

Ansätze zur Messung der Performance im Best-Effort-Internet

Autoren:
J. Scott Marcus
Christian Wernick

Bad Honnef, November 2016

Impressum

WIK Wissenschaftliches Institut für
Infrastruktur und Kommunikationsdienste GmbH
Rhöndorfer Str. 68
53604 Bad Honnef
Deutschland
Tel.: +49 2224 9225-0
Fax: +49 2224 9225-63
E-Mail: info@wik.org
www.wik.org

Vertretungs- und zeichnungsberechtigte Personen

| | |
|--|--------------------------------|
| Geschäftsführerin und Direktorin | Dr. Cara Schwarz-Schilling |
| Direktor Abteilungsleiter Post und Logistik | Alex Kalevi Dieke |
| Direktor Abteilungsleiter Netze und Kosten | Dr. Thomas Plückebaum |
| Direktor Abteilungsleiter Regulierung und Wettbewerb | Dr. Bernd Sörries |
| Leiter der Verwaltung | Karl-Hubert Strüver |
| Vorsitzende des Aufsichtsrates | Dr. Daniela Brönstrup |
| Handelsregister | Amtsgericht Siegburg, HRB 7225 |
| Steuer-Nr. | 222/5751/0722 |
| Umsatzsteueridentifikations-Nr. | DE 123 383 795 |

In den vom WIK herausgegebenen Diskussionsbeiträgen erscheinen in loser Folge Aufsätze und Vorträge von Mitarbeitern des Instituts sowie ausgewählte Zwischen- und Abschlussberichte von durchgeführten Forschungsprojekten. Mit der Herausgabe dieser Reihe bezweckt das WIK, über seine Tätigkeit zu informieren, Diskussionsanstöße zu geben, aber auch Anregungen von außen zu empfangen. Kritik und Kommentare sind deshalb jederzeit willkommen. Die in den verschiedenen Beiträgen zum Ausdruck kommenden Ansichten geben ausschließlich die Meinung der jeweiligen Autoren wieder. WIK behält sich alle Rechte vor. Ohne ausdrückliche schriftliche Genehmigung des WIK ist es auch nicht gestattet, das Werk oder Teile daraus in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren) zu vervielfältigen oder unter Verwendung elektronischer Systeme zu verarbeiten oder zu verbreiten.

ISSN 1865-8997

Inhalt

| | |
|---|------------|
| Zusammenfassung | III |
| Summary | IV |
| 1 Einleitung | 1 |
| 2 Problemdefinition | 4 |
| 2.1 Der regulatorische Kontext | 4 |
| 2.2 Definitionen | 5 |
| 3 Die Wahrscheinlichkeit eines „Schotterpisten“-Effekts in der Praxis | 7 |
| 4 Messung der Leistung des Best-Effort-Internets | 9 |
| 4.1 Kapazität, Performance und Qualität im Internet | 9 |
| 4.1.1 Die Qualität von Internetdiensten | 9 |
| 4.1.2 Dienstqualität, Erlebnisqualität und der Bedarf der jeweiligen Anwendung | 11 |
| 4.1.3 Instrumente des Verkehrsmanagements | 12 |
| 4.1.4 Mathematik der Priorisierung | 13 |
| 4.1.5 Herausforderungen bei der Ermittlung von QoS und QoE im Zeitablauf | 16 |
| 4.2 Bereits implementierte oder geplante Messprogramme | 21 |
| 4.3 Ergänzende Messansätze | 22 |
| 5 Grundsätzliche Überlegungen zur Messung der Qualität im Best-Effort-Internet im Zeitablauf | 26 |
| 6 Abschließende Feststellungen | 28 |
| Literaturverzeichnis | 29 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|--------------|---|----|
| Abbildung 1: | Durchschnittliche Aufenthaltsdauer in einem Outbound-(Router)-Übertragungsweg mit und ohne Priorisierung von 10% des Verkehrsvolumens | 15 |
| Abbildung 2: | Durchschnittliche Aufenthaltsdauer in einem Outbound-(Router)-Übertragungsweg mit und ohne Priorisierung von 30% des Verkehrsvolumens | 16 |
| Abbildung 3: | Die Wertschöpfungskette im Internet | 17 |
| Abbildung 4: | Ursachen für Einschränkungen beim Zugang zu Online-Content oder Anwendungen. | 19 |
| Abbildung 5: | Unterschiedliche Überwachungsformen für verschiedene Anwendungszwecke. | 21 |

Zusammenfassung

Durch die BEREC Richtlinien vom August 2016 besteht nun größere Klarheit, unter welchen Bedingungen Anbieter vom Prinzip der Netzneutralität in Zukunft abweichen dürfen. Diese Richtlinien sind auch vor dem Hintergrund der Besorgnis zu verstehen, dass Netzbetreiber Internet-Verkehrsmanagement und Priorisierung dazu nutzen könnten, nicht-priorisierte Datenverkehre herabzustufen und damit das Best-Effort-Internet in eine „Schotterpiste“ geringer Kapazität und Qualität zu verwandeln. Eine direkte Auswirkung der BEREC Richtlinien wird sein, dass die nationalen Regulierer (NRAs) die Performance im Best-Effort-Internet in Zukunft einem genaueren Monitoring unterziehen werden.

Ansätze, die zur Messung der Performance im Best-Effort-Internet geeignet sind, stehen im Mittelpunkt unseres Diskussionsbeitrags. Wir beschäftigen uns mit der Frage, wie realistisch die Entstehung von „Schotterpisten“-Effekten aus ökonomischer Sicht in der Praxis ist. Wir setzen uns mit Qualitätsparametern im Internet auseinander und diskutieren die Vor- und Nachteile von Messmethoden, die heute bereits im Einsatz sind, und gehen auf einige grundlegende Aspekte ein, die für das Design eines integrativen und ganzheitlichen Ansatzes zur Performancemessung im Best-Effort-Internet von Relevanz sind.

Unsere Analyse zeigt, dass „Schotterpisten“-Effekte in einem wettbewerblichen Umfeld wenig wahrscheinlich sind. Instrumente zur Messung der Qualität der Versorgung sind verbreitet und leisten einen Beitrag zur Objektivierung der Debatte. Nichtsdestotrotz stellt die Identifikation von Veränderungen in der Qualität des Best-Effort-Internets im Zeitablauf heute noch eine Herausforderung dar, die man jedoch mit der Unterstützung von Decision Support Systemen (DSS) überwinden kann.

Summary

BEREC's Guidelines published in August 2016 provide greater clarity on the conditions under which suppliers may deviate from the principle of net neutrality. This is relevant against the backdrop of concerns that network operators may use Internet traffic management and prioritization to downgrade non-prioritized data traffic, transforming the best effort Internet into a "dirt road" of low capacity and quality. In the course of BEREC's Guidelines, national regulators (NRAs) are designated to increase their efforts in monitoring the performance of the best effort Internet.

Our discussion paper focusses on approaches suitable for measuring the performance of the best effort Internet. We study the likelihood of "dirt road effects" in practice from an economic point of view. Our paper scrutinizes quality parameters and measurement methods already in place. Finally, we also address fundamental aspects that need to be taken into account when designing an integrative and holistic approach to performance measurement in the best effort Internet.

Our analysis shows that "dirt-road" effects are unlikely in a competitive environment. Instruments that are designated to measure the quality of provision are widespread and contribute to an objectification of the debate. Nevertheless, times series analysis of changes to the quality provision in the best effort Internet are still challenging. Decision support systems (DSS), however, seem appropriate to contribute to solve existing problems.

1 Einleitung

Die Netzneutralitätsdebatte wird in Europa mit großer Emotionalität geführt. Befürworter einer weitgehenden Netzneutralitätsregulierung verweisen darauf, dass die Gleichbehandlung jeglichen Datenverkehrs Voraussetzung dafür ist, ein Zwei-Klassen-Internet mit weitreichenden negativen Auswirkungen auf Verbraucher, Innovationen und Wettbewerb zu verhindern.

Gegner der Netzneutralität betonen hingegen die Vorzüge eines Kapazitätsmanagements, um Datenstaus zu verhindern – gerade angesichts kontinuierlich steigender Datenvolumina und damit verbundenen Investitionen zur Vermeidung von Kapazitätsengpässen.

Im August 2016 hat BEREC Richtlinien vorgelegt, wie die Regelungen zur Netzneutralität auf Ebene der Mitgliedsstaaten umgesetzt werden sollen.¹ Durch diese Regelungen wird nun die gesetzliche Verankerung der Netzneutralität im Rahmen der europäischen Regulierung konkretisiert, welche zuvor im Rahmen des Trilog-Verfahrens vereinbart und im Rahmen des Kompromisses über Netzneutralität und die Abschaffung des Roamings in öffentlichen Mobilfunknetzen in der Europäische Union durch das EU-Parlament am 27. Oktober 2015 beschlossen worden war.

Auch wenn durch die Richtlinien von BEREC nun Klarheit über die Grundzüge der zukünftigen Netzneutralitätsregulierung in Europa herrscht, bleibt angesichts steigender Verkehrsmengen, die über IP-basierte Netzinfrastrukturen übertragen werden, die Sorge vor „Schotterpisten“-Effekten bestehen. Durch die Etablierung entsprechender Regeln gewinnt zudem die Überwachung der Einhaltung durch Regulierungsbehörden auf Ebene der Mitgliedsstaaten an Relevanz.

Vor diesem Hintergrund kommt der Frage nach geeigneten Qualitätsparametern in IP-basierten Netzen sowie möglichen Ansätzen zur Messung der Qualität hohe Relevanz zu. Diesen Fragestellungen widmet sich der vorliegende Diskussionsbeitrag.²

Die Sorge, dass Internet-Verkehrsmanagement und Priorisierung Netzbetreiber dazu motivieren könnten, nicht-priorisierten Datenverkehr herabzustufen und damit das IP-Netz in eine „Schotterpiste“ geringer Kapazität und Qualität zu verwandeln, ist weit verbreitet. Ein BEREC-Bericht aus dem Jahr 2012 stellt fest, dass es bei integrierten Breitband-Providern, die auch Dienste wie Video anbieten, nicht unüblich ist, letztere positiv differenziert gegenüber Upstream-Diensten zu behandeln.³ BEREC konstatiert, dass

1 BEREC (2016): BEREC Guidelines on the Implementation by National Regulators of European Net Neutrality Rules, BoR (16) 127.

2 Eine frühere Version dieses Papiers wurde im Rahmen der ITS Konferenz vorgestellt und ist in englischer Sprache verfügbar unter: Marcus, J. Scott;Waldburger, Martin (2015): Identifying Harm to the Best Efforts Internet (June 29, 2015). Erhältlich über SSRN: <http://ssrn.com/abstract=2624604> oder <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2624604>.

3 BEREC (2012): Differentiation practices and related competition issues in the scope of net neutrality, BoR (12) 132.

solche positiven Diskriminierungsansätze nicht zwangsläufig Wettbewerbsprobleme aufwerfen.

Unter „Schotterpisten“-Effekten wird gemäß BEREC in der einschlägigen Literatur hingegen die (bis jetzt) hypothetische Situation verstanden, in der es gelingt, eine große Zahl von Nachfragern durch Qualitätsdegradierungen im Best-Effort-Internet zu einem Wechsel auf kostenpflichtige Dienste zu drängen.⁴

BEREC beobachtet weiter, dass “[a] vertically integrated [broadband ISP with SMP in a retail internet access market] has incentives to discriminate traffic coming from [content and application providers] which provide contents or applications competing with its subsidiary. Users face negative effects [...]“⁵

Beträchtliche Unsicherheit besteht, ob und in welchem Ausmaß der Wettbewerb zwischen Breitband-Internet Service Providern (ISPs) dieses schädliche Verhalten verhindern kann. Letzteres ist jedoch von hoher Relevanz für die Beantwortung der Frage, wie groß die Gefahr einer differenzierten Behandlung verschiedener Dienste wirklich ist.

In Europa wird bereits seit langem ausgiebig über Netzneutralität diskutiert.⁶ Auch ohne konkrete Regelungen zur Netzneutralität wären die europäischen NRAs unter Artikel 8 der Rahmenrichtlinie verpflichtet, sicherzustellen, dass alle Internet-Endnutzer in der Lage sind „(...) Informationen abzurufen und zu verbreiten oder beliebige Anwendungen und Dienste zu benutzen“.⁷

Dabei besteht eine offensichtliche aber zugleich komplexe Verknüpfung zwischen der *Befähigung, auf Inhalte zugreifen zu können* und der *Qualität, mit der auf diese Inhalte tatsächlich zugegriffen werden kann*. *Wenn die Qualität schlecht ist, kann nämlich de facto nicht länger von einem effektiven Zugriff die Rede sein, selbst wenn Inhalte nominell noch verfügbar sind.*

⁴ Vgl. ebenda, S. 61. In der englischsprachigen Diskussion ist üblicherweise vom „dirt road effect“ die Rede, ein Begriff, den wir mit „Schotterpisten“-Effekt ins Deutsche übertragen haben.

⁵ Vgl. ebenda S. 62.

⁶ Vgl. z. B. Carter, K.; Marcus, S.; Wernick, C. (2008): Network Neutrality: Implications for Europe, WIK-Diskussionsbeitrag Nr. 314.

⁷ European Parliament and Council (2009): Directive 2009/140/EC of the European Parliament and of the Council of 25 November 2009 amending Directives 2002/21/EC on a common regulatory framework for electronic communications networks and services, 2002/19/EC on access to, and interconnection of, electronic communications networks and associated facilities, and 2002/20/EC on the authorisation of electronic communications networks and services. OJ L 337, pp. 37-69, elektronisch verfügbar unter:

<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0140&from=en>.

Dies wirft natürlich einige Fragen auf:

- Was ist erforderlich, damit alle Internet-Endnutzer in die Lage versetzt werden, Informationen abzurufen und zu verbreiten und beliebige Anwendungen und Dienste zu nutzen, und zwar auf einem Qualitätsniveau, das den technologischen Fortschritt reflektiert?
- Wie können NRAs in Anbetracht der Tatsache, dass Management des Datenverkehrs unausweichlich bedeutet, dass ein Teil des Verkehrs beeinflusst wird, zulässiges von unzulässigem Verkehrsmanagement unterscheiden?

BEREC hat in den Begründungen zu den im August 2016 vorgelegten Richtlinien mögliche Antworten auf diese Fragen gegeben, die im Folgenden reflektiert werden. Als logische Konsequenz stellt sich jedoch auch die Frage nach der Überwachung der Einhaltung entsprechender Regelungen:

- Welche Ansätze gibt es, auf deren Basis NRAs prüfen können, ob die in ihren Mitgliedsstaaten verabschiedeten Regelungen auch tatsächlich eingehalten werden?

Diese Frage impliziert eine Reihe von praktischen und theoretischen Herausforderungen.

Im Folgenden definieren wir die Problemstellung und gehen auf wesentliche Kernpunkte der BEREC Empfehlungen ein (Kapitel 2). Wir diskutieren, wie wahrscheinlich „Schotterpisten“-Effekte in der Praxis sind (Kapitel 3). Wir stellen verschiedene Ansätze zur Messung der Internet-Performance, die heute angewendet werden, vor (Kapitel 4) und diskutieren Herausforderungen, die mit Qualitätsmessungen im Zeitablauf verbunden sind (Kapitel 5). Die Studie schließt mit einer kurzen Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse (Kapitel 6).

2 Problemdefinition

In diesem Kapitel wird darauf eingegangen, warum sich die europäischen NRAs in den kommenden Jahren intensiver mit der Überwachung der Existenz möglicher „Schotterpisten“-Effekte auseinandersetzen werden müssen. Anschließend werden einige begriffliche Abgrenzungen vorgenommen, die für die folgende Analyse von Relevanz sind.

2.1 Der regulatorische Kontext

Aus politisch-regulatorischer Sicht fügt sich das Thema in die Debatte (oder den Trilog) zwischen Europäischer Kommission, Europäischem Parlament und Europarat über den Telecoms Single Market (TSM) Legislativvorschlag ein.⁸ In einer Veröffentlichung des Europarats vom Mai 2015⁹ zu TSM wird ausgeführt:

“Providers of electronic communications to the public, including providers of internet access services, and providers of content, applications and services shall be free to offer services which are distinct from internet access services and which are optimised for specific content, applications or services, or a combination thereof, in order to meet their requirements for a specific level of quality. (...)“

Es werden jedoch auch Einschränkungen formuliert. Artikel 3, Paragraph 5 ist hierbei besonders relevant:

“National regulatory authorities shall closely monitor and ensure compliance with Article 3 and with paragraphs 3 and 5 of this Article, and shall *promote the continued availability of open internet access services at levels of quality that reflect advances in technology. For those purposes national regulatory authorities may impose technical characteristics and minimum quality of service requirements in accordance with the second subparagraph of Article 22(3) of the Universal Service Directive. National regulatory authorities shall publish reports on an annual basis regarding their monitoring and findings* [emphasis added], and provide those reports to the Commission and BEREC.

⁸ European Commission (2013): Proposal for a regulation of the European Parliament and the Council laying down measures concerning the European single market for electronic communications and to achieve a Connected Continent, and amending Directives 2002/20/EC, 2002/21/EC and 2002/22/EC and Regulations (EC) No 1211/2009 und (EU) No 531/2012, 11. September 2013, COM(2013) 627 final.

⁹ European Council (2015): Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council laying down measures concerning the European single market for electronic communications and to achieve a Connected Continent, and amending Directives 2002/20/EC, 2002/21/EC and 2002/22/EC and Regulations (EC) No 1211/2009 and (EU) No 531/2012 – Examination of the Presidency’s compromise proposal, 26. Mai 2015.

Providers of electronic communications to the public, including providers of internet access services, shall offer such services only if the network capacity is sufficient to provide them in addition to internet access services, they are not usable as substitute for internet access services, and are not to the material detriment of the availability or quality of internet access services for other end-users.”

2.2 Definitionen

BEREC definiert in Artikel 2 (2) der Richtlinie *Internet-Zugangsdienste (internet access service – IAS)* als öffentlich zugängliche, elektronische Kommunikationsdienste, die Zugang zum Internet und damit Konnektivität zu praktisch allen Endpunkten des Internets bereitstellen, unabhängig von der Netzwerktechnik und den genutzten Endgeräten.¹⁰ Dieser Definition schließen wir uns im Folgenden an.

Das Konzept des „Best-Effort-Internets“ geht auf die frühesten Designs des Internets zurück, einschließlich Cerf und Kahn (1974) und Cerf (1978);¹¹ es scheint hier jedoch keine allgemein anerkannte Definition zu geben. Wesentlich ist, dass es keine Garantie für die (rechtzeitige) Übertragung eines IP-Pakets (Datagramms) gibt. Cisco (2009)¹² vermerkt für Best-Effort-Dienste, dass „das Netzwerk die Daten überträgt, wenn es kann, ohne irgendeine Zusicherung von Zuverlässigkeit, Verzögerungsbegrenzung oder Datenrate“.

Alle Verkehre, die über das Internet transportiert werden, werden daher auf Best-Effort-Basis abgewickelt, unabhängig davon, ob eine Priorisierung stattfindet oder nicht. Vor diesem Hintergrund ist die Definition von Best-Effort-Internet als Internet-Datenverkehr, der nicht von Priorisierungen profitiert, so wie sie sich in vielen Quellen der Netzneutralitätsliteratur findet, irreführend.

In diesem Papier verzichten wir auf die Verwendung des Begriffs „*Over-the-top*“ (OTT)-Marktteilnehmer und verwenden stattdessen den Begriff *Inhalte- und Anwendungsanbieter (content and application providers (CAP))*. Ein weiterer komplexer Begriff, der sich in zahlreichen Literaturquellen in der Netzneutralitätsdebatte findet, ist der Terminus *spezialisierte Dienste*. Dieser Begriff ist insofern problematisch, da es bis dato keine eindeutige Definition von spezialisierten Diensten gibt.

¹⁰ Vgl. BEREC (2016): BEREC Guidelines on the Implementation by National Regulators of European Net Neutrality Rules, BoR (16) 127.

¹¹ Vgl. Cerf, V.; Kahn, R. (1974): A protocol for Packet Network Interconnection; und Cerf, V. (1978): The Catenet Model for Internetworking, Information Processing Techniques Office, Defense Advanced Research Projects Agency, IEN 48, Juli 1978.

¹² Cisco Systems (2009): Cisco IOS Quality of Service Solutions Configuration Guide. Release 12.2SR, pp. 1-778, elektronisch verfügbar unter: http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios/qos/configuration/guide/12_2sr/qos_12_2sr_book.pdf

Auch die nun vorgelegte Definition von BEREC beinhaltet (zwangsläufig) gewisse Interpretationsspielräume: Gemäß BEREC Richtlinie sind spezialisierte Dienste folgendermaßen gekennzeichnet:¹³

- Sie unterscheiden sich von *Internet-Zugangsdiensten*.
- Sie sind optimiert für spezifische Inhalte, Anwendungen, Dienste oder eine Kombination hieraus.
- Eine Optimierung ist objektiv notwendig, um die Voraussetzung für ein bestimmtes Qualitätsniveau zu erreichen.

Ihr Angebot ist an eine Reihe von Bedingungen geknüpft:

- Die Netzkapazität sollte ausreichend sein, um spezialisierte Dienste zusätzlich zu Internetzugangsdiensten anzubieten.
- Spezialisierte Dienste sollten nicht genutzt oder angeboten werden, um Internetzugangsdienste zu ersetzen.
- Spezialisierte Dienste sollten keine Beeinträchtigung in der Verfügbarkeit oder der generellen Qualität der Internetzugangsdienste von Endnutzern zur Folge haben.

Gemäß Rezital Nr. 16 dürfen spezialisierte Dienste nicht dazu genutzt werden, Verpflichtungen hinsichtlich der für Internetzugangsdienste anwendbaren Verkehrsmanagementdienste zu umgehen.

Mit Blick auf die im Rahmen dieses Diskussionsbeitrags zu untersuchenden Fragestellungen spielt diese Begrifflichkeit jedoch nicht die zentrale Rolle, da sie für die Klärung der Frage, ob ein „Schotterpisten“-Effekt bereits entstanden oder im Entstehen ist, nicht ausschlaggebend ist.

Anders stellt sich dies jedoch für Marktüberwachungsaufgaben dar, die die NRAs auf Ebene der Mitgliedsstaaten wahrnehmen.

¹³ Vgl. im Folgenden BEREC (2016), Artikel 3 (5).

3 Die Wahrscheinlichkeit eines „Schotterpisten“-Effekts in der Praxis

Zunächst muss darauf hingewiesen werden, dass der „Schotterpisten“-Effekt ein theoretisches Phänomen ist, das in der Praxis bisher nicht beobachtet worden ist. Außerdem sprechen wirtschaftliche Erwägungen dagegen, dass Netzbetreiber die Degradierung ihrer Netze zu „Schotterpisten“ als sinnvolle Strategie erachten werden, solange ihnen realistische Alternativen zur Verfügung stehen. Nichtsdestotrotz lässt sich angesichts vielfältiger Diskriminierungsmöglichkeiten das Risiko des Auftretens des „Schotterpisten“-Effekts nicht ausschließen, unabhängig davon, ob dieser vornehmlich durch „normale“ oder „spezialisierte“ Dienste herbeigeführt wird.

In einer Studie für das Europäische Parlament hat sich das WIK ausführlich mit dieser Fragestellung beschäftigt.¹⁴ Die Theorie der Qualitätsdifferenzierung, die aus unserer Sicht für das Thema Netzneutralität hohe Relevanz hat, besagt, dass unterschiedliche *Zahlungsbereitschaften* für verschiedene Qualitätsniveaus potentieller Kunden einen zentralen ökonomischen Anreiz für Diensteanbieter darstellen. Sie profitieren dabei von der Bereitschaft ihrer Kunden, für Dienste von höherer Qualität höhere Preise zu zahlen.¹⁵ Bei fehlender Marktmacht führt dies dazu, dass sowohl Nachfrager als auch Anbieter von Preis- und Qualitätsdifferenzierung profitieren. Diensteanbieter werden in einem solchen Fall alle Kunden bedienen, deren Zahlungsbereitschaft die Grenzkosten des Dienstes übersteigt. Bei Diensten, die hohe Kosten verursachen (d. h. Kosten nahe der Zahlungsbereitschaft der Endkunden), besagt die Theorie, dass bei Anwendung von Differenzierungsstrategien potenziell sogar mehr Kunden bedient werden, als wenn dies nicht der Fall ist.

Als Ausgangshypothese kann man also annehmen, dass ein Netzbetreiber, der Qualitätsdegradierungen vornimmt, Einbußen bei den Umsätzen durch Kunden mit niedriger Zahlungsbereitschaft bereitwillig in Kauf nimmt – auch wenn diese bereit wären, einen Preis für die Leistung zu zahlen, der die Grenzkosten des Netzbetreibers für die Bereitstellung des Dienstes übersteigt.

Vielfach wird argumentiert, dass ein Netzbetreiber, sofern er über Marktmacht verfügt, motiviert sein wird, die Qualität für Dienste niedrigerer Qualität (weiter) abzusenken, um so seine Kunden zur Abnahme von teureren Diensten mit höherer Qualität zu bewegen. Dies wirft jedoch die Frage auf, warum die Marktmacht nicht dazu eingesetzt wird, die Preise für alle Dienste anzuheben, unabhängig von den zugrunde liegenden Dienstcharakteristika.

¹⁴ Vgl. J. Scott Marcus (2014), Network Neutrality Revisited: Challenges and Responses in the EU and in the US, Studie für das Europäische Parlament, IMCO Committee, IP/A/IMCO/2014-02, PE 518.751, elektronisch verfügbar unter : http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2014/518751/IPOL_STU%282014%29518751_EN.pdf.

¹⁵ Vgl. Hotelling, H. (1929): Stability in Competition, The economic Journal, Vol. 39, No. 153, März 1929, S. 41-57.

Vor einigen Jahren war die Sichtweise verbreitet, dass Netzbetreiber aufgrund explodierender Datenvolumen gezwungen sein werden, ihre Netze zu degradieren. Entsprechende Analysen können im Nachhinein jedoch als widerlegt betrachtet werden.¹⁶ Wie wir an anderer Stelle dargestellt haben, wächst der Internetverkehr kontinuierlich an, explodiert jedoch nicht sprunghaft.¹⁷ Die Stückkosten für benötigte Hardware sinken ebenfalls Jahr für Jahr, und im Festnetz übersteigt der Kostenrückgang die Zuwachsrate des Verkehrs. Alle Indikationen sprechen schließlich dafür, dass die Preise für Festnetz- und Mobilfunkdienste nicht fix sind, sondern auf Angebot und Nachfrage reagieren.¹⁸

Da die meisten europäischen Breitband- und Mobilfunkmärkte wettbewerbliche Strukturen aufweisen, ist zu erwarten, dass Netzbetreiber motiviert sein werden, verschiedene Angebotspakete bereitzustellen, um nicht nur die Bedürfnisse von Kunden mit hoher Zahlungsbereitschaft und hohen Qualitätsansprüchen befriedigen zu können, sondern auch die der Kunden, die nur für Best-Effort-Dienste bezahlen möchten. Der Wettbewerb trägt damit wesentlich zur Verhinderung von „Schotterpisten“-Effekten bei, indem er (potentielle) Wechselmöglichkeiten schafft. Darüber hinaus führt die Logik von Preis- und Qualitätsdiskriminierung dazu, dass Unternehmen davon profitieren, wenn sie eine Vielzahl unterschiedlicher Dienste für eine große Kundengruppe mit unterschiedlichen Zahlungsbereitschaften anbieten.

Es ist daher wenig überraschend, dass in der Praxis bisher keine konkreten Beispiele für den „Schotterpisten“-Effekt zu beobachten waren.

¹⁶ Siehe zum Beispiel BEREC (2012): BEREC Guidelines for quality of service in the scope of net neutrality. BoR (12) 131, elektronisch verfügbar unter:

http://berec.europa.eu/eng/document_register/subject_matter/berec/download/0/1101-berec-guidelines-for-quality-of-service-0.pdf.

¹⁷ Vgl. J. Scott Marcus (2014), Network Neutrality Revisited: Challenges and Responses in the EU and in the US, Studie für das Europäische Parlament, IMCO Committee, IP/A/IMCO/2014-02, PE 518.751, elektronisch verfügbar unter unter:

http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2014/518751/IPOL_STU%282014%29518751_EN.pdf.

¹⁸ Marcus, S. J. (2014): The economic impact of Internet traffic growth on network operators, elektronisch verfügbar unter: http://www.wik.org/uploads/media/Google_Two-Sided_Mkts.pdf.

4 Messung der Leistung des Best-Effort-Internets

Dieses Kapitel behandelt die Themen Kapazität, Performance, Dienste- und Erlebnisqualität des Internets (Abschnitt 4.1). Es erläutert Hintergründe zu Programmen, die zur Messung der Qualität des Best-Effort-Internets implementiert oder getestet worden sind (Abschnitt 4.2). Schließlich wird die Eignung von alternativen Lösungen wie Verbraucherumfragen und Messungen durch Content and Application Provider (CAPs) oder andere dritte Parteien untersucht (Abschnitt 4.3).

4.1 Kapazität, Performance und Qualität im Internet

Bevor man darüber diskutiert, wie mögliche nachteilige Veränderungen von Kapazität oder Performance des Best-Effort-Internets identifiziert oder gemessen werden können, sollte man die Internet-Performance im Allgemeinen betrachten.¹⁹

4.1.1 Die Qualität von Internetdiensten

Die *Dienstequalität* (*Quality of Service, QoS*) in IP-basierten Netzen ist bekanntlich komplexer als in traditionellen Netzen. IP-Netze sind nicht dafür ausgelegt, IP-Pakete (oder *Datagramme*), die jeder Nutzer senden oder empfangen möchte, in Gänze auf einmal zu übertragen. Sie sind stattdessen so designt, dass überschüssige Datenpakete warten müssen, bis Kapazität vorhanden ist.

Wenn mehr Datenpakete warten müssen, als gespeichert werden können, werden die überschüssigen Datenpakete verworfen, was üblicherweise jedoch keine negativen Effekte verursacht, weil das Netzwerkprotokoll (vor allem TCP) typischerweise sicherstellt, dass fehlende Datenpakete neu übertragen werden. Das Verwerfen von Datenpaketen bedeutet unter diesen Umständen keinen Fehler – es ist Teil der normalen Funktion des Netzes.

Dieses Verfahren funktioniert sehr gut für Anwendungen wie E-Mail oder File-Sharing, bei denen kurze Verzögerungen in der Übertragung absolut akzeptabel sind. Für Real-time Anwendungen wie Voice over IP (VoIP) ist es deutlich weniger geeignet.

Entgegen einer verbreiteten Annahme ist Qualitätsdifferenzierung bei der Versorgung im Internet von Beginn an ein Thema gewesen. Der Standard von 1981 für das Internet Protocol weist bereits ein Feld im Kopfdatenbereich auf, das die gewünschte Qualität

¹⁹ Die folgenden Ausführungen bauen auf den Ergebnissen einer Studie auf, die das WIK zum Thema Netzneutralität für das Europäische Parlament erstellt hat. Vgl. Marcus, S. J. (2014): Network Neutrality Revisited: Challenges and Responses in the EU and in the US, Studie für das Europäische Parlament, IMCO Committee, IP/A/IMCO/2014-02, PE 518.751, elektronisch verfügbar unter: http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2014/518751/IPOL_STU%282014%29518751_EN.pdf.

angibt; aus der Befüllung des Feldes ergeben sich jedoch keine Konsequenzen für das weitere Routing der Pakete.

“The Type of Service is used to indicate the quality of the service desired. The type of service is an abstract or generalized set of parameters which characterize the service choices provided in the networks that make up the internet. This type of service indication is to be used by [routers] to select the actual transmission parameters for a particular network, the network to be used for the next hop, or the next [router] when routing an internet datagram.”²⁰

Jedes IP-Paket (Datagramm) in einem IP-Netz wandert vom Startpunkt zum Ziel durch viele Punkt-zu-Punkt-Verbindungen. Jeder Verbindungspunkt trägt zu der Gesamtzeit (*delay*) bei, die für die Durchquerung des Netzes benötigt wird. Wesentliche Leistungsparameter für jeden Verbindungspunkt eines IP -basierten Netzes sind:

- **Bandbreite (bandwith):**
Maximale Bit-Anzahl, die ein Übertragungsweg befördern kann.
- **Laufzeitverzögerung (propagation delay):**
Zeit, die ein Datenpaket benötigt, Funktion der kombinierten Länge aller Übertragungswege und der Lichtgeschwindigkeit im Übertragungsweg.
- **Sendungsverzögerung (queuing delay):**
Zeit, die ein Datenpaket *wartet*, bevor es übertragen wird. Sowohl die *durchschnittliche Verzögerung* als auch die Verzögerungsvarianz (*Jitter*) sind von Bedeutung, da beide zusammen ein Konfidenzintervall für den Zeitrahmen bilden, innerhalb dessen das Eintreffen des Datenpakets im Ziel erwartet werden kann.
- **Datenpaketverlustrate (packet loss rate):**
Die Datenpaketverlustrate misst den Anteil der Datenpakete, die ihr Ziel nie erreichen. Dies kann durch Übertragungsfehler verursacht werden, solche Fehler sind aber in modernen glasfaserbasierten Festnetzen sehr selten. Häufiger gehen Datenpakete verloren, weil die Zahl der Pakete, die auf Übertragung warten, größer ist, als die verfügbare Speicher-/Pufferkapazität (*buffer*).

Unsere Aufzählung weist auch Parallelen zu den Qualitätskennzahlen auf, die BEREC empfiehlt.²¹

²⁰ Vgl. IETF (1981): Internet Protocol: DARPA Internet Program Protocol Specification.

²¹ BEREC referenziert auf Up- und Downloadgeschwindigkeit, Delay, Delay Variation, Packet Loss Ratio und Packet Error Ratio. Vgl. BEREC (2014): Monitoring quality of Internet access services in the context of net neutrality. Update after public consultation, BoR (14) 117, elektronisch verfügbar unter: http://berec.europa.eu/eng/document_register/subject_matter/berec/download/0/4602-monitoring-quality-of-internet-access-se_0.pdf.

Im Nachgang zur Open Internet Order der US-amerikanischen FCC, die sich mit Netzneutralität befasst,²² haben zahlreiche Experten beklagt, dass das Thema Paketverlust in der Richtlinie einen hohen Stellenwert einnimmt.²³ Dies ist ein Stück weit verwirrend, da Paketverlust aus unserer Sicht schon immer und auch berechtigterweise Bestandteil der Diskussion gewesen ist. Nichtsdestotrotz ist zu bemerken, dass kein einzelner Parameter isoliert betrachtet und als Indikator für eine vereinfachte Interpretation der Performance angewendet werden sollte.

4.1.2 Dienstqualität, Erlebnisqualität und der Bedarf der jeweiligen Anwendung

Wenn eine Anwendung spezifische Anforderungen in Bezug auf Durchsatz, Geschwindigkeit oder Zuverlässigkeit hat, kann sie diese der Transportschicht (transport layer) (egal ob UDP oder TCP) signalisieren, die die Anforderung dann an die Netzwerkschicht (network layer) weitergibt. Dies wird im Feld für die Dienstart (type of service (ToS)) eines jeden IP-Paketes sichtbar, was die Anforderung für jeden Router entlang des Übertragungswegs und ebenso für das Endsystem auf beiden Seiten des Datenaustauschs grundsätzlich sichtbar macht. Das Konzept spezifischer Dienstarten ist also Basisbestandteil des Protokoll-Designs. Allerdings ist kein System verpflichtet, der Anfrage zu folgen, und das IP-Protokolldesign spezifiziert nicht, was mit einer Anfrage zu geschehen hat.

Das Verhältnis zwischen Dienstqualität (QoS) auf IP-Ebene und der Erlebnisqualität (QoE) des Endkunden hängt sehr stark von der jeweiligen Anwendung ab.²⁴ Dies verdeutlichen einige Beispiele:

- E-Mail ist, wie oben erwähnt, tolerant gegenüber starken Verzögerungen oder Paketverlusten, da Kunden keine sofortige Übertragung erwarten.
- Die QoE von Voice over IP (VoIP) Telefonaten hängt von Paketverzögerung (packet delay), Jitter und Paketverlust (packet loss) ab. Als Kriterium für ein gutes Qualitätserlebnis gilt, dass die einseitige Verzögerung durch das Netz 150 Millisekunden nicht überschreiten darf.²⁵ Längere Verzögerungszeiten können zur Folge haben, dass zum Beispiel die Teilnehmer auf beiden Seiten der Verbindung gleichzeitig sprechen (ähnlich wie bei Telefonaten über geosynchrone Satelliten, bei denen die Verzögerung für Hin- und Rückleitung etwa 270 Millisekunden beträgt).

²² Vgl. US FCC (2015): In the Matter of Protecting and Promoting the Open Internet: Report and Order on Remand, Declaratory Ruling, and Order, GN Docket No. 14-28.

²³ Vgl. zum Beispiel Bellovin; S. (2015): Packet Loss: How the Internet Enforces Speed Limits, elektronisch verfügbar unter: <https://www.cs.columbia.edu/~smb/blog/2015-02/2015-02-27.html>.

²⁴ Die QoE für den Endkunden kann auch von anderen Faktoren als der QoS des Netzes abhängen, wie beispielsweise den Kodizes, die zum Kodieren und Dekodieren von Sprache und Video auf der Anwendungsschicht verwendet werden. Vgl. Kuipers, F. A.; Kooij, R. E.; De Vleeschouwer, D.; Brunnstrom, K. (2010): Techniques for Measuring Quality of Experience, in: Proceedings of the 8th International Conference on Wired/Wireless Internet Communications (WWIC 2010), Lulea, Sweden, 1.-3. Juni 2010, LCNS 6074, S. 216-227.

²⁵ ITU-T G.114 (05/2003) General Recommendations on the transmission quality for an entire international telephone connection.

- Verzögerung und Verzögerungsvarianz sind sehr wichtige Faktoren bei interaktiven Spielen, besonders bei sogenannten Ego-Shootern.
- Die Parameter, die die Erlebnisqualität für Bewegtbild-Anwendungen bestimmen, gehen über die, die für Gesprächsübertragung wichtig sind, hinaus. Neben Verzögerung (delay), Verzögerungsvarianz (Jitter) und Paketverlust ist für Kunden, die Videos per klassischem TV mit einer definierten Anzahl von Kanälen und Fernbedienung konsumieren, auch die sogenannte *Kanalwechselzeit (Zapping Zeit)* wichtig, die Zeit, die zwischen der Wahl eines neuen Kanals per Fernbedienung und dem tatsächlichen Erscheinen des Kanals auf dem Bildschirm vergeht.

4.1.3 Instrumente des Verkehrsmanagements

Auf lange Sicht sollten Netze so dimensioniert sein, dass genügend Kapazität vorhanden ist, um den Verkehr mit angemessener Performance übertragen zu können. Auf kurze Sicht stehen dem Netzdesigner jedoch nur begrenzte Mittel zur Verfügung, mit denen entweder langfristige Engpässe oder kurzfristige Spitzen im Datenverkehr zu beheben sind.²⁶ Das Netz befindet sich in einem bestimmten Zustand und die Übertragungswege haben gewisse Kapazitäten. Auch wenn durch Qualitätskontrollen die Übertragungswege nicht schneller werden, lassen sich zumindest folgende Parameter kontrollieren:

- die relative Priorität, mit der jeder Router die IP-Pakete/Datagramme, die darauf warten, über die entsprechenden Übertragungswege versandt zu werden, verarbeitet und
- die Auswahl, welche Pakete verloren gehen, zu Zeiten, in denen mehr Pakete auf die Verarbeitung warten, als der betreffende Router speichern oder zwischenspeichern kann.

Aus Sicht dieser beiden Aspekte ist die Priorisierung einfacher zu analysieren und zu verstehen (siehe Abschnitt 4.1.4). Priorisierung ändert nichts daran, dass jeder Übertragungsweg eine bestimmte Bandbreitenkapazität hat. Stattdessen bewirkt sie, dass das Aufrücken einiger Pakete in der Warteschlange notwendigerweise dazu führt, dass andere Pakete auf die hinteren Warteplätze verschoben werden.

Oft wird übersehen, dass ähnliche Effekte wie bei der Priorisierung durch *Caching* (Speicherung häufig genutzter statischer Daten nahe beim Kunden) und durch *Replikation* (wo das gleiche dynamisch generierte Resultat an mehr als einem Ort im Netz produziert werden kann) erreicht werden können. Letztere finden zum Beispiel auch bei Cloud-Diensten Anwendung.

²⁶ Die Intensität von Internetverkehr kann außerordentlich variabel sein. Siehe hierzu die Diskussion über die Selbstähnlichkeit von Verkehr in: Marcus, J. S. (1999): *Designing Wide Area Networks and Internetworks: A Practical Guide*, Addison Wesley, S. 62-63.

4.1.4 Mathematik der Priorisierung

Verzögerungen und Paketverluste hängen von der Relation zwischen der Menge an Datenverkehr, die in einen Hub des Netzes geleitet werden kann, und der Menge an Datenverkehr, die der betreffende Hub aufnehmen kann, ab. Die *Warteschlangentheorie*, ein Zweig der Mathematik, der sich mit Warteschlangen (waiting lines) beschäftigt, kann für die Analyse dieser Problematik angewendet werden.²⁷

Die Mathematik der priorisierten Dienstbereitstellung ist zwar seit Jahrzehnten in der Literatur gut etabliert, jedoch komplex und nicht allen, die an der Netzneutralitätsdebatte beteiligt sind, hinreichend gut bekannt.

Ein Teilbereich dieser Literatur ist die Schedulingtheorie. Diese ist nicht nur für die Planung von industriellen Prozessen relevant, sondern auch für die Planung von Aktivitäten in Computersystemen. Die grundlegende Arbeit in diesem Bereich ist von Conway, Maxwell und Miller (1967) verfasst worden.²⁸ Der zweite für die hier behandelte Fragestellung relevante Teilbereich der Literatur ist die Warteschlangentheorie. Die Warteschlangentheorie ist in gleichem Maße relevant für Kunden, die an der Kasse eines Supermarkts warten, um ihre Waren zu bezahlen, wie für IP-Pakete/Datagramme, die darauf warten, von einem Router bedient zu werden.²⁹

Zum Zwecke der Analyse gehen wir von einem System mit nur zwei Prioritäten (hoch und niedrig) aus. Das Ausmaß des Effekts der Priorisierung hängt in diesem Fall vom Anteil der Pakete ab, denen die jeweilige Priorität zugewiesen ist:

1. Haben alle Pakete die gleiche Priorität (alle hoch oder alle niedrig), hat die Priorisierung keine Auswirkung.
2. Haben nur wenige Pakete eine hohe, die meisten anderen dagegen niedrige Priorität, wird die kleine Anzahl von Paketen mit hoher Priorität durch Verfrachtung an die Spitze der Warteschlange beschleunigt, während sich für die Pakete mit niedriger Priorität nur eine geringe Verzögerung ergibt.
3. Haben die meisten Pakete eine hohe und nur wenige Pakete eine niedrige Priorität, wird durch Priorisierung die Zahl der hoch priorisierten Pakete durch Verfrachtung an die Spitze der Warteschlange *nur geringfügig* beschleunigt (trotz einer Reduktion der Verzögerungsvarianz). Für die niedrig priorisierten Pakete ergibt sich hieraus jedoch eine substantielle zusätzliche Verzögerung.

Der zweite der drei betrachteten Fälle entspricht dem, was zu erwarten ist, wenn VoIP-Datagramme gegenüber anderen Verkehren priorisiert werden. VoIP ist ein Dienst mit

²⁷ Eine kurze Einführung in die Warteschlangentheorie ist in Kapitel 16 von Marcus, J. S. (1999): *Designing Wide Area Networks and Internetworks: A Practical Guide*, Addison Wesley Longman, zu finden. Eine umfangreiche Diskussion befindet sich im Artikel von Kobayashi, H. (1978): *Modeling and Analysis: An Introduction to System Performance Methodology*, Addison-Wesley.

²⁸ Conway, R. W.; Maxwell, W. L.; Miller, L. W. (1967): *Theory of Scheduling*, Addison-Wesley.

²⁹ Vgl. zum Beispiel Kobayashi, H. (1978): *Modeling and Analysis: An Introduction to System Performance Methodology*, Addison-Wesley, S. 209-211.

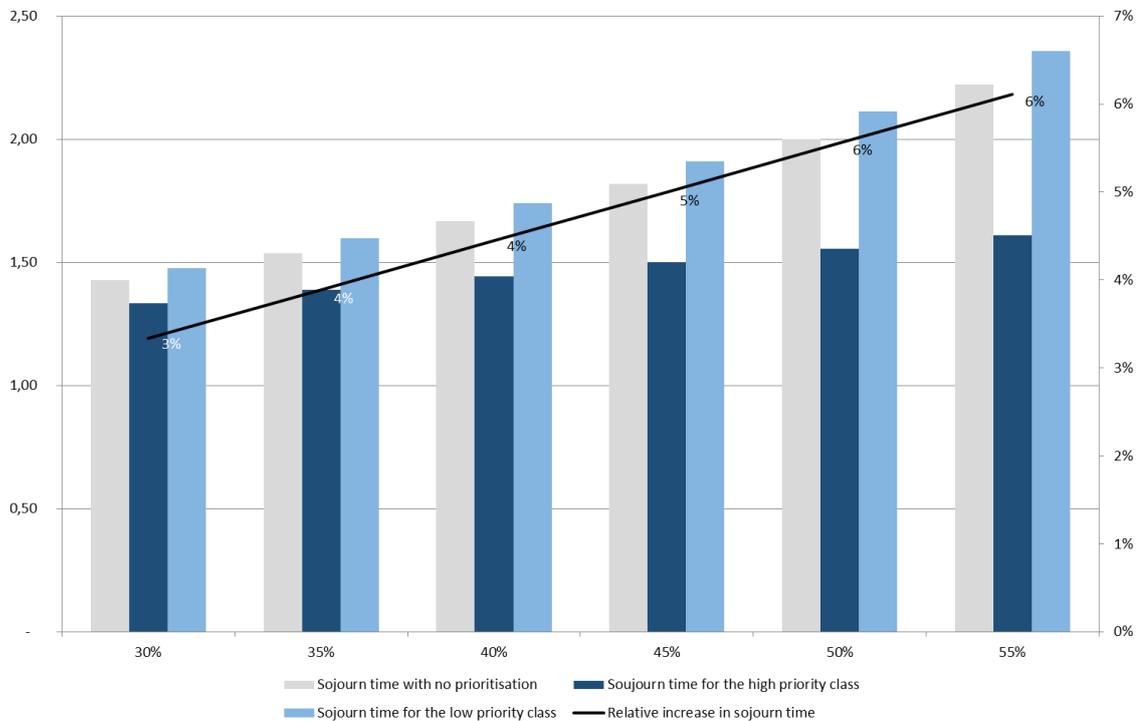
geringer Bandbreite, der aber stark vom Durchschnitt und der Varianz der Verzögerung abhängt. Wird VoIP an die Spitze der Warteschlange befördert, hat dies aufgrund der geringen Anzahl von Datagrammen nur geringen Einfluss auf die übrigen Dienste. Dies stellt den Idealfall dar, in dem eine effizientere und besser kalkulierbare Nutzung von VoIP erreicht werden kann, die mit lediglich minimalen negativen Auswirkungen auf andere Anwendungen verbunden ist.

Der dritte Fall entspricht der Bereitstellung von linearem, fernsehähnlichem Bewegtbild-Content (*TV over Internet – TVoI*) über das Internet. Eine große Menge an priorisiertem TVoI-Verkehr wird an die Spitze der Schlange des Webverkehrs befördert. Theoretisch sollte dies große Verzögerungen für den übrigen Web-Verkehr bedeuten, in der Praxis scheint dies jedoch keine Klagen vonseiten der Kunden hervorzurufen. Netzbetreiber in einem Wettbewerbsmarkt haben offenbar einen Anreiz, zu verhindern, dass es bei ihren Kunden zu spürbaren Qualitätsverschlechterungen kommt und limitieren daher die Gesamtmenge an TVoI-Verkehr, um sicherzustellen, dass der Web-Verkehr ebenfalls ohne substantielle Verzögerungen übertragen werden kann. Da die TVoI-Verkehrsströme zwar umfangreich aber gleichzeitig verhältnismäßig konstant sind, verursacht ihr Aufrücken in der Warteschlange keine substantiellen, inkrementellen Verzögerungsvarianzen (Jitter) für den Web-Verkehr.

Im Folgenden betrachten wir das Verhalten von Verkehrsschlangen bei einem Outbound-(Router)-Übertragungsweg in einem System mit nur zwei Prioritäten. Die durchschnittliche Aufenthaltsdauer (definiert als Summe aus der Zeit, die für den eigentlichen Dienst benötigt wird, und der Wartezeit in der Schlange) kann mit der Warteschlangentheorie direkt berechnet werden.³⁰ Wenn nur 10% der Kapazität des Übertragungswegs für den hoch priorisierten Verkehr genutzt werden (siehe Abbildung 1), ist der Vorteil für den hoch priorisierten Verkehr substantiell. Gleichzeitig sind die Auswirkungen auf den niedrig priorisierten Verkehr gering (eine Verschlechterung um 2% bei 20% Gesamtlast, eine Verschlechterung um 8% bei 70% Gesamtlast).

30 Vgl. zum Beispiel Adan, I.; Resing, J. (2015): Queueing Systems, elektronisch verfügbar unter: <http://www.win.tue.nl/~iadan/queueing.pdf>. Um die Darstellung zu erleichtern, gehen wir von einem einfachen M/M/1 Warteschlangensystem aus (das gleichwertig mit einem M/G/1-System mit einem Variationskoeffizient von 1.0 ist). Es gibt aber auch Ergebnisse für sehr viel komplexere Systeme.

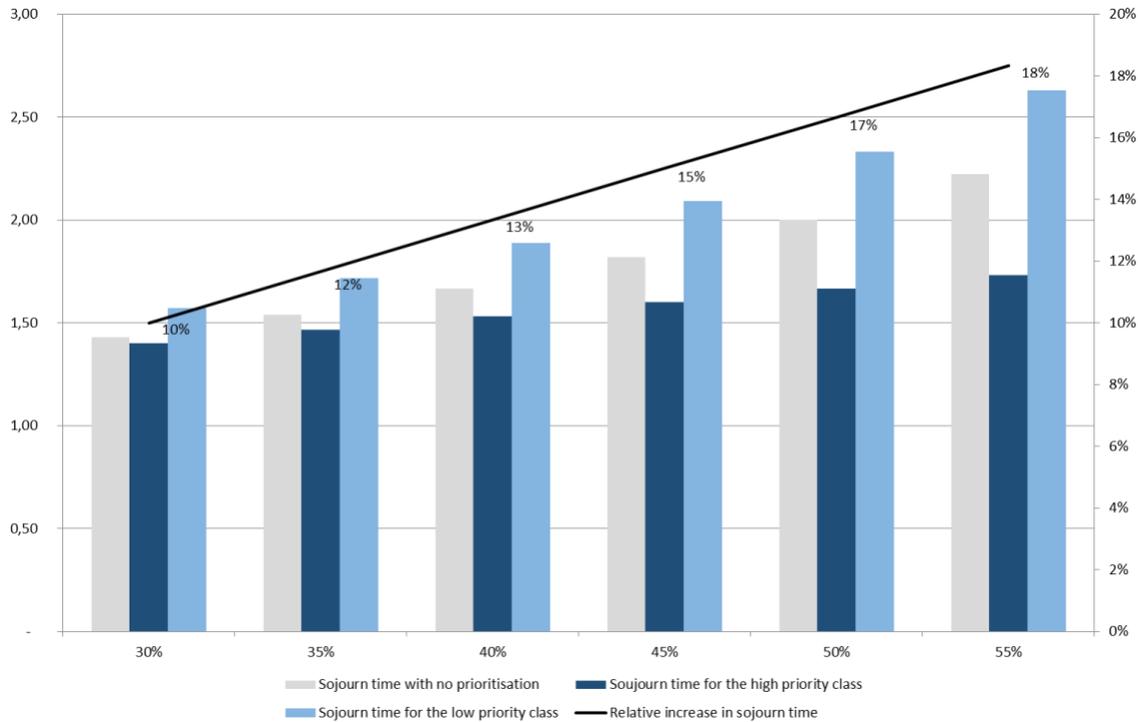
Abbildung 1: Durchschnittliche Aufenthaltsdauer in einem Outbound-(Router)-Übertragungsweg mit und ohne Priorisierung von 10% des Verkehrsvolumens



Quelle: WIK-Analyse.

Bei hoher Gesamtlast des Übertragungswegs sind die Auswirkungen größer als bei niedriger Auslastung. Wenn 30% der Kapazität des Übertragungswegs von hoch priorisiertem Verkehr beansprucht werden, (siehe Abbildung 2) ist der Vorteil für den hoch priorisierten Verkehr substantiell, die Auswirkungen auf den niedrig priorisierten Verkehr jedoch größer (eine Verschlechterung um 17% bei 40% Gesamtlast, eine Verschlechterung um 30% bei 70% Gesamtlast).

Abbildung 2: Durchschnittliche Aufenthaltsdauer in einem Outbound-(Router)-Übertragungsweg mit und ohne Priorisierung von 30% des Verkehrsvolumens



Quelle: WIK-Analyse.

4.1.5 Herausforderungen bei der Ermittlung von QoS und QoE im Zeitablauf

Erlebnisqualität (QoE) hängt nicht nur von objektiv messbaren QoS-Parametern ab, sondern auch von den Anforderungen der jeweiligen Applikation. Grundsätzlich ist die Messung von Internet-Performance an sich bereits schwierig genug, die Messung von applikationsspezifischer Performance stellt jedoch eine besondere Herausforderung dar, wie in Kapitel 4.3 erläutert wird.

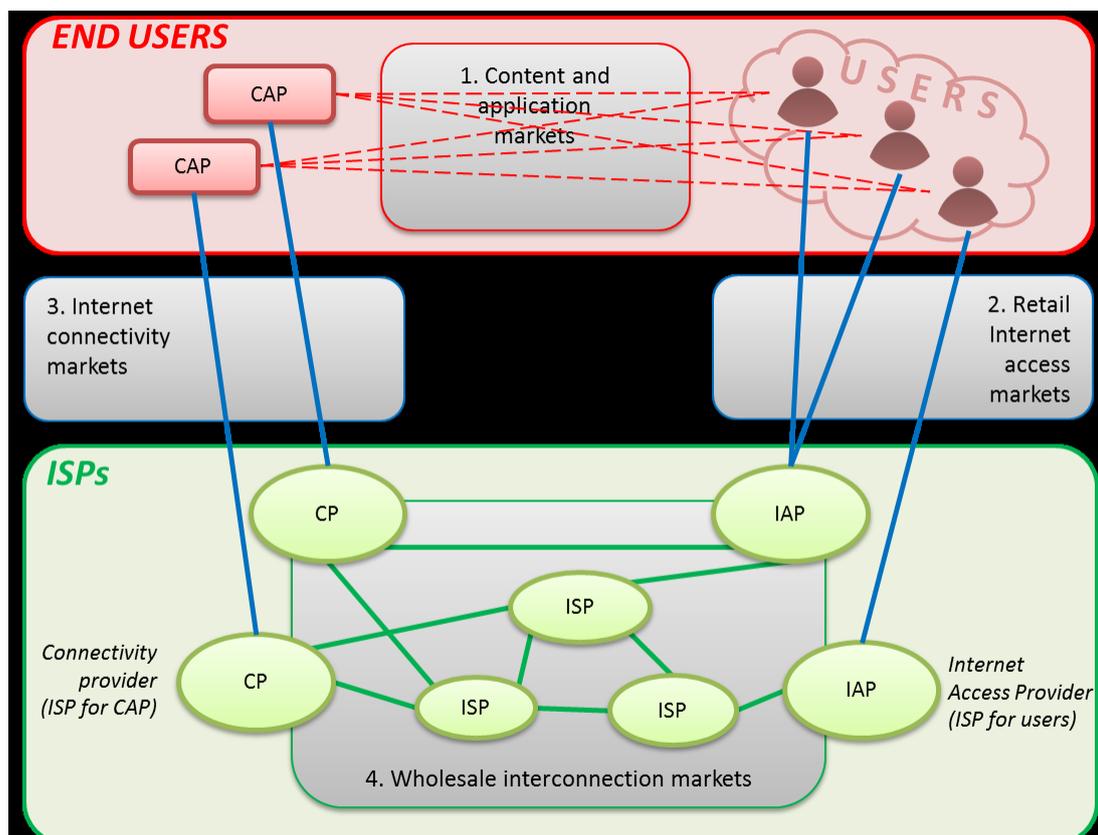
4.1.5.1 Gründe für Veränderungen bei der Erlebnisqualität

Die vom Nutzer erlebte QoE ist das Ergebnis der Performance an jedem einzelnen Punkt des Übertragungswegs, der Daten übernimmt, was ungefähr (aber nicht ganz genau) der Wertschöpfungskette entspricht (siehe Abbildung 3). Wenn ein Nutzer also Inhalte von einem CAP abrufen, hängt die Schnelligkeit der Antwort von verschiedenen Faktoren ab:

- der Geschwindigkeit des Dienstes des CAPs und insbesondere seiner Server;
- der Geschwindigkeit, mit der der ISP den CAP bedient³¹;
- einer beliebigen Zahl von ISP-Transitnetzen und in den meisten Fällen einem Peering-Interconnection-Punkt;
- der Geschwindigkeit, mit der der Endnutzer durch den Internetzugangspanbieter bedient wird;
- den nutzeigenen Teilnehmer-Endgeräten (Router, PC, Tablet oder Smartphone).

Sofern vorhanden (was oft der Fall ist) spielt auch ein *Content Delivery Network (CDN)* eine große Rolle.

Abbildung 3: Die Wertschöpfungskette im Internet



Quelle: BEREC (2012a).³²

³¹ Es ist auch möglich, dass der CAP sich selbst bedient.

³² BEREC (2012): Differentiation practices and related competition issues in the scope of net neutrality, BoR (12) 132.

Innerhalb der Debatte über Netzneutralität werden primär Degradierungen und Performanceverluste betrachtet, die in der Einflussosphäre des Internetzugangsanbieters liegen. Degradierung kann jedoch an jedem Punkt der oben beschriebenen langen Kette entstehen. Daher stellt sich die Frage, wie zwischen Degradierungen, die durch den Internetzugangsanbieter verursacht werden, und anderen, möglicherweise weniger problematischen Formen von Degradierung, unterschieden werden soll.

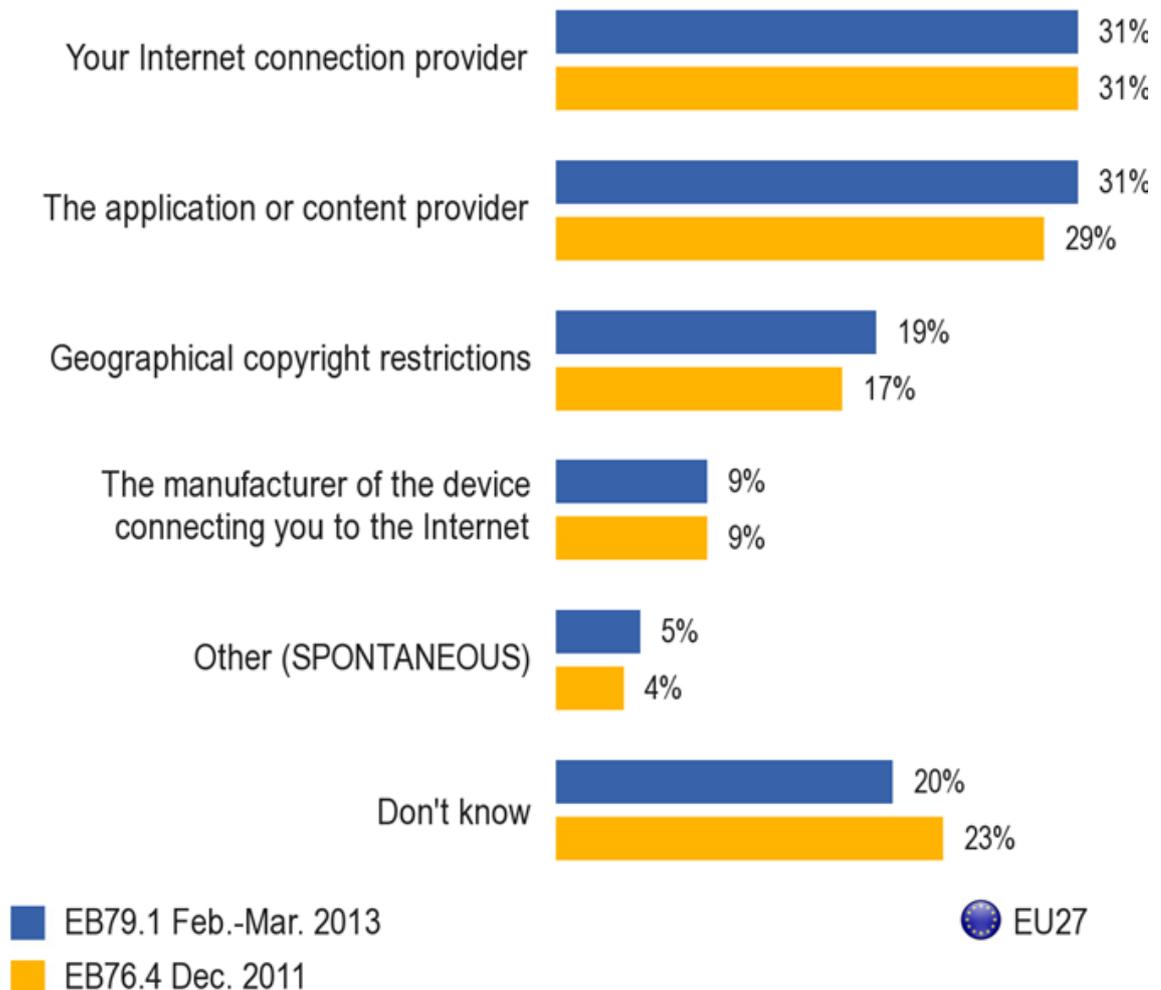
Das ist eine entscheidende Frage. In einer Eurostat Verbraucherumfrage aus dem Jahr 2013³³ wurden Verbraucher, die Erfahrungen mit Zugangsproblemen zu Online-Anwendungen hatten, über deren Ursachen befragt. Jeweils 31% schrieben die Verantwortung ihrem Internetzugangsdienstleister (IAP) oder dem Inhalte- und Applikationsprovider (CAP) zu. 19% nahmen als Ursache geographische Copyright-Beschränkungen an, 9% sahen die Verantwortung beim Endgerätehersteller (siehe Abbildung 4).³⁴

33 Vgl. European Commission (2013): Special Eurobarometer 396, E-Communications Households Survey, Report, Fieldwork: February - March 2013, Publication: November 2013.

34 Vgl. auch Arnold, R.; Waldburger, M.; Cilli, V.; van der Peijl, S.; Wauters, P.; Morasch, B.; Schmid, F.; Schneider, A. (2015): The Value of Network Neutrality to European Consumers. Full Results Report. WIK-Consult, Deloitte und YouGov Studie im Auftrag von BEREC, elektronisch verfügbar unter: http://www.wik.org/fileadmin/Studien/2015/2015_BEREC_Summary_Report.pdf.

Abbildung 4: Ursachen für Einschränkungen beim Zugang zu Online-Content oder Anwendungen.

QA15. In your opinion, which of the following was responsible for the blocking of online content or applications?



Quelle: European Commission (2013).³⁵

In Abhängig davon, was, wo und wie gemessen wird, können sehr wohl nachteilige Veränderungen identifiziert werden. Es kann aber trotz geeigneter Messinstrumente schwierig sein, die Ursachen für einen Performanceverlust genau zu bestimmen. Dies

³⁵ Vgl. European Commission (2013): Special Eurobarometer 396, E-Communications Households Survey, Report, Fieldwork: February - March 2013, Publication: November 2013.

hat wichtige Implikationen für das Design eines jeden Messsystems. Es ist wichtig, sich darüber im Klaren zu sein, was aus welchem Blickwinkel gemessen werden soll.

4.1.5.2 Veränderungen der QoE im Zeitverlauf

Die Preis-Performance-Relation von fast allem, was mit Informations- und Kommunikationstechnologien (ICTs) zu tun hat, hat sich dank des Mooreschen Gesetzes nach und nach verbessert. In seinem berühmten Artikel aus dem Jahr 1965 hat Gordon Moore festgestellt, dass sich die Zahl von Komponenten, die kosteneffektiv mit einer einzigen integrierten Schaltung implementiert werden können, je Zeiteinheit verdoppelt.³⁶ Heute herrscht weitgehendes Einvernehmen darüber, dass sich mit der gegenwärtigen Technologie die Zahl der Komponenten pro integrierter Schaltung ungefähr alle zwei Jahre verdoppelt.³⁷ Wir alle kennen diese Effekte. Wenn wir heute einen PC kaufen, wird er doppelt so schnell sein, doppelt so viel Speicherplatz und vermutlich ein Festplattenlaufwerk (oder ein Halbleiter-Äquivalent) haben, das doppelt so groß ist wie das des PCs, den wir für den gleichen Preis vor 2 Jahren hätten kaufen können.³⁸

Die Forderung, dass die Performance von Internet-Applikationen im Laufe der Zeit nicht schlechter werden darf, geht daher am eigentlichen Kern vorbei. Ein Nutzer, der im Jahr 2020 ein Qualitätserlebnis auf dem Niveau der Performance von 2015 erlebt, könnte sehr wohl von einer absichtlichen Leistungsminderung betroffen sein, selbst wenn kein Absinken der Performance zu messen ist.

Vor diesem Hintergrund ist der Vorschlag der lettischen Ratspräsidentschaft an die NRAs aus dem Jahr 2015 zu sehen, der vorsieht, „[to] promote the continued availability of open internet access services at levels of quality that reflect advances in technology“.³⁹

Ein Messprogramm muss dies berücksichtigen, dies sollte aber keine fundamentale Schwierigkeit darstellen. Die *Schwellwerte*, die zur Anzeige eines potenziellen Problems herangezogen werden, müssen von Jahr zu Jahr entsprechend nach oben angepasst werden. Solange die zugrunde liegenden Messwerte intakt bleiben, sollte dies auch Langzeitstudien nicht ausschließen.

36 Moore, G. (1965): Cramming more components onto integrated circuits, *Electronics*, Volume 38, Number 8, April 19, 1965. Die Originalarbeit ging von einer Verdopplung pro Jahr aus, nachfolgende Arbeiten haben die Rate dahingehend korrigiert, dass davon ausgegangen wird, dass alle 18 bis 24 Monate eine Verdoppelung stattfindet.

37 Fundamentale physikalische Grenzen werden dem Trend irgendwann ein Ende setzen, aber vermutlich wird er noch für einige weitere Zyklen andauern.

38 Festplattenspeicher profitieren ebenfalls von den rapiden Technologieverbesserungen.

39 European Council (2015): Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council laying down measures concerning the European single market for electronic communications and to achieve a Connected Continent, and amending Directives 2002/20/EC, 2002/21/EC and 2002/22/EC and Regulations (EC) No 1211/2009 and (EU) No 531/2012 – Examination of the Presidency's compromise proposal, 26. Mai 2015.

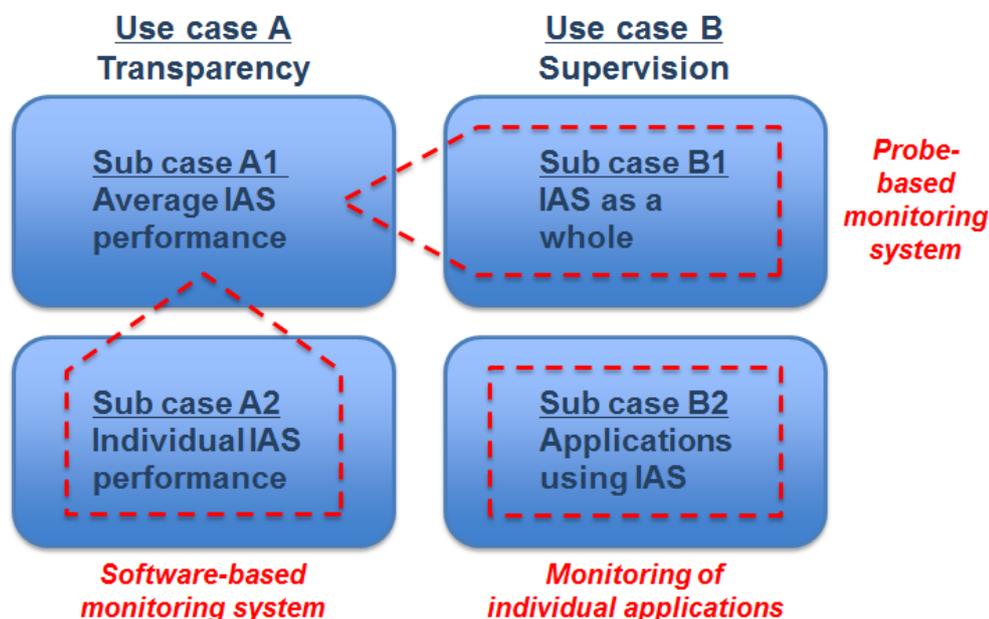
4.2 Bereits implementierte oder geplante Messprogramme

NRAs haben eine breite Palette von Programmen implementiert, um die Dienstqualität (QoS) zu messen. Eine umfangreiche Liste hat BEREC mit dem Anhang zum Bericht "Monitoring quality of Internet access services in the context of net neutrality" veröffentlicht.⁴⁰

Wie der Bericht von BEREC zeigt, werden für unterschiedliche Zielsetzungen verschiedene Messprogramme eingesetzt. Einige dienen in erster Linie der regulatorischen Kontrolle, während andere auf die Erhöhung von Transparenz hinzielen. Die meisten adressieren das Netz als Ganzes, nur einige wenige messen die Performance einzelner Anwendungen.

Aktive Messprogramme sind weiter verbreitet als passive Messprogramme, letztere finden jedoch auch Anwendung. Messungen an festen Standorten werden zum Zwecke der regulatorischen Kontrolle bevorzugt, es gibt aber auch Crowd-Sourcing-Messungen auf Basis großzahliger Endnutzersamples.

Abbildung 5: Unterschiedliche Überwachungsformen für verschiedene Anwendungszwecke



Quelle: BEREC (2014).⁴¹

⁴⁰ BEREC (2014): Annex of: Monitoring quality of Internet access services in the context of net neutrality, Update after public consultation, Annex to BoR (14) 117.

⁴¹ BEREC (2014): Monitoring quality of Internet access services in the context of net neutrality, Update after public consultation, BoR (14) 117.

Messprogramme für das Festnetz unterscheiden sich von denen für Mobilfunk. Ein weiteres Unterscheidungskriterium ist, ob spezifische Messsonden verwendet werden oder ob die Messungen an den Endgeräten der Kunden stattfinden.

Zwei Netzqualitätsinitiativen sollen in diesem Kontext hervorgehoben werden: Die der Zafaco GmbH für die BnetzA und die Misura⁴² Netzqualitätsinitiative der Fondazione Ugo Bordoni (FUB) für AGCOM. Beides sind hochentwickelte Verfahren zur Geschwindigkeitsmessung. Entsprechend geht es im Kern nicht um die Sicherung des Best-Effort-Internets, sondern um die Frage, ob Endkunden tatsächlich die vertraglich vereinbarten maximalen Übertragungsgeschwindigkeiten zur Verfügung gestellt werden.

SamKnows ist eines der wenigen Unternehmen, das für die Messungen dezidierte Hardware benutzt.⁴³ Es ist auch mit Blick auf den Umfang der durchgeführten Tests ziemlich einzigartig, da Messungen für Geschwindigkeiten (single QoS Parameter), Applikationsklassen (wie Web-Browsen) und spezifische Applikationen (BitTorrent, YouTube, Netflix) angeboten werden.⁴⁴

Auch außerhalb Europas finden in vielen Ländern Geschwindigkeitstests Anwendung, wie ein OECD Papier von 2014 zeigt.⁴⁵

4.3 Ergänzende Messansätze

Während in den vorangegangenen Kapiteln Messprogramme im Mittelpunkt standen, beschäftigt sich dieser Abschnitt mit ergänzenden Lösungen wie Verbrauchenumfragen und Messungen durch CAPs oder andere dritte Parteien.

Viele NRAs weltweit führen (bzw. führten früher) regelmäßig Verbraucher-Zufriedenheitsumfragen durch und veröffentlichen (veröffentlichen) Berichte über die wahrgenommene Dienstqualität. Die malaysische Kommunikations- und Multimedia Kommission (MCMC) veröffentlichte ihre Verbraucher-Zufriedenheitsumfragen seit dem Jahr 2001 einmal im Jahr⁴⁶ auf einer dafür vorgesehenen Website.⁴⁷ Nach dem Jahr 2011 hat die MCMC die Durchführung der Umfragen aufgegeben. Sie ist damit ein Beispiel von vielen. Es scheint, als seien Verbraucher-Zufriedenheitsumfragen ein Ding der Vergangenheit. Sie sind heute selten geworden.

Verbraucher-Zufriedenheitsumfragen haben typischerweise ihren Fokus auf der wahrgenommenen Sprachqualität. Damit haben sie eine applikationsklassen- oder sogar applikationsspezifische Perspektive. Heutzutage und mit Blick auf Applikationen, die auf

⁴² Vgl.: <https://www.misurainternet.it/architettura.php>.

⁴³ Vgl.: <https://www.samknows.com/meet-the-whitebox>.

⁴⁴ Vgl.: <https://www.samknows.com/broadband/uploads/methodology/SQ301-005-EN-Test-Suite-Whitepaper-4.pdf>.

⁴⁵ Vgl. OECD (2014): Access Network Speed Tests, OECD Digital Economy Papers, No. 237, OECD Publishing, elektronisch verfügbar unter: <http://dx.doi.org/10.1787/5jz2m5mr66f5-en>.

⁴⁶ Im Jahr 2005 gab es keinen Report.

⁴⁷ Vgl.: <http://www.skmm.gov.my/Resources/Statistics/Consumer-Satisfaction-Survey.aspx>.

ein Best-Effort-Dienstmodell bauen, müssten Verbraucher-Zufriedenheitsumfragen offensichtlich an das bestehende Portfolio relevanter Online-Applikationen angepasst werden. Im Prinzip sollte einer solchen Transponierung des Konzepts kein fundamentaler technischer Grund entgegenstehen. Die wichtigere Frage ist jedoch vielmehr, ob die Nutzung eines solchen Instruments für Regulierungsbehörden noch von hinreichendem Wert ist. Vor dem Hintergrund des Nutzens, den die meisten NRAs aus ihren Beschwerdestellen für Konsumenten sowie aus Messprogrammen ziehen, ist die Erfordernis von Verbraucher-Zufriedenheitsumfragen nicht mehr wirklich ersichtlich. Hätte ein Arzt die Wahl zwischen der Durchführung einer Reihe von Untersuchungen mit einem Patienten oder einer Befragung von Patienten darüber, wie gut sie sich behandelt fühlen, würde sich der Arzt wohl für ersteres entscheiden. Ähnlich dürfte die Wahl einer Regulierungsbehörde zwischen dem Einsatz von Messprogrammen und dem Einsatz von Verbraucherumfragen ausfallen.

Verbraucher-Zufriedenheitsumfragen können trotzdem ein interessantes Instrument darstellen, wenn auch eher für CAPs als für NRAs. So fragt zum Beispiel Skype nach Beendigung eines Gesprächs seine Nutzer, wie sie die Sprach- oder Videoqualität bewerten. Nutzer können die wahrgenommene Qualität auf einer Skala von eins bis fünf einstufen, von sehr schlecht bis exzellent. Skype veröffentlicht die Statistiken zur Gesprächsbeurteilung nicht. Andere CAPs haben jedoch eigene Messprogramme eingeführt und nutzen die entsprechenden Reports aktiv in der öffentlichen Debatte über die Netzperformance der verschiedenen ISPs.

Namhafte Beispiele für CAP-getriebene Messprogramme beinhalten den ISP-Speed-Index⁴⁸ und Googles Videoqualität-Report⁴⁹. Beide sind applikationsspezifisch. Sie spiegeln zwei der weltweit größten Video-Streaming Applikationen: Netflix und YouTube. Beide sind geschwindigkeitsorientiert, d. h. sie messen hauptsächlich den Datendurchsatz. Der ISP-Speed-Index von Netflix berechnet für jedes untersuchte Land maximale, minimale und durchschnittliche Geschwindigkeit. Innerhalb eines Landes wird die Reihenfolge und Durchschnittsgeschwindigkeit der untersuchten ISPs angegeben und es wird gezeigt, ob sich ein bestimmter ISP im Vergleich zur Vorperiode in der Bewertung verbessert oder verschlechtert hat.

Verschiedene Szenarien sind denkbar, in denen CAPs einen Vorteil aus der Implementierung eigener Messprogramme und der Veröffentlichung ihrer eigenen Ergebnisse ziehen könnten. Die Motivation für Netflix und Google besteht offensichtlich darin, mit den Berichten Druck auf die ISPs auszuüben, die nicht genügend Bandbreite für die betreffende Video-Streaming Applikation zur Verfügung stellen oder den entsprechenden Datenverkehr sogar drosseln. Mit dem Finger auf die ISPs zu zeigen, deren Performance hinter den Erwartungen zurückbleibt, hilft ihnen, die Nutzer darauf hinzuwei-

⁴⁸ Vgl.: <http://ispspeedindex.netflix.com/>.

⁴⁹ Vgl.: <https://www.google.com/get/videoqualityreport/>. Zu beachten ist, dass die Website nur Resultate anzeigt, wenn von einem Standort aus zugegriffen wird, den Google mit dem Messprogramm abdeckt. Andernfalls werden nur allgemeine Informationen zum Programm angezeigt.

sen, dass die Gründe für schlechte Erlebnisqualität auf der für den Datentransport verantwortlichen Seite liegen und nicht bei der Videoplattform selbst. Sie schaffen damit auch Anreize für ISPs, in Netzkapazität für das Best-Effort-Internet zu investieren (oder Verkehrsdrosselung zu vermeiden).

CAP-getriebene Messprogramme können daher als ergänzende Lösungen zu NRA-getriebenen Messprogrammen betrachtet werden, sie haben aber ihre Grenzen. Was besonders wichtig erscheint, ist, dass sie von einem parteiischen Akteur finanziert und betrieben werden. Die angewandte Methodik wird zwar für die Öffentlichkeit dokumentiert, die Messprogramme werden aber nicht von neutralen Parteien geprüft. Diese Programme sind damit nicht vollständig transparent. Ob der Druck, den solche CAP-getriebenen Programme auf ISPs ausüben, mit den jeweiligen CAPs Vereinbarungen zu treffen,⁵⁰ am Ende der Öffentlichkeit dient, kann nicht beantwortet werden.

Es gibt auch offene Plattformen zur Leistungsmessung im Internet und jährliche Netzqualitätsstudien durch unabhängige Parteien. Als Measurement Lab (M-Lab) einen Bericht veröffentlichte, der, basierend auf den von der M-Lab Plattform gesammelten Daten, zu dem Schluss kam, dass die Zusammenschaltung von ISPs substantiellen Einfluss auf die Internetperformance der Konsumenten hat,⁵¹ wurde dadurch eine komplexe Debatte⁵² über die Verschlechterung der Nutzererfahrung durch das Verhalten von Transit-ISPs wie Cogent losgetreten. Der wichtigste Schluss, der sich aus diesem Fall ziehen lässt, ist, dass offene Plattformen wie M-Lab eine wertvolle zusätzliche Quelle darstellen können, um Einsichten in ausgewählte Themenbereiche zu bekommen, die andernfalls verborgen bleiben würden.

Periodische Netzqualitätsstudien, durchgeführt von unabhängiger Seite, können ein ähnlich hilfreiches ergänzendes Instrumentarium darstellen. Prominente Beispiele dafür sind die halbjährliche US-amerikanische Mobilfunk-Netzqualitätsstudie von J.D. Power⁵³ und die jährliche Mobilfunk-Netzstudie⁵⁴ der Zeitschrift Connect für Deutschland, Österreich und die Schweiz. J.D. Power ist ein Marktforschungsunternehmen, Connect ein telekommunikationsorientierter Medienkanal. Beide Studien nutzen automatisierte Drivetests. Diese replizieren typische Nutzungsszenarien von Mobilfunkkunden, die unterwegs auf der Straße oder im Zug telefonieren oder das Internet nutzen. Sie fokussieren auf Leistungsmetriken wie Rufabbruchsquote, Verbindungsaufbauzeit, Ladezeit

⁵⁰ Solche Vereinbarungen könnten in mancher Jurisdiktion legal sein, in anderen sind sie es möglicherweise nicht.

⁵¹ Vgl. Measurement Lab (2014), S. 4. Measurement Lab (2014): ISP Connection and its Impact on Consumer Internet Performance. Release 1.0, pp. 1-37, elektronisch verfügbar unter: http://www.measurementlab.net/static/observatory/M-Lab_Interconnection_Study_US.pdf.

⁵² Vgl. zum Beispiel: <http://blog.streamingmedia.com/2014/11/cogent-now-admits-slowed-netflixs-traffic-creating-fast-lane-slow-lane.html> und <http://arstechnica.com/information-technology/2014/11/during-netflix-money-fight-cogents-other-big-customers-suffered-too/>.

⁵³ Für eine Zusammenfassung der Ausgabe (2015 Vol. 1) hinsichtlich Studienbeschreibung und ihrer primären Ergebnisse vgl.: http://www.jdpower.com/sites/default/files/2015024%20Wireless%20NQ%20Release%20V1_Press%20Release_Final.pdf.

⁵⁴ Vgl. <http://www.connect.de/netztest/>.

ten für Webseiten oder fehlgeschlagene Aufrufzeiten für Webseiten. Sie richten sich an eine breitere Öffentlichkeit und beantworten primär die Frage, welches Mobilfunknetz insgesamt am besten für ein bestimmtes Mobilfunknutzerprofil geeignet ist.

Diese Netzqualitätsstudien fokussieren auf nicht datengestützte Anwendungen (z. B. Mobiletelefonie) und können daher die an anderer Stelle in diesem Papier diskutierten Messprogramme nicht ersetzen. Sie liefern zudem nicht annähernd genug feinmaschige Information über die Kapazität des Best-Effort-Internets. Schließlich sind entsprechende automatisierte Drivetests so kostspielig, dass Daten nur über einen relativ kurzen Zeitraum gesammelt werden und daher eher Stichproben als kontinuierliche Qualitätsmessungen darstellen. Nichtsdestotrotz dienen sie der Transparenz und sensibilisieren eine breite Öffentlichkeit für das Thema Qualität.

Freiwillige wirtschaftliche Verhaltenskodizes zusammen mit Selbstregulierungs- oder Ko-Regulierungsmaßnahmen stellen eine Alternative oder Ergänzung zur Kontrolle durch NRAs dar. Freiwillige Industrieinitiativen wie das Verkehrsmanagement der Broadband Stakeholder Group⁵⁵ und Open-Internet⁵⁶-Kodizes haben dazu geführt, dass UK-basierte ISPs relativ leicht verständliche und vergleichbare Informationen zu ihren Verkehrsmanagementpraktiken anhand gemeinsamer Indikatoren veröffentlichen.⁵⁷ Damit adressieren sie BERCs Transparenzziele. Viele ISPs haben sich dazu verpflichtet, rechtmäßigen Verkehr und Inhalt nicht zu blockieren. Würden diese Kodizes konzeptionell angepasst, um zusätzlich spezielle Verpflichtungen mit Blick auf die gegenwärtige und zukünftige Kapazität einzuschließen, die für das Best-Effort-Internet zur Verfügung stehen, könnten sie sich zu einem Modell für eine freiwillige Industrieinitiative mit dem Potenzial entwickeln, „Schotterpisten“-Bedenken insgesamt zu zerstreuen.

⁵⁵ Vgl. Broadband Stakeholders Group (2011): Voluntary industry code of practice on traffic management transparency for broadband services, elektronisch verfügbar unter:

<http://www.broadbanduk.org/wp-content/uploads/2013/08/Voluntary-industry-code-of-practice-on-traffic-management-transparency-on-broadband-services-updated-version-May-2013.pdf>.

⁵⁶ Broadband Stakeholders Group (2014): Open Internet Code of Practice: Voluntary Code of Practice Supporting Access to Legal Services and Safeguarding Against Negative Discrimination on the Open Internet, elektronisch verfügbar unter: <http://www.broadbanduk.org/wp-content/uploads/2015/01/BSG-Open-Internet-Code-of-Practice-amended-November-2014.pdf>.

⁵⁷ Eine regelmäßig aktualisierte Online-Sammlung von Verkehrsmanagementpraktiken der teilnehmenden ISPs ist elektronisch verfügbar unter: <http://www.broadbanduk.org/bsg-openinternettrafficmanagement/trafficmanagementkfis/>

5 Grundsätzliche Überlegungen zur Messung der Qualität im Best-Effort-Internet im Zeitablauf

Eine Reihe von Parametern hat Einfluss darauf, was Messprogramme, die zur Prüfung der Internet Performance eingesetzt werden, tatsächlich an Ergebnissen liefern können. Auch wenn BEREC bestrebt ist, eine stärkere Vereinheitlichung der Anforderungen der verschiedenen NRAs zu erreichen, ist es offensichtlich, dass auf Ebene der Mitgliedsstaaten ein weites Spektrum an aktiven und passiven Messinstrumenten existiert⁵⁸ und auch in Zukunft existieren wird.

Wie in Abschnitt 4.2 dargestellt wurde, nutzen NRAs heute für die Kontrolle von QoS bereits eine Vielzahl von Instrumenten. Diese umfassen aktive und passive Messmethoden sowie gemanagte und Crowdsourcing Ansätze. Dies wird vermutlich auch in Zukunft so bleiben und erscheint auch sinnvoll, da NRAs lokale Umstände berücksichtigen müssen.

Nichtsdestotrotz könnte die Konzeption einheitlicher Monitoring-Prozesse, welche auf einem integrierten Ansatz aufbauen, sinnvoll sein. Die Idee dabei ist, die Daten, die aus einer Fülle von Quellen in die nationale Evidenzbasis einfließen, durch verschiedene Tools (gemeinhin als *Decision Support System* (DSS) bezeichnet) zu bewerten, um damit die beurteilenden Analysten bei ihrer Aufgabe zu unterstützen, die darin besteht, sich anbahnende „Schotterpisten“-Effekte zu identifizieren.

Auch wenn sich die „Frontpartie“ der Evidenzbasis von NRA zu NRA in dem Maß, wie sie unterschiedliche Datenerfassungstools benutzen, unterscheiden würde, bestünde eine realistische Möglichkeit, dass die Tools, die bei der Analyse Anwendung finden, ein gewisses Maß an Gemeinsamkeiten aufweisen.

⁵⁸ BEREC (2014): Annex of: Monitoring quality of Internet access services in the context of net neutrality, Update after public consultation, Annex to BoR (14) 117.

Die Identifikation von Veränderungen in der Qualität des Best-Effort-Internets im Zeitablauf aufzudecken, ist dabei keine einfache Aufgabe.

Es lassen sich bei den Messungen der Netz-Performance jedoch strukturelle Ansatzpunkte zur Lösung finden. Die Überwachung der Netz-Performance entsprechend eines Sets von bewährten Qualitätsparametern wie Datendurchsatz, Verzögerung, Jitter, Paketverlustrate und Paketfehlerrate wird bereits seit längerem eingesetzt. Dies sind Routineaufgaben des Netzmanagements.

Bei der Analyse dieser Evidenzbasis könnten Entscheidungsunterstützungssysteme einen Beitrag leisten. Es ist davon auszugehen, dass sowohl statistische Werkzeuge als auch Datenmanagement- und Datenvisualisierungs-Tools benötigt werden. Hilfsmittel zur Analyse von Zeitserien und Aufdeckung von Trends erscheinen ebenso erforderlich wie Tools, die auf der Analyse von Varianztechniken basieren. Letztere können zwischen tatsächlichen Trends und zufälligen Auffälligkeiten unterscheiden, die in keinem Zusammenhang stehen und daher nur ein „Rauschen“ darstellen.

Das Problem ähnelt im Prinzip einer Paneldatenanalyse, die großen Datenvolumen scheinen jedoch für die Verwendung einfacherer, heuristischer Methoden zu sprechen.

Für die Beurteilung von Veränderungen und Tendenzen im Zeitverlauf bieten sich viele der Techniken an, die von Wirtschaftsingenieuren für die Erkennung von Verschiebungen in industriellen Prozessen verwendet werden, z. B. die Methode des *exponentiell geglätteten Durchschnitts*.⁵⁹

Wenn das Ziel darin besteht, mögliche „Schotterpisten“-Effekte durch NRAs aufzudecken, ist es erforderlich, Messungen an einer festen Lokation oder mehreren festen Lokationen durchzuführen, damit Repetierbarkeit gewährleistet ist. Crowdsourcing-Lösungen, bei denen Nutzer Prüfprogramme zu Zeiten und an Orten ihrer Wahl laufen lassen, können zwar potenziell eine weitaus größere Zahl von Stichproben liefern, implizieren jedoch das Risiko, dass die Proben hinsichtlich Tageszeit, geografischer Verteilung oder Eigenschaften der Nutzerbasis⁶⁰ nicht repräsentativ sind und durch zeitgleiche Aktivitäten im Gerät des Endnutzers Verzerrungen oder Variationen auftreten. Vor diesem Hintergrund können sie zwar eine wichtige ergänzende Rolle spielen, Messungen durch NRAs jedoch nicht ersetzen.

⁵⁹ Bei dieser Methode wird neuen Daten eine Gewichtung α gegeben, während der vorherige Durchschnitt eine Gewichtung von $(1-\alpha)$ hat. Haben neue Daten zum Beispiel eine Gewichtung von 20%, erhalten alte Daten eine Gewichtung von 80%. Diese Methodik reduziert das Risiko, dass die Parameter bei kurzen Spitzen überreagieren.

⁶⁰ Potentiell unterliegen diejenigen, die die Tests generieren, einer *Selbst-Selektionsverzerrung*.

6 Abschließende Feststellungen

Durch die BEREC Richtlinien vom August 2016 besteht nun größere Klarheit darüber, unter welchen Voraussetzungen Anbieter vom Prinzip der Netzneutralität in Europa in Zukunft abweichen dürfen. Dies hat insbesondere vor dem Hintergrund der Befürchtung Relevanz, dass Internet-Verkehrsmanagement und Priorisierung Netzbetreiber dazu motivieren könnten, nicht-priorisierten Datenverkehr herabzustufen und damit das Best-Effort-Internet in eine „Schotterpiste“ geringer Kapazität und Qualität zu verwandeln. Eine Konsequenz der BEREC Richtlinien dürfte sein, dass die nationalen Regulierer (NRAs) die Performance im Best-Effort-Internet in Zukunft einem genaueren Monitoring unterziehen werden.

Unsere Analyse zeigt, dass „Schotterpisten“-Effekte in einem wettbewerblichen Umfeld mit geringen Transaktionskosten wenig wahrscheinlich sind. Nichtsdestotrotz kommen Methoden zur Qualitätsmessung wichtige Funktionen zu, nicht zuletzt aus Transparenzerwägungen.

Instrumente zur Messung der Qualität der Versorgung sind verbreitet und leisten einen wichtigen Beitrag zur Objektivierung der Debatte. Wichtig ist es hierbei, zwischen der Quality of Service (QoS) und Quality of Experience (QoE) zu differenzieren. Während erstere auf Basis objektiver Parameter messbar ist, handelt es sich bei letzterer um ein subjektives Empfinden, welches zudem dadurch geprägt wird, dass die gefühlten Anforderungen im Zeitablauf kontinuierlich zunehmen.

Stand heute stellt die Identifikation von Veränderungen in der Qualität des Best-Effort-Internets im Zeitablauf noch eine Herausforderung dar. Etablierte Messansätze können einen Beitrag zum Aufbau einer Evidenzbasis leisten, die jedoch dann Gegenstand grundsätzlicher Analysen sein sollte. Im Rahmen solcher Analysen können *Entscheidungsunterstützungssysteme (DSS)* eine wichtige unterstützende Rolle spielen.

Literaturverzeichnis

- Adan, I.; Resing, J. (2015): Queueing Systems, elektronisch verfügbar unter:
<http://www.win.tue.nl/~iadan/queueing.pdf>
- Arnold, R.; Waldburger, M.; Cilli, V.; van der Peijl, S.; Wauters, P.; Morasch, B.; Schmid, F.; Schneider, A. (2015): The Value of Network Neutrality to European Consumers. Full Results Report. WIK-Consult, Deloitte und YouGov Studie im Auftrag von BEREC, elektronisch verfügbar unter:
http://www.wik.org/fileadmin/Studien/2015/2015_BEREC_Summary_Report.pdf
- Bellovin, S. (2015): Packet Loss: How the Internet Enforces Speed Limits, elektronisch verfügbar unter: <https://www.cs.columbia.edu/~smb/blog/2015-02/2015-02-27.html>
- BEREC (2016): BEREC Guidelines on the Implementation by National Regulators of European Net Neutrality Rules, BoR (16) 127
- BEREC (2014): Monitoring quality of Internet access services in the context of net neutrality. Update after public consultation, BoR (14) 117, elektronisch verfügbar unter:
http://berec.europa.eu/eng/document_register/subject_matter/berec/download/0/4602-monitoring-quality-of-internet-access-se_0.pdf
- BEREC (2014): Annex of: Monitoring quality of Internet access services in the context of net neutrality, Update after public consultation, Annex to BoR (14) 117
- BEREC (2012): Differentiation practices and related competition issues in the scope of net neutrality, BoR (12) 132
- BEREC (2012): BEREC Guidelines for quality of service in the scope of net neutrality. BoR (12) 131, elektronisch verfügbar unter:
http://berec.europa.eu/eng/document_register/subject_matter/berec/download/0/1101-berec-guidelines-for-quality-of-service-_0.pdf
- Broadband Stakeholders Group (2014): Open Internet Code of Practice: Voluntary Code of Practice Supporting Access to Legal Services and Safeguarding Against Negative Discrimination on the Open Internet, elektronisch verfügbar unter:
<http://www.broadbanduk.org/wp-content/uploads/2015/01/BSG-Open-Internet-Code-of-Practice-amended-November-2014.pdf>
- Broadband Stakeholders Group (2011): Voluntary industry code of practice on traffic management transparency for broadband services, elektronisch verfügbar unter:
<http://www.broadbanduk.org/wp-content/uploads/2013/08/Voluntary-industry-code-of-practice-on-traffic-management-transparency-on-broadband-services-updated-version-May-2013.pdf>
- Carter, K.; Marcus, S.; Wernick, C. (2008): Network Neutrality: Implications for Europe, WIK-Diskussionsbeitrag Nr. 314
- Cerf, V.; Kahn, R. (1974): A protocol for Packet Network Interconnection; und Cerf, V. (1978): The Catenet Model for Internetworking, Information Processing Techniques Office, Defense Advanced Research Projects Agency, IEN 48, Juli 1978
- Cisco Systems (2009): Cisco IOS Quality of Service Solutions Configuration Guide. Release 12.2SR, pp. 1-778, elektronisch verfügbar unter:
http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios/qos/configuration/guide/12_2sr/qos_12_2sr_book.pdf

- Conway, R. W.; Maxwell, W. L.; Miller, L. W. (1967): Theory of Scheduling, Addison-Wesley
- European Commission (2013): Proposal for a regulation of the European Parliament and the Council laying down measures concerning the European single market for electronic communications and to achieve a Connected Continent, and amending Directives 2002/20/EC, 2002/21/EC and 2002/22/EC and Regulations (EC) No 1211/2009 und (EU) No 531/2012, 11. September 2013, COM(2013) 627 final
- European Commission (2013): Special Eurobarometer 396, E-Communications Households Survey, Report, Fieldwork: February - March 2013, Publication: November 2013
- European Council (2015): Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council laying down measures concerning the European single market for electronic communications and to achieve a Connected Continent, and amending Directives 2002/20/EC, 2002/21/EC and 2002/22/EC and Regulations (EC) No 1211/2009 and (EU) No 531/2012 - Examination of the Presidency's compromise proposal, 26. Mai 2015
- European Parliament and Council (2009): Directive 2009/140/EC of the European Parliament and of the Council of 25 November 2009 amending Directives 2002/21/EC on a common regulatory framework for electronic communications networks and services, 2002/19/EC on access to, and interconnection of, electronic communications networks and associated facilities, and 2002/20/EC on the authorisation of electronic communications networks and services. OJ L 337, pp. 37-69, elektronisch verfügbar unter: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TEXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0140&from=en>
- Hotelling, H. (1929): Stability in Competition, The economic Journal, Vol. 39, No. 153, März 1929, S. 41-57
- IETF (1981): Internet Protocol: DARPA Internet Program Protocol Specification
- ITU-T G.114 (05/2003) General Recommendations on the transmission quality for an entire international telephone connection
- Kobayashi, H. (1978): Modeling and Analysis: An Introduction to System Performance Methodology, Addison-Wesley
- Kuipers, F. A.; Kooij, R. E.; De Vleeschauwer, D.; Brunnstrom, K. (2010): Techniques for Measuring Quality of Experience, in: Proceedings of the 8th International Conference on Wired/Wireless Internet Communications (WWIC 2010), Lulea, Sweden, 1.-3. Juni 2010, LCNS 6074, 2010
- Marcus, J. Scott and Waldburger, Martin (2015): Identifying Harm to the Best Efforts Internet (June 29, 2015). Erhältlich über SSRN: <http://ssrn.com/abstract=2624604> oder <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2624604>
- Marcus, J. Scott (2014), Network Neutrality Revisited: Challenges and Responses in the EU and in the US, Studie für das Europäische Parlament, IMCO Committee, IP/A/IMCO/2014-02, PE 518.751, elektronisch verfügbar unter: http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2014/518751/IPOL_STU%282014%29518751_EN.pdf
- Marcus, S. J. (2014): The economic impact of Internet traffic growth on network operators, elektronisch verfügbar unter: http://www.wik.org/uploads/media/Google_Two-Sided_Mkts.pdf

Marcus, J. S. (1999): Designing Wide Area Networks and Internetworks: A Practical Guide, Addison Wesley

Measurement Lab (2014): ISP Connection and its Impact on Consumer Internet Performance. Release 1.0, elektronisch verfügbar unter:

http://www.measurementlab.net/static/observatory/M-Lab_Interconnection_Study_US.pdf

Moore, G. (1965): Cramming more components onto integrated circuits, Electronics, Volume 38, Number 8, April 19, 1965

OECD (2014): Access Network Speed Tests, OECD Digital Economy Papers, No. 237, OECD Publishing, elektronisch verfügbar unter: <http://dx.doi.org/10.1787/5jz2m5mr66f5-en>

US FCC (2015): In the Matter of Protecting and Promoting the Open Internet: Report and Order on Remand, Declaratory Ruling, and Order, GN Docket No. 14-28

Als "Diskussionsbeiträge" des Wissenschaftlichen Instituts für Infrastruktur und Kommunikationsdienste sind zuletzt erschienen:

- Nr. 338: Ralf G. Schäfer unter Mitarbeit von Volker Köllmann:
Regulierung von Auskunft- und Mehrwertdiensten im internationalen Vergleich, April 2010
- Nr. 339: Christian Growitsch, Christine Müller, Marcus Stronzik
Anreizregulierung und Netzinvestitionen, April 2010
- Nr. 340: Anna Maria Doose, Dieter Elixmann, Rolf Schwab:
Das VNB-Geschäftsmodell in einer sich wandelnden Marktumgebung: Herausforderungen und Chancen, April 2010
- Nr. 341: Alex Kalevi Dieke, Petra Junk, Sonja Schölermann:
Die Entwicklung von Hybridpost: Marktentwicklungen, Geschäftsmodelle und regulatorische Fragestellungen, August 2010
- Nr. 342: Karl-Heinz Neumann:
Structural models for NBN deployment, September 2010
- Nr. 343: Christine Müller:
Versorgungsqualität in der leitungsgebundenen Gasversorgung, September 2010
- Nr. 344: Roman Inderst, Jürgen Kühling, Karl-Heinz Neumann, Martin Peitz:
Investitionen, Wettbewerb und Netzzugang bei NGA, September 2010
- Nr. 345: Christian Growitsch, J. Scott Marcus, Christian Wernick:
Auswirkungen niedrigerer Mobilterminierungsentgelte auf Endkundenpreise und Nachfrage, September 2010
- Nr. 346: Antonia Niederprüm, Veronika Söntgerath, Sonja Thiele, Martin Zauner:
Post-Filialnetze im Branchenvergleich, September 2010
- Nr. 347: Peter Stamm:
Aktuelle Entwicklungen und Strategien der Kabelbranche, September 2010
- Nr. 348: Gernot Müller:
Abgrenzung von Eisenbahnverkehrsmärkten – Ökonomische Grundlagen und Umsetzung in die Regulierungspraxis, November 2010
- Nr. 349: Christine Müller, Christian Growitsch, Matthias Wissner:
Regulierung und Investitionsanreize in der ökonomischen Theorie, IRIN Working Paper im Rahmen des Arbeitspakets: Smart Grid-gerechte Weiterentwicklung der Anreizregulierung, Dezember 2010
- Nr. 350: Lorenz Nett, Ulrich Stumpf:
Symmetrische Regulierung: Möglichkeiten und Grenzen im neuen EU-Rechtsrahmen, Februar 2011
- Nr. 350: Lorenz Nett, Ulrich Stumpf:
Symmetrische Regulierung: Möglichkeiten und Grenzen im neuen EU-Rechtsrahmen, Februar 2011
- Nr. 351: Peter Stamm, Anne Stetter unter Mitarbeit von Mario Erwig:
Bedeutung und Beitrag alternativer Funklösungen für die Versorgung ländlicher Regionen mit Breitbandanschlüssen, Februar 2011
- Nr. 352: Anna Maria Doose, Dieter Elixmann:
Nationale Breitbandstrategien und Implikationen für Wettbewerbspolitik und Regulierung, März 2011
- Nr. 353: Christine Müller:
New regulatory approaches towards investments: a revision of international experiences, IRIN working paper for working package: Advancing incentive regulation with respect to smart grids, April 2011
- Nr. 354: Alex Kalevi Dieke, Petra Junk, Sonja Thiele:
Elektronische Zustellung: Produkte, Geschäftsmodelle und Rückwirkungen auf den Briefmarkt, Juni 2011
- Nr. 355: Christin Gries, J. Scott Marcus:
Die Bedeutung von Bitstrom auf dem deutschen TK-Markt, Juni 2011

- Nr. 356: Kenneth R. Carter, Dieter Elixmann, J. Scott Marcus:
Unternehmensstrategische und regulatorische Aspekte von Kooperationen beim NGA-Breitbandausbau, Juni 2011
- Nr. 357: Marcus Stronzik:
Zusammenhang zwischen Anreizregulierung und Eigenkapitalverzinsung, IRIN Working Paper im Rahmen des Arbeitspakets: Smart Grid-gerechte Weiterentwicklung der Anreizregulierung, Juli 2011
- Nr. 358: Anna Maria Doose, Alessandro Monti, Ralf G. Schäfer:
Mittelfristige Marktpotenziale im Kontext der Nachfrage nach hochbitratigen Breitbandanschlüssen in Deutschland, September 2011
- Nr. 359: Stephan Jay, Karl-Heinz Neumann, Thomas Plückebaum unter Mitarbeit von Konrad Zoz:
Implikationen eines flächendeckenden Glasfaserausbaus und sein Subventionsbedarf, Oktober 2011
- Nr. 360: Lorenz Nett, Ulrich Stumpf:
Neue Verfahren für Frequenzauktionen: Konzeptionelle Ansätze und internationale Erfahrungen, November 2011
- Nr. 361: Alex Kalevi Dieke, Petra Junk, Martin Zauner:
Qualitätsfaktoren in der Post-Entgeltregulierung, November 2011
- Nr. 362: Gernot Müller:
Die Bedeutung von Liberalisierungs- und Regulierungsstrategien für die Entwicklung des Eisenbahnpersonenfernverkehrs in Deutschland, Großbritannien und Schweden, Dezember 2011
- Nr. 363: Wolfgang Kieseewetter:
Die Empfehlungspraxis der EU-Kommission im Lichte einer zunehmenden Differenzierung nationaler Besonderheiten in den Wettbewerbsbedingungen unter besonderer Berücksichtigung der Relevante-Märkte-Empfehlung, Dezember 2011
- Nr. 364: Christine Müller, Andrea Schweinsberg:
Vom Smart Grid zum Smart Market – Chancen einer plattformbasierten Interaktion, Januar 2012
- Nr. 365: Franz Büllingen, Annette Hillebrand, Peter Stamm, Anne Stetter:
Analyse der Kabelbranche und ihrer Migrationsstrategien auf dem Weg in die NGA-Welt, Februar 2012
- Nr. 366: Dieter Elixmann, Christin-Isabel Gries, J. Scott Marcus:
Netzneutralität im Mobilfunk, März 2012
- Nr. 367: Nicole Angenendt, Christine Müller, Marcus Stronzik:
Elektromobilität in Europa: Ökonomische, rechtliche und regulatorische Behandlung von zu errichtender Infrastruktur im internationalen Vergleich, Juni 2012
- Nr. 368: Alex Kalevi Dieke, Petra Junk, Sonja Thiele, Martin Zauner:
Kostenstandards in der Ex-Post-Preiskontrolle im Postmarkt, Juni 2012
- Nr. 369: Ulrich Stumpf, Stefano Lucidi:
Regulatorische Ansätze zur Vermeidung wettbewerbswidriger Wirkungen von Triple-Play-Produkten, Juni 2012
- Nr. 370: Matthias Wissner:
Marktmacht auf dem Primär- und Sekundär-Regelenergiemarkt, Juli 2012
- Nr. 371: Antonia Niederprüm, Sonja Thiele:
Prognosemodelle zur Nachfrage von Briefdienstleistungen, Dezember 2012
- Nr. 372: Thomas Plückebaum, Matthias Wissner:
Bandbreitenbedarf für Intelligente Stromnetze, 2013
- Nr. 373: Christine Müller, Andrea Schweinsberg:
Der Netzbetreiber an der Schnittstelle von Markt und Regulierung, 2013
- Nr. 374: Thomas Plückebaum:
VDSL Vectoring, Bonding und Phantoming: Technisches Konzept, marktliche und regulatorische Implikationen, Januar 2013

- Nr. 375: Gernot Müller, Martin Zauner:
Einzelwagenverkehr als Kernelement eisenbahnbezogener Güterverkehrskonzepte?, Dezember 2012
- Nr. 376: Christin-Isabel Gries, Imme Philbeck:
Marktentwicklungen im Bereich Content Delivery Networks, April 2013
- Nr. 377: Alessandro Monti, Ralf Schäfer, Stefano Lucidi, Ulrich Stumpf:
Kundenbindungsansätze im deutschen TK-Markt im Lichte der Regulierung, Februar 2013
- Nr. 378: Tseveen Gantumur:
Empirische Erkenntnisse zur Breitbandförderung in Deutschland, Juni 2013
- Nr. 379: Marcus Stronzik:
Investitions- und Innovationsanreize: Ein Vergleich zwischen Revenue Cap und Yardstick Competition, September 2013
- Nr. 380: Dragan Ilic, Stephan Jay, Thomas Plückebaum, Peter Stamm:
Migrationsoptionen für Breitbandkabelnetze und ihr Investitionsbedarf, August 2013
- Nr. 381: Matthias Wissner:
Regulierungsbedürftigkeit des Fernwärmesektors, Oktober 2013
- Nr. 382: Christian M. Bender, Alex Kalevi Dieke, Petra Junk, Sonja Thiele:
Netzugang im Briefmarkt, Oktober 2013
- Nr. 383: Andrea Liebe, Christine Müller:
Energiegenossenschaften im Zeichen der Energiewende, Januar 2014
- Nr. 384: Christian M. Bender, Marcus Stronzik:
Verfahren zur Ermittlung des sektoralen Produktivitätsfortschritts - Internationale Erfahrungen und Implikationen für den deutschen Eisenbahninfrastruktursektor, März 2014
- Nr. 385: Franz Büllingen, Annette Hillebrand, Peter Stamm:
Die Marktentwicklung für Cloud-Dienste - mögliche Anforderungen an die Netzinfrastruktur, April 2014
- Nr. 386: Marcus Stronzik, Matthias Wissner:
Smart Metering Gas, März 2014
- Nr. 387: René Arnold, Sebastian Tenbrock:
Bestimmungsgründe der FTTP-Nachfrage, August 2014
- Nr. 388: Lorenz Nett, Stephan Jay:
Entwicklung dynamischer Marktszenarien und Wettbewerbskonstellationen zwischen Glasfasernetzen, Kupfernetzen und Kabelnetzen in Deutschland, September 2014
- Nr. 389: Stephan Schmitt:
Energieeffizienz und Netzregulierung, November 2014
- Nr. 390: Stephan Jay, Thomas Plückebaum:
Kostensenkungspotenziale für Glasfaseranschlussnetze durch Mitverlegung mit Stromnetzen, September 2014
- Nr. 391: Peter Stamm, Franz Büllingen:
Stellenwert und Marktperspektiven öffentlicher sowie privater Funknetze im Kontext steigender Nachfrage nach nomadischer und mobiler hochbitratiger Datenübertragung, Oktober 2014
- Nr. 392: Dieter Elixmann, J. Scott Marcus, Thomas Plückebaum:
IP-Netzzusammenschaltung bei NGN-basierten Sprachdiensten und die Migration zu All-IP: Ein internationaler Vergleich, November 2014
- Nr. 393: Stefano Lucidi, Ulrich Stumpf:
Implikationen der Internationalisierung von Telekommunikationsnetzen und Diensten für die Nummernverwaltung, Dezember 2014
- Nr. 394: Rolf Schwab:
Stand und Perspektiven von LTE in Deutschland, Dezember 2014
- Nr. 395: Christian M. Bender, Alex Kalevi Dieke, Petra Junk, Antonia Niederprüm:
Produktive Effizienz von Postdienstleistern, November 2014
- Nr. 396: Petra Junk, Sonja Thiele:
Methoden für Verbraucherbefragungen zur Ermittlung des Bedarfs nach Post-Universaldienst, Dezember 2014

- Nr. 397: Stephan Schmitt, Matthias Wissner:
Analyse des Preissetzungsverhaltens der Netzbetreiber im Zähl- und Messwesen, März 2015
- Nr. 398: Annette Hillebrand, Martin Zauner:
Qualitätsindikatoren im Brief- und Paketmarkt, Mai 2015
- Nr. 399: Stephan Schmitt, Marcus Stronzik:
Die Rolle des generellen X-Faktors in verschiedenen Regulierungsregimen, Juli 2015
- Nr. 400: Franz Büllingen, Solveig Börnsen:
Marktorganisation und Marktrealität von Machine-to-Machine-Kommunikation mit Blick auf Industrie 4.0 und die Vergabe von IPv6-Nummern, August 2015
- Nr. 401: Lorenz Nett, Stefano Lucidi, Ulrich Stumpf:
Ein Benchmark neuer Ansätze für eine innovative Ausgestaltung von Frequenzgebühren und Implikationen für Deutschland, November 2015
- Nr. 402: Christian M. Bender, Alex Kalevi Dieke, Petra Junk:
Zur Marktabgrenzung bei Kurier-, Paket- und Expressdiensten, November 2015
- Nr. 403: J. Scott Marcus, Christin Gries, Christian Wernick, Imme Philbeck:
Entwicklungen im internationalen Mobile Roaming unter besonderer Berücksichtigung struktureller Lösungen, Januar 2016
- Nr. 404: Karl-Heinz Neumann, Stephan Schmitt, Rolf Schwab unter Mitarbeit von Marcus Stronzik:
Die Bedeutung von TAL-Preisen für den Aufbau von NGA, März 2016
- Nr. 405: Caroline Held, Gabriele Kulenkampff, Thomas Plückerbaum:
Entgelte für den Netzzugang zu staatlich geförderter Breitband-Infrastruktur, März 2016
- Nr. 406: Stephan Schmitt, Matthias Wissner:
Kapazitätsmechanismen – Internationale Erfahrungen, April 2016
- Nr. 407: Annette Hillebrand, Petra Junk:
Paketshops im Wettbewerb, April 2016
- Nr. 408: Tseveen Gantumur, Iris Henseler-Unger, Karl-Heinz Neumann:
Wohlfahrtsökonomische Effekte einer Pure LRIC - Regulierung von Terminierungsentgelten, Mai 2016
- Nr. 409: René Arnold, Christian Hildebrandt, Martin Waldburger:
Der Markt für Over-The-Top Dienste in Deutschland, Juni 2016
- Nr. 410: Christian Hildebrandt, Lorenz Nett:
Die Marktanalyse im Kontext von mehrseitigen Online-Plattformen, Juni 2016
- Nr. 411: Tseveen Gantumur, Ulrich Stumpf:
NGA-Infrastrukturen, Märkte und Regulierungsregime in ausgewählten Ländern, Juni 2016
- Nr. 412: Alex Dieke, Antonia Niederprüm, Sonja Thiele:
UPU-Endvergütungen und internationaler E-Commerce, September 2016 (in deutscher und englischer Sprache verfügbar)
- Nr. 413: Sebastian Tenbrock, René Arnold:
Die Bedeutung von Telekommunikation in intelligent vernetzten PKW, Oktober 2016
- Nr. 414: Christian Hildebrandt, René Arnold:
Big Data und OTT-Geschäftsmodelle sowie daraus resultierende Wettbewerbsprobleme und Herausforderungen bei Datenschutz und Verbraucherschutz, November 2016
- Nr. 415: J. Scott Marcus, Christian Wernick:
Ansätze zur Messung der Performance im Best-Effort-Internet, November 2016

ISSN 1865-8997