschi] A. Falaschi: *Report on live-streaming infrastructure*; http://www.terena.nl/tech/archive/tf-netcast/deliverables/report_on_live_streaming_infrastructure.pdf
- [Akamai White Paper] Akamai Technologies, Inc.: *Internet Bottlenecks*; Whitepaper, http://www.akamai.com/en/resources/pdf/whitepapers/Akamai_Internet_Bottlenecks_Whitepaper.pdf
- [RFC2326] IETF: *RFC 2326*, <http://www.ietf.org/rfc/rfc2326.txt>
- [RTSP Protokoll] California Software Laboratories: *Basic Streaming Technology and RTSP Protocol*; Whitepaper, <http://www.cswl.com/whitepr/tech/StreamingTechnology.html>
- [Akamai Edgescape] Akamai Technologies, Inc.: *Edgescape*, <http://www.akamai.com/en/html/services/edgescape.html>
- [Route View] University of Oregon: *Route View*, <http://www.routeviews.org/>
- [GeoIP] Max Mind: *GeoIP*, <http://www.maxmind.com/>