

Mindestanforderungen Internetzugangsdienst

Dr. Gabriele Kulenkampff
Prof. Dr. Klaus Hackbarth
Martin Ockenfels
Dr. Thomas Plückebaum
Oliver Portugall
Dr. Cara Schwarz-Schilling
Christoph Sudhues
Gonzalo Zuloaga

unter Mitarbeit von
Jan Hubner,
Wolfgang Kieseewetter

WIK-Consult GmbH
Rhöndorfer Str. 68
53604 Bad Honnef

zafaco GmbH
Münchener Str. 101/39
85737 Ismaning

Bad Honnef, 15. Dezember 2021



Impressum



WIK-Consult GmbH
Rhöndorfer Str. 68
53604 Bad Honnef
Deutschland
Tel.: +49 2224 9225-0
Fax: +49 2224 9225-63
E-Mail: info@wik-consult.com
www.wik-consult.com

Vertretungs- und zeichnungsberechtigte Personen

Geschäftsführerin	Dr. Cara Schwarz-Schilling
Direktor	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 7043
Steuer-Nr.	222/5751/0926
Umsatzsteueridentifikations-Nr.	DE 329 763 261



zafaco GmbH
Münchener Str. 101/39
85737 Ismaning
Deutschland

Tel.: +49 89 820308 200
Fax: +49 89 820308 299
E-Mail: info@zafaco.de
www.zafaco.de

Geschäftsführende Gesellschafter:

Gründer und Geschäftsführer	Christoph Sudhues
Geschäftsführer Technik	Bernd Oliver Schöttler
Handelsregister	Amtsgericht München, HRB 174425
Umsatzsteueridentifikations-Nr.	DE 260 524 045

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis	XI
Executive Summary	i
1 Hintergrund und Gegenstand der Untersuchung	1
2 Identifizierung von repräsentativen Produkten und ihren relevantesten Nutzungsformen	3
2.1 Internetzugang und zugehörige Dienste gemäß § 157 TKG-2021	3
2.2 Methodische Vorgehensweise	3
2.2.1 Konkretisierung der Dienste nach § 157 (3) TKG-2021	4
2.2.1.1 Anhang V-Dienste	4
2.2.1.2 Teleheimarbeit inkl. VPN	7
2.2.1.3 Online-Inhaltendienste	8
2.2.2 Identifizierung von Top-Produkten	12
2.2.3 Auswahlkriterien für die webbasierte Messung	16
2.3 Anhang V-Dienste – Anwendungen und repräsentative Produkte	18
2.3.1 E-Mail	18
2.3.2 Suchmaschinen	20
2.3.3 Grundlegende Online-Werkzeuge für die Aus- und Weiterbildung	22
2.3.4 Online-Zeitungen oder Online-Nachrichten	24
2.3.5 Online-Einkauf oder Online-Bestellung von Waren und Dienstleistungen	26
2.3.6 Arbeitssuche und Werkzeuge für die Arbeitssuche	27
2.3.7 Berufliche Vernetzung	28
2.3.8 Online-Banking	28
2.3.9 Nutzung elektronischer Behördendienste	30
2.3.10 Soziale Medien und Sofortnachrichtenübermittlung	32
2.3.11 Anrufe und Videoanrufe	33
2.4 Teleheimarbeit und VPN – Anwendungen und repräsentative Produkte	35
2.4.1 VPN (Virtuelles Privates Netzwerk)	36
2.4.2 E-Mail, Telefonie, Videotelefonie	38

2.4.3 Datenaustausch	39
2.4.4 Cloubasierte Dienste	39
2.4.5 Remote Desktop Anwendungen	39
2.4.6 Videokonferenzsysteme	40
2.5 Online-Inhaltendienste – Anwendungen und repräsentative Produkte	41
2.5.1 Online-Streaming	41
2.5.2 Prominente Angebote von Videostreaming	42
2.5.3 Prominente Angebote Audio-Streaming	43
2.6 Sonstige Dienste mit zunehmender Relevanz	44
2.6.1 Gesundheitsdienste	44
2.6.2 Digitale Bildungsplattform	45
2.7 Ergebnisse der Identifizierung repräsentativer Produkte	46
3 Ermittlung von Mindestanforderungen an den sicherzustellenden Internetzugangsdienst	51
3.1 Dienste- und Qualitätsmerkmale	53
3.1.1 Quality of Service (QoS)	53
3.1.2 Quality of Experience (QoE)	58
3.2 Methodische Vorgehensweise bei der Ermittlung dienstebezogener technischer Mindestanforderungen	65
3.2.1 Bestimmung technischer Anforderungen an die Datenübertragungsrate (Down- und Upload) (§ 157 (3) TKG-2021)	65
3.2.2 Bestimmung der Anforderungen an die Latenz nach § 157 (3) TKG-2021	67
3.2.3 Datenbasis und methodische Umsetzung	68
3.2.3.1 Kontinuierliche Datenströme – Standards und Formate (Audio- und Video-Anwendungen)	69
3.2.3.2 Diskrete Datenvolumina	70
3.2.3.2.1 Messungen	70
3.2.3.2.2 Befragung und diskretionäre Erhebungen – Upload-Anforderungen	75
3.2.3.2.3 Transformation des Datenvolumens in Bandbreitenanforderungen	76
3.2.4 Methodik der unterstützenden Messungen einer Messplattform	82
3.2.4.1 Web Services	83

3.2.4.2 WebTV	86
3.2.4.3 Ende-zu-Ende Sprachqualitätsmessungen	87
3.3 Mindestanforderungen der Dienste mit kontinuierlichen Datenströmen (Dienste MIT DETERMINIERTEN Mindestanforderungen)	88
3.3.1 Videostreaming	88
3.3.1.1 Anforderungen von Videoanwendungen an die Datenübertragungsrate	88
3.3.1.2 Streaming-Protokolle und Anforderungen an die Latenz	93
3.3.2 Audio-Streaming	96
3.3.3 Telefonie	100
3.3.3.1 Sprachtelefonie und zulässige Latenz	100
3.3.3.2 Sprachtelefonie und Anforderungen an die Datenübertragungsrate	105
3.3.4 Videotelefonie und Videokonferenzen	106
3.3.5 Remote Desktop	108
3.3.6 Zusammenfassung der technischen Anforderungen an die Dienste mit kontinuierlichen Datenströmen	109
3.4 Mindestanforderungen der Dienste mit diskreten Datenvolumina	113
3.4.1 Ergebnisse webbrowserbasierter Messungen – Download	113
3.4.1.1 Messergebnisse der Anhang V-Dienste	113
3.4.1.1.1 Messergebnisse und abgeleitete Datenübertragungsraten für webbrowser-basierte Produkte auf Basis der Nutzungsvorgänge	113
3.4.1.1.2 Produktbezogene Bestimmung von Mindestanforderungen der Dienste	116
3.4.1.2 Messergebnisse cloudbasierter Anwendungen	119
3.4.2 Ergebnisse diskretionärer Daten: upload- und downloadbezogene Ergebnisse (E-Mail, Dateigrößen inkl. Teleheimarbeit)	120
3.4.2.1 E-Mail	120
3.4.2.2 Datenupload im Kontext webbasierter Dienste	121
3.4.2.3 Datenaustausch (inkl. Cloud-Speicher)	122
3.4.3 Einfluss der Dateigröße auf die zu tolerierende Übertragungsdauer – Bewertung anhand der abgeleiteten Datenübertragungsrate im Upload	123
3.5 Parallelnutzungsszenarien und Erkenntnisse für die Ableitung von Mindestanforderungen für den Internetzugang gemäß § 157 TKG-2021	125

3.6	Zwischenergebnis der dienstebezogenen Ableitung von Anforderungen an die technischen Parameter des Internetzugangs	128
3.6.1	Technische Anforderungen an die Datenübertragungsrate im Down- und Upstream im Sinne von § 157 (3) TKG-2021	128
3.6.2	Technische Anforderungen an die tolerierte Latenz im Sinne von § 157 (3) TKG-2021	131
3.7	Ergebnisse der unterstützenden Messungen einer Messplattform	132
3.7.1	Auswertung Messergebnisse Webhosting	132
3.7.2	Auswertung Messergebnisse Websites	133
3.7.3	Auswertung Messergebnisse WebTV	134
3.7.4	Auswertung Messergebnisse Ende-zu-Ende Sprachqualitätsmessungen	136
4	Zusammenfassung der abgeleiteten Erkenntnisse in Bezug auf die technischen Anforderungen an den Internetzugang	141
5	Literaturverzeichnis	151
	Anhang (separates Dokument)	156

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	Nutzungshäufigkeit von Online-Spielen in Deutschland	11
Abbildung 2-2:	Identifikation der Top-Produkte pro Dienst und Unterkategorie: Häufigkeit der verwendeten Quellentypen	13
Abbildung 2-3:	Verwendete Maßstäbe für die Ableitung der Rankings zur Identifizierung von Top-Produkten der Anhang V-Dienste	15
Abbildung 3-1:	QoS, QoE, Network Performance (NP)	59
Abbildung 3-2:	ITU G.1010 – user-centric QoS categories	63
Abbildung 3-3:	Empfohlene Reaktionszeiten für Webseiten	64
Abbildung 3-4:	Anwendung von vier Ermittlungsmethoden (Datenübertragungsrate)	69
Abbildung 3-5:	Dienste mit kontinuierlichen Datenströmen: Relevante Dienste- und Produktcharakteristika zur Bestimmung der Anforderungen	70
Abbildung 3-6:	Messungen mit Network-Developer-Funktionen des Browsers (hier: ChromeDev), Beispiel: Aufruf von „google.de“	71
Abbildung 3-7:	Verwendete Ansätze zur Konkretisierung tolerierter Übertragungsdauern	79
Abbildung 3-8:	Dienste mit diskreten Datenvolumina: tolerierte Übertragungsdauer als Vehikel zur Bestimmung der Anforderungen an die Datenübertragungsrate	82
Abbildung 3-9:	Aufbau ETSI Kepler Web Reference Page	84
Abbildung 3-10:	Umfang der ITU-T Recommendation mit Bezug auf QoS Spezifikationen	101
Abbildung 3-11:	EIP-Modell-Werte als Funktion der Paketverluste und der Ende-zu- Ende-Verzögerung	103
Abbildung 3-12:	Zufriedenheit von Nutzern mit der Signalqualität von Telefongesprächen in Abhängigkeit der unidirektionalen Übertragungszeit (Mouth-to-Ear)	104
Abbildung 3-13:	Obergrenzen für die zulässige Latenz der Produkte und Graubereiche ihrer Funktionsfähigkeit	112
Abbildung 3-14:	Verteilungsgrafik der HTTP Session Duration über die Datenübertragungsraten	132
Abbildung 3-15:	Verteilungsgrafik der Website Load Duration über die Datenübertragungsraten	133
Abbildung 3-16:	Tabellarische Übersicht der Initial Buffering Time über die Datenübertragungsraten und Anbieter	135

Abbildung 3-17: Verteilungsgrafik der Sprachlaufzeiten bei Verbindungen im eigenen All-IP-Netz eines Anbieters (OnNet) über die Datenübertragungsraten	136
Abbildung 3-18: Verteilungsgrafik der Sprachlaufzeiten bei Verbindungen im eigenen All-IP-Netz eines Anbieters (OnNet) über die Datenübertragungsraten	137
Abbildung 3-19: Verteilungsgrafik der Sprachlaufzeiten bei abgehenden und ankommenden Verbindungen aus anderen All-IP-Netzen (OffNet bzw. Crossover) über die Datenübertragungsraten	138
Abbildung 3-20: Verteilungsgrafik der Sprachlaufzeiten bei abgehenden und ankommenden Verbindungen aus anderen All-IP-Netzen mit paralleler Datenlast (OffNet bzw. Crossover with Dataload) über die Datenübertragungsraten	139

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Unterkategorien der Anhang V-Dienste im Vergleich: USO EU-Studie 2016 und Statistisches Bundesamt *	6
Tabelle 2-2:	Kategorien von Online-Inhaltediensten – eine Gegenüberstellung	11
Tabelle 2-3:	Kategorisierung von Online-Inhaltediensten	12
Tabelle 2-4:	Ranking von Top-Sites in Deutschland – Methodik von alexa.com und similarweb.com	14
Tabelle 2-5:	Identifikation der repräsentativsten Produkte nach Funktionalitätsmerkmalen – Illustration relativer Produkthomogenität	16
Tabelle 2-6:	Identifikation der repräsentativsten Produkte nach Funktionalitätsmerkmalen – Illustration relativer Produktheterogenität	17
Tabelle 2-7:	Ranking und Funktionalitätsmerkmale von Top „E-Mail“ Produkten	19
Tabelle 2-8:	Ranking und Funktionalitätsmerkmale von webbasierten Top-Produkten zu Suchmaschinen	21
Tabelle 2-9:	Ranking und Funktionalitätsmerkmale von webbasierten Top-Produkten im Bereich der Aus- und Weiterbildung	24
Tabelle 2-2-10:	Ranking und Funktionalitätsmerkmale von webbasierten Top-Produkten im Bereich Online-Zeitungen/Online-Nachrichten	25
Tabelle 2-11:	Ranking und Funktionalitätsmerkmale von webbasierten Top-Produkten zum Online-Einkauf und Online-Bestellung	26
Tabelle 2-12:	Ranking und Funktionalitätsmerkmale von webbasierten Top-Produkten zur Arbeitssuche und entsprechenden Werkzeugen	27
Tabelle 2-13:	Ranking und Funktionalitätsmerkmale von webbasierten Top-Produkten zur beruflichen Vernetzung	28
Tabelle 2-14:	Ranking und Funktionalitätsmerkmale von webbasierten Top-Produkten zum Online-Banking	30
Tabelle 2-15:	Ranking und Funktionalitätsmerkmale von Top-Produkten zur Nutzung elektronischer Behördendienste	31
Tabelle 2-16:	Ranking und Funktionalitätsmerkmale von Top-Produkten im Bereich der sozialen Medien und Sofortnachrichtenübermittlung	33
Tabelle 2-17:	Ranking und Funktionalitätsmerkmale von Top-Produkten im Bereich der Anrufe und Videoanrufe	34
Tabelle 2-18:	VPN-Erfordernisse von Anwendungen der Teleheimarbeit	38
Tabelle 2-19:	Produkte der Anhang V-Dienste mit Relevanz für die webbasierte Messung	47

Tabelle 2-20:	Produkte mit Upload-Möglichkeiten	49
Tabelle 2-21:	Produkte mit Echtzeitanforderungen bzw. zeitlichen Mindestanforderungen (Telefonie/Videokonferenz/Streaming)	50
Tabelle 3-1:	TCP und UDP im Vergleich	56
Tabelle 3-2:	Mean Opinion Score (MOS) und Quality of Experience (QoE)	60
Tabelle 3-3:	Anzahl der gemessenen Nutzungsvorgänge für die webbasierten Produkte	75
Tabelle 3-4:	Übersicht: Anwendung des Overhead-Aufschlags für die IP/TCP Transportschicht	78
Tabelle 3-5:	Zuordnung der ITU-Kategorien auf die universaldienstrelevanten Produkte	80
Tabelle 3-6:	Vergleich der zeitlichen Toleranz nach ITU, Google „Goldene Regeln“, Nielsen „useability concept“ und in der Untersuchung angewendete Werte	81
Tabelle 3-7:	Übersicht Webhosting-Anbieter	85
Tabelle 3-8:	Übersicht Webseiten	85
Tabelle 3-9:	Übersicht WebTV-Anbieter	87
Tabelle 3-10:	Übliche Video-Auflösungen	89
Tabelle 3-11:	Merkmale von Videos verschiedener Anbieter	92
Tabelle 3-12:	Spektrum der Latenz bei Videostreaming (one-way in sec.)	93
Tabelle 3-13:	Aktuelle Videostreaming-Protokolle	94
Tabelle 3-14:	Protokolle und zugehörige Latenz-Merkmale [in Sekunden]	95
Tabelle 3-15:	Tolerierte Latenz [s] bei Videostreaming verschiedener Anwendungen	96
Tabelle 3-16:	Merkmale von Audios verschiedener Anbieter	99
Tabelle 3-17:	Qualitätsanforderungen Telefonie	100
Tabelle 3-18:	QoS Klassen und Parameter in IP-Netzen	102
Tabelle 3-19:	Bandbreitenanforderungen unter Berücksichtigung von Overheads	106
Tabelle 3-20:	Leistungsmerkmale von Videoanrufen und Videokonferenzen ausgewählter Anbieter	107
Tabelle 3-21:	Obergrenzen verschiedener Produkte für Anrufe und Videoanrufe an die Latenz	108
Tabelle 3-22:	Remote Desktop – Mindestanforderungen an die Datenübertragungsrate im Download	109

Tabelle 3-23	Down- und Upstream-Anforderungen an Dienste mit kontinuierlichen Datenströmen: Anhang-V Dienste	110
Tabelle 3-24	Down- und Upstream-Anforderungen an Dienste mit kontinuierlichen Datenströmen: Teleheimarbeit	110
Tabelle 3-25	Down- und Upstream-Anforderungen an Dienste mit kontinuierlichen Datenströmen: Online-Inhalte-Dienste	111
Tabelle 3-26:	Gemessenes initiales sowie gesamtes Datenvolumen [MB] und Kategorisierung anhand von ITU G.1010 illustriert anhand der Messungen für Google.de	114
Tabelle 3-27:	Datenvolumina webbrowserbasierter Nutzungsvorgänge der identifizierten Produkte	114
Tabelle 3-28:	Webbrowserbasierte Datenübertragungsrate [Mbps] – Ermittelt auf Basis der Nutzungsvorgänge (Kategorie „responsive“)	115
Tabelle 3-29:	Mindestanforderungen [Mbps] auf Produktebene	118
Tabelle 3-30:	Mindestanforderungen cloudbasierter Anwendungen	119
Tabelle 3-31:	E-Mail-Mindestanforderungen (privat und Teleheimarbeit)	121
Tabelle 3-32:	Mindestanforderungen von Datenaustausch im Kontext von webbasierten Anhang V-Diensten	122
Tabelle 3-33:	Datenaustausch Mindestanforderungen (inkl. VPN)	123
Tabelle 3-34:	Zusammenfassung: Höhe und Treiber der Mindestanforderungen an die Datenübertragungsrate	129
Tabelle 3-35:	Gesamtschau: Mindestanforderungen an die Datenübertragungsrate je Dienst	130
Tabelle 3-36:	Maximal Latenz für den Internetzugang nach § 157 TKG-2021	131
Tabelle 3-37:	Tabellarische Übersicht der HTTP Session Duration über die Datenübertragungsraten und Anbieter	132
Tabelle 3-38:	Tabellarische Übersicht der Website Load Duration über die Datenübertragungsraten und Anbieter	134
Tabelle 3-39:	Tabellarische Übersicht der Initial Buffering Time über die Datenübertragungsraten und Anbieter	135
Tabelle 3-40:	Tabellarische Übersicht der Sprachlaufzeiten bei Verbindungen im eigenen All-IP-Netz eines Anbieters (OnNet) über die Datenübertragungsraten	136
Tabelle 3-41:	Tabellarische Übersicht der Sprachlaufzeiten bei Verbindungen im eigenen All-IP-Netz eines Anbieters mit paralleler Datenlast (OnNet with Dataload) über die Datenübertragungsraten	137

Tabelle 3-42:	Tabellarische Übersicht der Sprachlaufzeiten bei abgehenden und ankommenden Verbindungen aus anderen All-IP-Netzen (OffNet bzw. Crossover) über die Datenübertragungsraten	138
Tabelle 3-43:	Tabellarische Übersicht der Sprachlaufzeiten bei abgehenden und ankommenden Verbindungen aus anderen All-IP-Netzen mit paralleler Datenlast (OffNet bzw. Crossover with Dataload) über die Datenübertragungsraten	139
Tabelle 4-1:	Dienstekategorien und Erhebungsmethoden	142

Abkürzungsverzeichnis

ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BGBI	Bundesgesetzblatt
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BSI	Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik
bspw.	beispielsweise
CBRS	Constant Bit Rate Services
CDN	Content Delivery Networks
CDV	Cell Delay Variation
CRM	Customer relationship management
CTD	Cell Transfer Delay
DNS	Domain Name System
CTI	Computer Telephony Integration
DSL	Digital Subscriber Line
EKEK	Europäischer Kodex für die elektronische Kommunikation
ePA	elektronische Patientenakte
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
EU	Europäische Union
FLAC	Free Lossless Audio Codec
FPS	Frames per second
FTP	File Transfer Protocol
HD	High Definition
HTML	Hypertext Markup Language
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IAD	Integrated Access Device
i.a.R.	in aller Regel
i.d.R.	in der Regel
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ILE	Immercive Life Experience
IP	Internet Protocol

ISDN	Integrated Services Digital Network
ITU	International Telecommunication Union
KPI	Key Performance Indicator
LAN	Local Access Network
LeiKA	Leistungskatalog der öffentlichen Verwaltung
m.a.W.	mit anderen Worten
MB	Megabyte
Mbps	Megabit per second
Mbyte	Mega Byte
Mio.	Million
MOS	Mean Opinion Score
ms	Millisekunde
MQA	Master Quality Authenticated
NGN	Next Generation Network
NTP	Network Time Protocol
OAM	Operations, Administration and Maintenance
OSI	Open Systems Interconnection
OWA	Open Web Access
OZG	Onlinezugangsgesetz
PC	Personal Computer
PDF	Portable Document Format
PIN	Personal Identification Number
POLQA	Perceptual Objective Listening Quality Analysis
PSTN	Public Switched Telephone Network
PVC	Permanent Virtual Circuit
QoE	Quality of Experience
QoP	Quality of Perception
QoS	Quality of Service
SaaS	Software as a Service
SD	Standard Definition
SMS	Short Message Service

TAN	Transaktionsnummer
TCP	Transmission Control Protocol
TDM	Time-division Multiplexing
TKG-2021	Telekommunikationsgesetz (in der Fassung ab 01.12.2021)
TV	Television
UDP	User Datagram Protocol
UHD	Ultra High Definition
USO	Universal Service Obligation
VBRS	Variable Bit Rate Services
VDSL	Very High Speed Digital Subscriber Line
VHCN	Very High Capacity Network
VoD	Video on Demand
VoIP	Voice over IP
VPN	Virtual private Network
W3C	World Wide Web Consortium
WAN	Wide Area Network
z.B.	zum Beispiel

Executive Summary

Gegenstand der vorliegenden Studie ist die Analyse von technischen Mindestanforderungen für den Internetzugang, die gemäß den rechtlichen Vorgaben des Europäischen Kodes für Elektronische Kommunikation (EKEK) sowie dessen Umsetzung in der Neufassung des Telekommunikationsgesetzes 2021 (TKG-2021) vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) im Rahmen einer Rechtsverordnung festzulegen sind.

Die Untersuchung hat ihren Ausgangspunkt in den in §157 (3) TKG-2021 festgelegten Diensten, die durch den Internetzugang mindestens verfügbar sein sollen. Diese umfassen den bereits im EKEK festgelegten Katalog der sogenannten Anhang V-Dienste sowie Teleheimarbeit einschließlich Verschlüsselungsverfahren im üblichen Umfang (VPN) und eine für Verbraucher marktübliche Nutzung von Online-Inhaltediensten. In einem ersten Schritt werden die abstrakten Dienste auf Basis von Desk Research anhand typischer, weit verbreiteter Produkte (z.B. Websites) konkretisiert und in einem zweiten Schritt mit einer bottom-up Methodik analysiert, um für die einzelnen Produkte die jeweiligen technischen Mindestanforderungen in Bezug auf die Datenübertragungsraten im Down- und Upload sowie die zulässige Latenz zu bestimmen (anhand von bis zu drei Produkten je Dienst). Methodisch wird damit die Grundlage dafür geschaffen, in einem abschließenden Schritt aus der Gesamtheit der Einzelergebnisse (Mindestanforderungen je Produkt) die globalen Mindestanforderungen für den Internetzugang in Deutschland abzuleiten.

Die angewendeten methodischen Verfahren richten sich nach den spezifischen Anforderungen der zu berücksichtigenden Dienste, die sich anhand von netztechnischen Quality of Service (QoS) Parametern beschreiben lassen. Diese werden für die Untersuchung in Dienste MIT determinierten Mindestanforderungen (sog. Dienste mit kontinuierlichen Datenströmen) und Dienste OHNE determinierte Mindestanforderungen (sog. Dienste mit diskreten Datenvolumina) unterschieden. Für letztere müssen Quality of Experience (QoE) Konzepte herangezogen werden, um Anforderungen an QoS-Parameter ableiten zu können.

Für die Erhebung der Daten und Ableitung der für den Internetzugang erforderlichen Leistungsmerkmale finden in Abhängigkeit der technischen Unterscheidung der Dienste unterschiedliche Methoden Anwendung. Die nachstehende Tabelle liefert dazu eine Übersicht, die Methoden sind in den senkrechten Spalten aufgeführt.

Tabelle: Dienstekategorien und Erhebungsmethoden

Dienstekategorie	determinierten Mindestanforderungen			
	MIT		OHNE	
EKEK Anhang V Richtlinie (EU) 2018/1972	Produktinfos / Standards / Formate	Anrufe (Standardqualität: SD) Videoanrufe (Standardqualität: SD)	Suchmaschinen Online-Werkzeuge für die Aus- und Weiterbildung Online-Zeitungen oder Online-Nachrichten Online-Einkauf oder Online-Bestellung Arbeitssuche und Werkzeuge für die Arbeitssuche berufliche Vernetzung Online-Banking Nutzung elektronischer Behördendienste soziale Medien und Sofortnachrichtenübermittlung E-Mail	webbrowserbasierte Messungen
Teleheimarbeit inkl. VPN		Anrufe beruflich (Standardqualität: SD) Videoanrufe (Standardqualität: SD) Gruppenvideokonferenzen (Standardqualität: SD) Remote Desktop	E-Mail Datenaustausch	erhobene Daten- volumina
			Cloudbasierte Dienste	web. Messun- gen
Online- Inhaltedienste			Videostreaming (Standardqualität SD) Audiostreaming (Standardqualität SD)	

Quelle WIK

Dienstespezifische Datenübertragungsraten im Downstream und Upstream

Die Kategorie der **Dienste MIT determinierten Mindestanforderungen** umfasst die Echtzeit- und Streamingdienste, die durch einen kontinuierlichen Datenstrom gekennzeichnet sind. Dabei bestimmt die Qualität des Audio- oder Videosignals die Qualität und erforderliche Datenübertragungsrate. Für das Videostreaming lässt sich dies u.a. an der Auflösung und Bildwiederholfrequenz festmachen. Entsprechend können für derartige Produkte die technischen Anforderungen an die erforderliche Datenübertragungsrate eindeutig abgeleitet werden.

Die für diese Dienste erforderlichen Datenübertragungsraten im Down- und Upload werden für die identifizierten Top-Produkte aus den von den jeweiligen Anbietern spezifizierten Leistungsanforderungen (Produktinformationsblättern) sowie aus den zugrundeliegenden Standards und Formaten ermittelt.

Für **Dienste OHNE determinierte Mindestanforderungen** ist die Anwendung von QoE-Konzepten erforderlich, um Aussagen über QoS-Anforderungen abzuleiten. Diese Dienste lassen sich anhand der über den Internetzugang bereitgestellten Inhalte charakterisieren; technisch betrachtet, erfordert der Dienst die Übertragung des mit den Inhalten einhergehenden Datenvolumens (inkl. Overheads). Die Geschwindigkeit der Datenübertragung ist dabei eine Frage des Komforts.

Aufgrund dieser Zusammenhänge wird für die Ermittlung der dienstespezifischen Mindestbandbreiten das zugehörige Datenvolumen erhoben. Dies erfolgt auf Basis der für die jeweiligen Dienste identifizierten meistverwendeten Top-Produkte.

Da sich die zu betrachtenden Dienste in ihrer technischen Umsetzung in die Kategorien (a) webbrowserbasierte Dienste und (b) Anwendungen mit Datenaustausch unterscheiden lassen, kommen unterschiedliche Erhebungsmethoden für die zugehörigen Datenvolumina zum Ansatz.

Für die erste Kategorie (a) kommen Messungen mit Hilfe von Developer-Tools des Browsers zur Anwendung. Die Messungen werden auf Basis von je Produkt definierten Nutzungsvorgängen durchgeführt. Sie sind auf den Download beschränkt, weil die Uploads nur aus kurzen und daher vernachlässigbaren Anforderungen bestehen. Für die zweite Kategorie (b) werden die Datenvolumina anhand von Befragungen und sonstiger Desk Research erhoben (eine Zuordnung der Dienste findet sich in der voranstehenden Tabelle). Sie finden sowohl für den Download als auch den Upload Anwendung.

Die Transformation der Datenvolumina in eine zugehörige Datenübertragungsrate [Mbps] (Up- und Downstream) wird unter Annahme einer tolerierten Übertragungsdauer berechnet. Dazu werden die identifizierten Produkte den Kategorien „responsive“ (4 Sekunden), „timely“ (10 Sekunden) sowie „non-critical“ (60 bzw. >60 Sekunden) zugeordnet. Konzeptionell stützt sich diese Methode auf Empfehlungen von Standardisierungsorganisationen und Marktakteuren sowie auf Erkenntnisse aus sonstigen Studien.

Die Analysen und Berechnungen zur Datenübertragungsrate werden unter Berücksichtigung der vorliegenden Daten und Studien zur Verbreitung der für den Universaldienst relevanten Dienste und der darauf basierenden Identifizierung von Top-Produkten durchgeführt. Sie kommen zu der folgenden Empfehlung von Mindestanforderungen zur Realisierung der nach dem Gesetz spezifizierten zu ermöglichenden Dienste des Breitband-Universaldienstanschlusses:

- Mindestanforderung Download 7,7 [Mbps]
- Mindestanforderung Upload 1,3 [Mbps]

Treiber für den Download sind dabei die webbrowserbasierten Anhang V-Dienste, während der Upload von dem Dienst Datenaustausch getrieben wird, welcher sowohl im Kontext webbasierter Anhang V-Dienste als auch der Teleheimarbeit zur Anwendung kommt. Der Wert von 1,3 Mbps beinhaltet dabei auch die VPN-Erfordernisse zur Verschlüsselung von Tunnels, die jedoch aufgrund des relativ geringen Bandbreiten-Aufschlags in Höhe von 6% eine untergeordnete Rolle spielen.

Dienstespezifische Latenzanforderungen

Für die Latenz werden ebenfalls je Produkt die technischen Anforderungen im Sinne einer einzuhaltenden Obergrenze abgeleitet, wobei lediglich den Diensten mit kontinu-

ierlichen Datenströmen eine praktische Relevanz zukommt: Die bei Diensten ohne determinierte Mindestanforderungen angesetzten tolerierten Übertragungsdauern sind im Vergleich zu bidirektionalen Echtzeitdiensten, deren Toleranz im Bereich von Millisekunden liegt, vernachlässigbar.

Für die Ableitung der produktspezifischen Obergrenzen wird auch hier auf dieselben Informationsquellen zurückgegriffen wie bereits bei der Ableitung der Anforderungen an die Datenübertragungsrate. Allerdings werden hier keine technisch determinierten Werte abgeleitet, da die Anwendung auch noch funktioniert, wenn die Latenz die empfohlene Obergrenze überschreitet; jedoch sinkt dann i.a.R. die Qualität des Dienstes und damit die Nutzerzufriedenheit. Für die Ableitung der Grenzwerte werden daher Empfehlungen von Produktanbietern und Standardisierungsorganisationen herangezogen. Die empfohlenen Latenzwerte sind dabei auch maßgeblich für die Qualität des Dienstes, der eine subjektive Bewertung durch die Nutzer zu Grunde liegt. Diese Zusammenhänge werden anhand von QoE-Konzepten beschrieben, die die nutzerabhängige Bewertung der Dienstqualität in Abhängigkeit der mittleren Latenz ausdrücken. Ein Beispiel dafür ist der Mean Opinion Score (MOS) und seine Anwendung für den Sprachdienst.

Trotz bestehender Spielräume für die Festlegung einer Obergrenze für die Latenz im Sinne des § 157 (3) TKG-2021, wird ein konkreter Wert je Produkt ausgewiesen, dessen Höhe sich an den Empfehlungen des jeweiligen Produktanbieters bemisst. Es ist zu beachten, dass der für einen Dienst festgelegte Latenzwert die vom Nutzer empfundene Dienstqualität beeinflusst. Maßgeblich ist daher, welche Mindestqualität für die in § 157 TKG-2021 vorgegebenen Dienste im Sinne einer Grundversorgung angestrebt wird.

Die strengsten Anforderungen resultieren aus bidirektionalen Sprachanwendungen mit Echtzeitcharakter und weisen eine Obergrenze für die mittlere Laufzeitverzögerung je Richtung (one way delay) in Höhe von je 150 ms aus. Diese Angabe findet sich dabei sowohl für die klassische Sprachtelefonie, aber entsprechend auch für Videokonferenzen.

Anforderungen an die technischen Leistungsmerkmale des Internetzugangs nach § 157 (3) TKG-2021

Zusammenfassend stellen sich die technischen Anforderungen an den Internetzugang im Sinne einer Grundversorgung wie folgt dar:

- Mindestanforderung Download 7,7 [Mbps]
- Mindestanforderung Upload 1,3 [Mbps]
- Oberer Grenzwert Latenz 150 [ms]

Bei diesen Angaben handelt es sich um die jeweils strengsten Werte, die bei der Berücksichtigung aller untersuchten Produkte identifiziert werden konnten.

Das TKG-2021 erlaubt allerdings in § 157 (3) Satz 4 TKG-2021 hinsichtlich der Upload-rate und der Latenz eine Abschwächung der technischen Anforderungen, sofern die Dienste auch bei weniger anspruchsvollen Vorgaben für Upload und Latenz beim End-nutzer **funktionieren**.

Für die Beurteilung der technischen Funktionsfähigkeit ist ebenfalls zwischen Diensten MIT und OHNE determinierte Mindestanforderungen zu unterscheiden. Dabei bieten Dienste OHNE determinierte Mindestanforderungen Ansatzpunkte für eine Abschwächung der Anforderungen im Sinne des Satz 4: Wenn man davon ausgeht, dass es für ein Funktionieren des Dienstes nur auf die vollständige Übertragung des Inhalts ankommt und die dafür benötigten Übertragungsdauer keine Rolle spielt, können die Dienste OHNE determinierte Mindestanforderungen für die Festlegung des Uploads vernachlässigt werden. M.a.W., verzichtet man auf den Komfort einer schnelleren Übertragung der Inhalte im Sinne des best effort, so kann die Ableitung der technischen Anforderungen an den Upload im Sinne des § 157 (3) Satz 4 TKG-2021 auf Dienste MIT determinierten Mindestanforderungen reduziert werden. Bei dieser Betrachtungsweise ergibt sich als Anforderung für den Internetzugang anstelle des bisherigen Wertes von 1,3 Mbps aus den Anforderungen für den Datenaustausch inkl. VPN (Dienst OHNE determinierte Mindestanforderungen), nur noch 1,1 Mbps als Untergrenze für den Upload im Sinne des Funktionierens. Dieser leitet sich aus den mit Gruppenvideokonferenzen einhergehenden Uploadanforderungen ab (inkl. VPN-Verschlüsselung).

Die unter der Überschrift des technischen Funktionierens abgeleiteten Grenzwerte (Upload 1,1 Mbps und Latenz 150 ms) basieren somit auf den für die Grundversorgung ausgesuchten Produkten (MIT determinierten Mindestanforderungen), mit denen die angestrebte Produktqualität sicher gestellt werden kann. Nur unter dem Zugeständnis von Qualitätsverschlechterungen kann bei den Produkten mit „determinierten“ Mindestanforderungen trotz Verletzung der abgeleiteten Grenzwerte noch von einem Funktionieren der Produkte gesprochen werden. Mit jeder Erhöhung der Latenz oder Verringerung der Datenübertragungsrate sinkt die Qualität des Dienstes und verschlechtert zunehmend die Nutzerzufriedenheit.

Eine methodische Abstützung der abgeleiteten technischen Anforderungen erfolgt zusätzlich anhand von Messungen durch eine in Deutschland verteilte Messplattform zur messtechnischen Erfassung von Servicequalitäten mit unterschiedlichen Datenübertragungsraten. Diese Messungen erfolgen unter Berücksichtigung von internationalen Standards. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse stehen im Einklang mit den hier präsentierten technischen Anforderungen. Dies konnte daran festgemacht werden, dass unter anderem die Ladezeit für Webseiten keine nennenswerten Unterschiede für die verschiedenen Anschlussgeschwindigkeiten zu Tage bringen konnte. Selbst Anschlüsse mit Datenübertragungsarten zwischen 10 und 25 Mbps zeigten im Download kaum längere Ladezeiten als breitbandigere Anschlusstypen. Auch konnte gezeigt werden, dass für den qualitätssensitiven Sprachtelefondienst selbst unter paralleler maximaler

Datenlast an den Anschlüssen im Up- und Download keine Qualitätseinbußen für die Sprache verzeichnet werden konnten.

Eine zeitgleiche Nutzung von Diensten, wie sie insbesondere im Mehrpersonenhaushalt von Bedeutung ist, wird für die Bestimmung der technischen Leistungsmerkmale nicht herangezogen. Ein determinierter Zusammenhang ließe sich nur für Dienste mit kontinuierlichen Datenströmen ableiten. Hier sind die Anforderungen an die Bandbreite additiv. Die Vorgaben des § 157 (3) TKG-2021 stellen jedoch auf die Anforderungen einzelner Dienste ab.

Die abgeleiteten Datenübertragungsraten für den Internetzugang nach § 157 (3) TKG-2021 liegen – gemessen an politischen Ausbauzielen für Very High Capacity Networks (VHCN) – auf einem vergleichsweise geringen Niveau. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sich die Ableitung der Anforderungen an den einzelnen, im Gesetz vorgegebenen Diensten orientiert und auch die Ansätze für die tolerierte Übertragungsdauer sich an den jeweils anspruchloseren oberen Grenzwerten bestehender QoE-Konzepte im Sinne einer Grundversorgung orientieren. Maßgeblich sind letztlich die zu treffenden Festlegungen hinsichtlich des Komforts der Datenübertragung sowie der Dienstqualität von bidirektionalen Echtzeitdiensten wie Sprach- und Videotelefonie. Die in § 157 (3) TKG-2021 ergänzte Dienstekategorie der Teleheimarbeit ist mit dem Dienst Datenaustausch aufgrund des – wenn auch relativ geringen – VPN-Aufschlags - für die Upload-Anforderungen ergebnisbestimmend. Online-Inhaltendienste sind für die abgeleiteten Ergebnisse nicht maßgeblich.

1 Hintergrund und Gegenstand der Untersuchung

Mit der Richtlinie (EU) 2018/1972 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 über den europäischen Kodex für die elektronische Kommunikation, Neufassung (EKEK), und seiner Umsetzung im neuen Telekommunikationsgesetz (TKG-2021) wurden die rechtlichen Rahmenbedingungen für die Sicherstellung der Verfügbarkeit eines Mindestangebots nicht nur für Sprachkommunikationsdienste, sondern auch für die angemessene wirtschaftliche und soziale Teilhabe einen Internetzugangsdienst an einem festen Standort festgelegt.¹ In TKG-2021 § 157 (3) finden sich weitere Vorgaben zur Konkretisierung der Anforderungen an den Internetzugangsdienst, welche durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) im Rahmen einer Rechtsverordnung festzulegen sind.²

Dem TKG-2021 § 157 (1) folgend überwacht die Bundesnetzagentur (BNetzA) in regelmäßigen Abständen die Verfügbarkeit eines Mindestangebots gemäß Absatz 2, welcher eine „angemessene soziale und wirtschaftliche Teilhabe“ als maßgebliche Anforderungen an den Internetzugang konkretisiert. Eine weitergehende Konkretisierung findet sich dabei in TKG-2021 § 157 (3), wonach „bei der Festlegung der Anforderungen an den Internetzugangsdienst nach Satz 1 [...] insbesondere die von mindestens 80 Prozent der Verbraucher im Bundesgebiet genutzte Mindestbandbreite, Uploadrate und Latenz sowie weitere nationale Gegebenheiten, wie die Auswirkungen der festgelegten Qualität auf Anreize zum privatwirtschaftlichen Breitbandausbau und zu Breitbandfördermaßnahmen, berücksichtigt [werden] müssen.“³

Die zu berücksichtigenden Dienste sind bereits im EKEK Anhang V konkretisiert und wurden im Zuge der rechtlichen Umsetzung in Deutschland um „Teleheimarbeit einschließlich Verschlüsselungsverfahren im üblichen Umfang und eine für Verbraucher marktübliche Nutzung von Online-Inhaltediensten“⁴ ergänzt. Sie bilden den Ausgangspunkt für die im Auftrag der BNetzA durchgeführten Studie, die Mindestanforderungen für den Internetzugangsdienst in Deutschland zu ermitteln. Dabei werden in einem ersten Schritt die repräsentativen Produkte und ihre relevantesten Nutzungsformen identifiziert, um anschließend in einem zweiten Schritt die zugehörigen Mindestanforderungen für diese Produkte zu quantifizieren. Die Ergebnisse dieser Studie sollen es BNetzA und BMVI erlauben, Festlegungen für den Mindest-Internetzugang anhand der Merkmale Datenübertragungsrate im Down- und Upload sowie der Latenz zu treffen und diese in die zu erlassene Rechtsverordnung münden zu lassen.

¹ TKG-2021, § 157 (2).

² Die Festlegung des BMVI bedarf darüber des Einvernehmens mit dem Ausschuss für Verkehr und digitale Infrastruktur, jedoch nicht der Zustimmung des Deutschen Bundestages, § 157 (3) TKG-2021.

³ TKG-2021, § 157 (3) Satz 2.

⁴ TKG-2021, § 157 (3) Satz 3.

Für unsere Studie haben wir den nachfolgenden Aufbau gewählt:

Im ersten Kapitel der Studie stellen wir Hintergrund und Gegenstand der Studie im Detail vor.

Im zweiten Kapitel widmen wir uns der Identifikation von repräsentativen Produkten und deren relevantesten Nutzungsformen. Hierzu stellen wir zunächst dar, welche Dienste im Zusammenhang mit dem TKG-2021 im Rahmen des Universaldienstes zu betrachten sind. Infolge stellen wir dann unsere methodische Vorgehensweise vor, um im Anschluss daran die identifizierten Dienste im Einzelnen zu beleuchten und für die weitere Vorgehensweise zu charakterisieren.

Im Fokus des dritten Kapitels steht die Ermittlung der technischen Mindestanforderungen. Hierfür erörtern wir zunächst die Konzepte der „Quality of Service“ und der „Quality of Experience“, um daran anschließend unsere methodische Vorgehensweise detailliert darzulegen. Hiernach beschreiben wir unsere Ermittlung der Mindestanforderungen getrennt nach den unterschiedlichen Dienstekategorien. Anschließend stellen wir die abgeleiteten Ergebnisse für die Dienste mit kontinuierlichen Datenströmen sowie diskreten Datenvolumina dar. Hier werden über sämtliche Produkte und Dienste hinweg die technischen Mindestanforderungen für die Datenübertragungsrate im Down- und Upload sowie zur maximal zulässigen Latenz bestimmt. Auch wenn die gesetzlichen Vorgaben auf die Nutzung einzelner Dienste abstellen, befassen wir uns ergänzend mit Bandbreitenanforderungen, die aus einer zeitgleichen Nutzung in Mehrpersonenhaushalten resultieren können, und arbeiten heraus, warum ein Parallelnutzungskonzept nicht sinnvoll für die Ableitung der für den Internetzugang geforderten Mindestanforderungen herangezogen werden kann. Die Ergebnisse aus den unterstützenden Messungen einer Messplattform werden erläutert und ergänzend zur Untermauerung der bottom-up ermittelten technischen Mindestanforderungen dargestellt.

Im vierten Kapitel fassen wir dann die abgeleiteten Erkenntnisse in Bezug auf die technischen Anforderungen für den Internetzugang zusammen.

2 Identifizierung von repräsentativen Produkten und ihren relevantesten Nutzungsformen

2.1 Internetzugang und zugehörige Dienste gemäß § 157 TKG-2021

TKG-2021 § 157 (3) Satz 3 konkretisiert die zu betrachtenden Dienste: Demnach muss der Internetzugangsdienst „stets mindestens die in Anhang V der Richtlinie (EU) 2018/1972 in der jeweils gültigen Fassung aufgeführten Dienste, Teleheimarbeit einschließlich Verschlüsselungsverfahren im üblichen Umfang und eine für Verbraucher marktübliche Nutzung von Online-Inhaltediensten ermöglichen.“

- Anhang V-Dienste der Richtlinie (EU) 2018/1972⁵
 - E-Mail
 - Suchmaschinen
 - Online-Werkzeuge für die Aus- und Weiterbildung
 - Online-Zeitungen oder Online-Nachrichten
 - Online-Einkauf oder Online-Bestellung
 - Arbeitssuche und Werkzeuge für die Arbeitssuche
 - berufliche Vernetzung
 - Online-Banking
 - Nutzung elektronischer Behördendienste
 - soziale Medien und Sofortnachrichtenübermittlung
 - Anrufe und Videoanrufe (Standardqualität)
- Teleheimarbeit (inkl. VPN im üblichen Umfang)
- Online-Inhaltedienste

2.2 Methodische Vorgehensweise

Für den ersten Teil des Gutachtens sind die Dienste im Sinne des § 157 (3) TKG-2021 zu spezifizieren. Es sollen repräsentative Produkte sowie typische Nutzungskonstellationen identifiziert werden. Diese bilden dann im zweiten Teil die Grundlage für eine produktspezifische Bestimmung von technischen Mindestanforderungen, die durch den Internetzugang nach § 157 (3) TKG-2021 einzuhalten sind.

Den Ausgangspunkt liefert dabei der Zweck des Dienstes.⁶ A priori gehen wir davon aus, dass die hinter den einzelnen Diensten stehenden Produkte und Anwendungen

⁵ Richtlinie (EU) 2018/1972 vom 11.12.2018 über den europäischen Kodex für elektronische Kommunikation (Neufassung).

⁶ Den in der Richtlinie (EU) 2018/1972 in Anhang V aufgeführten Diensten liegt bereits diese Zweckorientierung zu Grunde. Dies dokumentiert sich in den Bezeichnungen der Dienste.

relevant unterschiedlich und vielfältig sein können. Dies gilt sowohl für die im Anhang V aufgeführten Dienste als auch für Teleheimarbeit und Online-Inhaltendienste. In diesem Teil des Gutachtens werden wir daher für jeden vorgegebenen Dienst eine Konkretisierung von zweckbezogenen Diensten in repräsentative marktübliche Produkte vollziehen. Dabei gehen wir in drei Schritten vor:

1. Untergliederung von breit aufgestellten Diensten in trennscharfe Unterkategorien.
2. Identifikation von marktüblichen Top-Produkten innerhalb jeder identifizierten Unterkategorie. „Top-Produkte“ repräsentieren dabei in dieser Studie Produkte (Webseiten) mit der meisten Verbreitung und Nutzungshäufigkeit in Deutschland.⁷
3. Identifikation der repräsentativsten Produkte unter den marktüblichen Top-Produkten auf Basis ihrer Funktionalitätsmerkmale (Video, Audio, Live-Streaming, etc.) und Auswahl der für die Messung zu verwendenden Produkte.

2.2.1 Konkretisierung der Dienste nach § 157 (3) TKG-2021

2.2.1.1 Anhang V-Dienste

Im ersten Schritt sind die Dienste im Sinne des § 157 TKG-2021 in feinere Unterkategorien zu konkretisieren. Hierfür werden vorwiegend Quellen verwendet, die bereits in der Entstehung des EKEK im Rahmen der Studie *“Review of the scope of Universal Service”* KOM (2016) Anwendung gefunden haben. Auch die aktuelle Kategorisierung des statistischen Bundesamtes (Destatis) wird berücksichtigt.

Die Studie der EU *“Review of the scope of Universal Service”* KOM (2016) bildete einen zentralen Ausgangspunkt für die Festlegung der Anhang V-Dienste des EKEK. Sie stellt in mehreren Kategorien diejenigen Dienste zusammen, die für die soziale Teilhabe und digitale Integration⁸ maßgeblich sind und die von der Mehrheit der Bevölkerung genutzt werden.⁹ Dabei wurden seinerzeit 13 grundlegende Dienste identifiziert. Darüber hinaus

⁷ Ihre genaue Bestimmung findet sich in Abschnitt 2.3. Die dabei angewendeten Methoden sind in Abschnitt 2.2.2 beschrieben. Die Bezeichnung „Top-Produkte“ beinhaltet keine Wertung bezüglich der Qualität des Produktes.

⁸ Gemäß Erwägungsgrund 212 EKEK soll „zumindest ein gewisses Mindestmaß an Diensten für alle Endnutzer zu erschwinglichen Preisen für Verbraucher in Fällen gewährleistet werden, in denen ansonsten die Gefahr einer sozialen Ausgrenzung bestehen würde, da unzureichende Zugangsmöglichkeiten die Bürger an einer uneingeschränkten sozialen und wirtschaftlichen Teilhabe an der Gesellschaft hindern würden“. Art. 84 (3) „[...] Der angemessene Breitbandinternetzugangsdienst muss die Bandbreite bereitstellen können, die erforderlich ist, um mindestens das Mindestangebot an Diensten gemäß Anhang V unterstützen zu können.“

⁹ Soziale Teilhabe und digitale Integration wird in der EU-Studie (2016) nach Maßgabe von acht Schlüsselbereichen evaluiert: 1) Gemeinschaft, 2) Kriminalität und öffentliche Sicherheit, 3) Ausbildung von Fähigkeiten, 4) Umwelt, 5) Gleichberechtigung und Inklusion, 6) Einkommen und

wurden zwölf weitere Dienste identifiziert, die zum Zeitpunkt der Durchführung der Studie (mit Stand der Datenerhebung 2013) jedoch als weniger relevant angesehen worden waren.¹⁰

Die gleiche Methodik findet auch in diesem Bericht Anwendung. Die insgesamt 25 Dienste, die in der EU-Studie analysiert wurden, bilden den Ausgangspunkt auch für unsere Ableitung von weiteren Unterkategorien für die jeweiligen Dienste.¹¹ Mit dieser Vorgehensweise sollten nicht-trennscharfe Anhang V-Dienste, beispielsweise „(2) Suchmaschinen, die das Suchen und Auffinden **aller Arten von Informationen**“, in Unterkategorien voneinander abgegrenzt werden, sofern sie für die soziale Teilhabe von Bedeutung sind. Eine zu weiten Teilen entsprechende Untergliederung bzgl. der Nutzung von Internetdiensten für Deutschland findet sich auch beim Statistischen Bundesamt und wird für unsere Untersuchung herangezogen.

Auf Basis der in der EU-Studie (2016) identifizierten Kategorien und unter Rückgriff auf die aktuellen Statistiken und die Dienstkategorisierung vom statistischen Bundesamt haben wir die gemäß § 157 TKG-2021 vorgegebenen Dienste in genauere Unterkategorien untergliedert.¹² Die untenstehende Tabelle stellt die Aufteilung der Anhang V-Dienste in Unterkategorien dar. Diese bilden den Ausgangspunkt für die Identifizierung und Beschreibung repräsentativer Produkte in Abschnitt 2.3 und 2.5.

Finanzen, 7) Gesundheit und Pflege und 8) Wohlbefinden. Die in dieser Studie identifizierten grundlegenden Online-Dienste sollen über der genannten Schlüsselbereichen konkrete Probleme der sozialen Ausgrenzung bekämpfen (siehe Review of the scope of Universal Service, 2016, S. 49-54).

¹⁰ Playing/downloading games, images, films or music or other software (38%), Travel and accommodation (38%), Listening to web radios and/or watching web TV Services (37%), Uploading self-created content to any website to be shared (33%), Jobs/recruitment (17%), Civic and political forums (8%), Making an appointment with a practitioner via a webpage.(8%), Selling goods or services (19%), Playing networked games with others (7%), Creating websites or blogs (6%), File storage (N.D).

¹¹ Siehe dazu auch die Tabelle im Anhang „Grundlegende Online-Dienste - EU USO-Studie (2016)“

¹² Eine Darstellung der vom Statistischen Bundesamt verwendeten Unterkategorien für die Nutzung des Internets nach Zweck findet sich im Anhang zu dieser Studie („Nutzung des Internets nach Zweck – Unterkategorien des Statistischen Bundesamtes“).

Tabelle 2-1: Unterkategorien der Anhang V-Dienste im Vergleich: USO EU-Studie 2016 und Statistisches Bundesamt *

Dienste	Unterkategorien	USO-Studie EU 2016	Statistisches Bundesamt	WIK & zafaco
(1) eMail		X	X	X
(2) Suchmaschinen, die das Suchen und Auffinden aller Arten von Informationen ermöglichen	Allgemeine Informationssuche	X		X
	Information über Produkte und Dienste	X	X	X
	Reiseinformationen	(X)	X	X
	Ausbildungsinformation		[X]	X
	Gesundheitsinformation	X	X	X
(3) grundlegende Online-Werkzeuge für die Aus- und Weiterbildung	Informationssuche bei Behörden		X	X
	Nutzung für Lern- oder Bildungszwecke	X	[X]	X
	Schul- oder Hochschulbildung		[X]	X
	Weiterbildung aus privatem Interesse		[X]	X
	Weiterbildung aus beruflichem Interesse	X	[X]	X
(4) Online-Zeitungen oder Online-Nachrichten	Teilnahme an Online-Kursen		X	
	Online-Zeitungen/ Nachrichten		X	
(5) Online-Einkauf oder Online-Bestellung von Waren und Dienstleistungen	Abonnieren von Internet-Zeitungen/Magazinen	X	[X]	X
	Kauf/ Bestellung von Waren oder Dienstleistungen	X	X	X
(6) Arbeitssuche und Werkzeuge für die Arbeitssuche	Herunterladen von Software (ohne Spiele)		[X]	X
		(X)	X	X
(7) Berufliche Vernetzung		X		X
(8) Online-Banking		X	X	X
(9) Nutzung elektronischer Behördendienste	Herunterladen von amtlichen Formularen		X	
	Versenden von ausgefüllten amtlichen Formularen	X	X	X
(10) soziale Medien und Sofortnachrichtenübermittlung	Erstellen von Websites oder Blogs	(X)	[X]	
	Privates Chatten/ Besuchen von Foren	(X)	[X]	
	Nutzung sozialer Netzwerke	X	X	X
(11) Anrufe und Videoanrufe (Standardqualität: SD)		X	X	X
Gesundheitsdienste	Online-Terminvergabe/-buchung	(X)		
	Verwaltung medizinischer Daten/ Dokumenten			
	Telemedizin			
	App auf Rezept			
Verkauf von Waren und Dienstleistungen		(X)	X	

* Ein Kreuz bei „WIK/zafaco“ bedeutet, dass die Unterkategorien, die von der EU-Studie bzw. Destatis verwendet werden, Eingang in dieser Studie finden. Dienste, die mit einem (X) gekennzeichnet sind, werden von der EU-Studie (2016) nicht als grundlegender Dienst angesehen. Die EU-Studie (2016) stuft diese Dienste als „weniger wichtig“ für die soziale Teilhabe ein. Zum Zeitpunkt der Studie wurden diese Dienste von der Mehrheit der Nutzer nicht genutzt. Somit erfüllten sie nicht eine der im Anhang V des europäischen Kodex für die elektronische Kommunikation festgelegten Voraussetzungen. Für Dienste, die mit einem [X] gekennzeichnet sind, liegen aktuell keine Daten zwischen den Jahren 2015 – 2020 vor.

Die in hellgrau formatierten Dienste zählen nicht zum Dienstekatalog der Mindestanforderungen, zeigen aber bereits heute eine relevante Verbreitung bzw. lassen diese in absehbarer Zukunft erwarten.

Quelle: WIK

Tabelle 2-1 zeigt die zu berücksichtigenden Anhang V-Dienste nach Quelle und deren Zuordnung als Unterkategorie mit den Anhang V-Diensten. Hierbei ist ersichtlich, dass zumindest bei drei der elf Anhang V-Dienste eine Unterkategorisierung von Diensten von den statistischen Ämtern durchgeführt sowie in der EU-Studie aufgegriffen wurde. Das betrifft insbesondere die Anhang V-Dienste (2) *Suchmaschinen, die das Suchen und Auffinden aller Arten von Informationen ermöglichen* und (3) *grundlegende Online-Werkzeuge für die Aus- und Weiterbildung*, für welche zwischen vier und sechs Unterkategorien zugeordnet sind.

Sonstige Dienste-Kategorien, die nicht explizit in § 157 TKG-2021 erwähnt werden, wie „Verkauf von Waren und Dienstleistungen“ oder „Gesundheitsdienste“, werden aufgrund ihrer zwischenzeitlichen Verbreitung oder der in absehbarer Zukunft erwarteten Bedeutung lediglich aus Vollständigkeitsgründen dargestellt (in der Tabelle 2-1 in hellgrauer Schrift formatiert). Unsere Motivation, diese zusätzlichen Dienste hier zu benennen, liegt darin begründet, die aktuelle Entwicklung möglichst umfassend einzufangen, um somit perspektivisch für die im Gesetzestext vorgesehene Aktualisierung der für den Internetzugang erforderlichen Dienste einen ersten Aufsatzpunkt zu schaffen. Für die in Abschnitt 3 dieser Studie vorzunehmende Ermittlung der Mindestanforderungen bleiben sie außer Betracht.¹³

2.2.1.2 Teleheimarbeit inkl. VPN

Grundsätzlich existieren keine speziellen Dienste, die ausschließlich für die Durchführung von Teleheimarbeit geeignet wären. Vielmehr ist Teleheimarbeit als ein Oberbegriff zu verstehen, der eine Vielzahl von Online-Diensten zusammenfasst, welche eben dafür genutzt werden können und damit die Remote-Arbeit unterstützen.

Zu den relevanten Nutzungsformen zählen:

- Nutzung von VPN-Diensten
- E-Mail, Telefonie, Videotelefonie
- Datenaustausch¹⁴
- Nutzung von cloudbasierten Diensten (Anwendungen und Cloud-Speicher)
- Nutzung von Remote-Desktop Anwendungen
- Nutzung von Videokonferenz-Systemen

Diese Dienste bilden die Grundlage für Analyse der Teleheimarbeit im Rahmen dieser Studie.

¹³ Eine Erweiterung der für die Mindestanforderungen zu berücksichtigenden Dienste obliegt dem Verordnungsgeber.

¹⁴ Der Begriff „Datenaustausch“ ist dem Grunde nach unpräzise, da letztlich alle Anwendungen im Internet auf dem Austausch von Daten beruhen. In diesem Kontext wird auf den beruflich veranlassten Austausch von Dateien abgestellt. Dieser erfolgt in der Regel über eine VPN-Verbindung, E-Mails oder über die Cloud (siehe Abschnitt 2.4.3).

2.2.1.3 Online-Inhaltedienste

Der deutsche Gesetzgeber hat neben den Anhang V-Diensten auch eine für Verbraucher marktübliche Nutzung von Online-Inhaltediensten zu dem Kanon der im Sinne einer Mindestversorgung zählenden Dienste hinzugefügt.¹⁵ In der EU-Studie (2016) wurden diese seinerzeit nicht als grundlegende Dienste im Sinne einer Mindestversorgung eingestuft. Online-Inhaltedienste sind im Gesetzestext nicht weiter konkretisiert worden. In der Gesetzesbegründung findet sich ein Verweis auf eine Definition des Begriffs in der EU-Verordnung zur grenzüberschreitenden Portabilität von Online-Inhaltediensten im Binnenmarkt.¹⁶ Diese deckt die nachfolgenden Anwendungsgebiete ab

1. Streamingdienste (Video on Demand)
2. Internetfernsehen (Lineare Rundfunkdienste)
3. Internetradio (Lineare Rundfunkdienste)
4. Musikstreaming
5. Musikplattformen
6. Blogs
7. Internetforen
8. Online-Lexika
9. Filehosting (Cloud Dienste)
10. Online-Spiele und Gaming

Die Gesetzesbegründung wiederholt noch einmal die bereits im Gesetzestext enthaltene Qualifikation, dass es sich um eine „für Verbraucher marktübliche Nutzung“ handeln müsse. Daher ordnen wir im Folgenden die in der Definition aufgeführten Dienste im Hinblick auf ihre Marktüblichkeit ein.

1. Streamingdienste (Video-on-Demand)

Von Relevanz für diese Studie sind die Streaming-Dienste, von denen nennenswerte Anforderungen an die Datenübertragungsrate und auch Latenz erwartet werden.

Laut der Online Studie ARD/ZDF(2020) sind die Tagesreichweiten medialer Internetnutzung, Video und Audio vom Jahr 2018 auf das Jahr 2020 von 43% auf 50% gestiegen. Für 14- bis 29-Jährige liegt diese Zahl bei 89%. Daher gehen wir davon aus, dass es sich bei Audio- und Streamingdiensten um eine marktübliche Nutzung handelt.

¹⁵ Gemäß der Gesetzesbegründung II (9) erfordert „die soziale und wirtschaftliche Teilhabe an der Informationsgesellschaft, dass bei der Bestimmung des Internetzugangsdienstes, insbesondere bei der Festlegung der unerlässlichen Bandbreite, das Ermöglichen von Teleheimarbeit im üblichen Umfang sowie die Nutzung von Online Inheldiensten im marktüblichen Umfang berücksichtigt werden“.

¹⁶ Siehe den Verweis auf die EU-Verordnung (2017/1128) in der Gesetzesbegründung: Bundesrat Drucksache 29/21, 01.01.21, S. 416.

2. Internetfernsehen und 3. Internetradio (Lineare Rundfunkdienste)

Der Online-Studie ARD/ZDF(2020) zufolge werden Internetradio und lineares Fernsehen über Internet von der Mehrheit der Nutzer bisher nicht verwendet. Daher sind die linearen Rundfunkdienste nicht als marktüblich einzustufen und müssen für die Ableitung der Mindestanforderungen nicht berücksichtigt werden.

Ohne der späteren Analyse zur Ermittlung der Mindestanforderungen vorgreifen zu wollen, erachten wir es aufgrund der Vergleichbarkeit der technischen Merkmale als sinnvoll, die Linearen Rundfunkdienste gemeinsam mit den Streamingdiensten und Live-streaming-Angeboten zu betrachten.¹⁷ Aufgrund der Gleichartigkeit der Livestreams mit den herkömmlichen Streaming-Angeboten ist daher aus unserer Sicht eine Ausgrenzung des linearen Fernsehens nicht notwendig.

4. Musikstreaming und 5. Musikplattformen

Bei diesen Kategorien handelt es sich ebenfalls um Dienste, die dem Streaming zugeordnet sind. Sie werden bei der Ermittlung der Mindestanforderungen ebenfalls berücksichtigt. Laut der Online-Studie ARD/ZDF(2020) nutzen mehr als 50% der Deutschen regelmäßig Audio-Online-Dienste. Darunter sind Musikstreaming, Liveradio und Podcasts die drei dominierenden Bereiche.¹⁸ Musik-Streamingdienste (über YouTube) werden von 52% bzw. 31% der Befragten „zumindest selten“ bzw. „mindestens einmal wöchentlich“ gehört, während bei Musikstreamingdiensten (ohne YouTube) die Anteile bei 41% bzw. 35% liegen.¹⁹ Mit Blick auf die verschiedenen Altersgruppen ist die Nutzung von Musik-Streamingdiensten (ohne YouTube) sehr unterschiedlich. Der Anteil der Personen, der „zumindest selten“ Musik-Streamingdienste (ohne YouTube) nutzt, liegt bei den über 70-Jährigen lediglich bei 8%, bei den 30- bis 49-Jährigen bei 50% und bei den 14- bis 29-Jährigen bei 84%.

6. Blogs, 7. Internetforen, 8. Online-Lexika und 9. Filehosting (Cloud Dienste)

Dienste wie Blogs, Internetforen oder Online-Lexika, die in der EU-Verordnung den Online-Inhaltendiensten zugeordnet sind, sind bereits Bestandteil der ersten Kategorie der Anhang V-Dienste. Das Filehosting, hingegen, findet sich in Diensten der Teleheimarbeit. Diese Dienste bedürfen daher keiner zusätzlichen, expliziten Betrachtung in der

¹⁷ In Bezug auf das lineare Fernsehen wird häufig auch die Argumentation vorgetragen, dass lineare Rundfunkdienste über andere Übertragungswege (jenseits des Internets) bereits flächendeckend zur Verfügung stehen und es daher keiner Absicherung über den Universaldienst bedarf. – Da wir in dieser Studie eine dienstebezogene Perspektive einnehmen und das Zugangsmedium nicht als bestimmende oder beschränkende Größe in unsere Analyse einbeziehen, ist dieses Argument hier nachgelagert. Auf Ebene des Ordnungsgebers mag mit diesem Argument jedoch dem Aspekt der Teilhabe Rechnung getragen werden.

¹⁸ Audio-Online-Dienste werden zum Teil umfassender definiert und subsumieren nicht nur Audio-Streaming. „Musik-Streamingdienste (mit/ohne YouTube) werden von 52% bzw. 41% der Befragten „zumindest selten“ genutzt. Bei Radioprogramme bzw. Podcast sind es 35% bzw. 27% der Befragten.

¹⁹ Musik-Streamingdienste (ohne YouTube) ist im Jahr 2020 im Vergleich zum Vorjahr stark gestiegen (+10% Prozentpunkte).

Rubrik der Online-Inhaltedienste, weswegen wir sie in diesem Kontext nicht weiter verfolgen.

10. Online-Spiele und Gaming²⁰

Auch mit Blick auf Online-Spiele²¹ lassen sich Informationen über den Verbreitungsgrad in der Online-Studie ARD/ZDF(2020) finden. Dieser zufolge werden Online-Spiele von der Mehrheit der Nutzer bisher nicht verwendet (im Jahr 2020 lag die Tagesreichweite von „Onlinespielen“ bei 11%). Dies bestätigen auch die Ergebnisse einer Umfrage der Verbrauchs- und Medienanalyse (VuMA)²², die der in Abbildung 2-1 dargestellten Nutzungshäufigkeit zu Grunde liegt. Ausgedrückt in Nutzungshäufigkeit ist die Anzahl der deutschsprachigen Bevölkerung (über 14 Jahre), die das Internet im Jahr 2020 für PC-Online-Spiele genutzt haben, wie folgt:

- häufig: 3,93 Mio. Personen
- gelegentlich: 6,13 Mio. Personen
- selten: 6,61 Mio. Personen
- nie: 53,67 Mio. Personen

Wir haben diese Dienste daher als nicht marktüblich eingestuft und in unser weiteren Analyse nicht betrachtet.²³

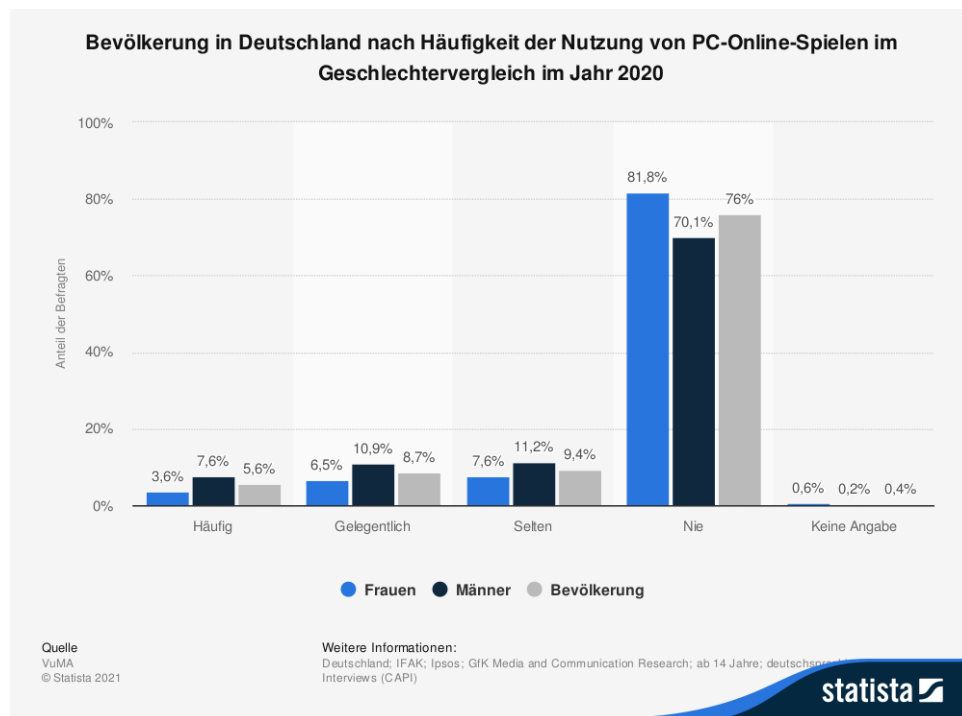
20 Die Unterscheidung von Online-Spielen und sog. Online Gaming kann an dem benötigten Equipment verdeutlicht werden. Für Gaming eingesetzte Computer (sog. Gaming Computer) verfügen über sehr schnelle Prozessoren und insbesondere schnelle Grafikkarten, um die Interaktion der Spieler möglichst ohne Verzögerung auf den jeweiligen Bildschirmen darzustellen. Dies impliziert natürlich auch entsprechend hohe Anforderungen an die Geschwindigkeit der Datenverbindung zu den Mitspielern. Spiele, die nicht in diese Anforderungen der „Gaming“-Kategorie fallen, können unter dem Begriff der Online-Spiele zusammengefasst werden. Sofern es sich um Online-Spiele handelt, sind sie in der Regel Browser-basiert. Sie haben im Vergleich zum (Online) Gaming eher geringe Qualitätsanforderungen.

21 „Online-Spiele“ werden als Computerspiele definiert, die ggf. von mehreren Teilnehmern gleichzeitig im Internet gespielt werden. Daher werden „Online-Spiele“ und „PC-Online-Spiele“ oft abwechselnd verwendet. Aus der Online-Studie ARD/ZDF (2020) ist letztendlich nicht ersichtlich, ob der Begriff „Online-Spiele“ sich lediglich auf PC- oder konsolenbasierte Spiele bezieht. Daher gehen wir davon aus, dass es sich bei „Online-Spielen“ um Internetspiele handelt, die unabhängig des Übertragungskanal (über einen PC oder eine Konsole) online gespielt werden.

22 Statista (2021): Umfrage in Deutschland zur Häufigkeit des Spielens von Online-PC-Games bis 2020; <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/181375/umfrage/haeufigkeit-des-spielens-von-pc-spielen-online/>

23 Die Altersgruppe mit der häufigsten Nutzung von Online-Spielen liegt in Deutschland noch im Segment 50 - 59 Jahre. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/290890/umfrage/altersverteilung-von-computerspielern-in-deutschland/>

Abbildung 2-1: Nutzungshäufigkeit von Online-Spielen in Deutschland



Quelle: Statista (2021): Umfrage in Deutschland zur Nutzung von PC-Online-Spielen nach Geschlecht 2020; <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/290488/umfrage/umfrage-unter-frauen-und-maennern-zur-haeufigkeit-der-nutzung-von-online-spielen/>

Die nachfolgende Tabelle 2-2 dokumentiert zusammenfassend die Behandlung verschiedener Online-Inhaltedienste-Kategorien in der dem EKEK vorausgegangenen EU-Studie, die Datenverfügbarkeit beim Statistischen Bundesamt sowie die weitere Berücksichtigung der Dienste im Rahmen dieser Studie.

Tabelle 2-2: Kategorien von Online-Inhaltediensten – eine Gegenüberstellung

Dienste	Unterkategorien	USO-Studie EU 2016	Statistisches Bundesamt	WIK & zafaco
Online-Inhalte Dienste	Video-Streaming (SD)	(X)		X
	Musik-Streaming (SD)	(X)	[X]	X
	Internetradio (SD)	(X)	[X]	
	Lineares Fernsehen (SD)	(X)	[X]	
	Online-Spiele	(X)	[X]	

Dienste, die mit einem (X) gekennzeichnet sind, werden von der EU-Studie (2016) nicht als grundlegender Dienst angesehen. Die EU-Studie (2016) stuft diese Dienste als "weniger wichtig" für die soziale Teilhabe ein. Zum Zeitpunkt der Studie wurden diese Dienste von der Mehrheit der Nutzer nicht genutzt. Somit erfüllten sie nicht eine der im Anhang V der Universaldienstrichtlinie festgelegten Voraussetzungen; für Dienste, die mit einem [X] gekennzeichnet sind, liegen aktuell keine Daten zwischen den Jahren 2015 – 2020 vor.

Quelle: WIK

Tabelle 2-3: Kategorisierung von Online-Inhaltediensten

	Online-Inhaltedienste	eingefangen durch:	
1	Streamingdienste (Video on Demand)	Streamingdienste	
2	Internetfernsehen (Lineare Rundfunkdienste)	Streamingdienste	
3	Internetradio	Streamingdienste	
4	Musikstreaming	Streamingdienste	
5	Musikplattformen	Streamingdienste	
6	Blogs	Anhang V-Dienst	soziale Medien
7	Internetforen	Anhang V-Dienst	soziale Medien
8	Online-Lexika	Anhang V-Dienst	Informationssuche
9	Filehosting (Cloud Dienste)	Teleheimarbeit	
10	Online-Spiele und Gaming	Ø	

Quelle: WIK

2.2.2 Identifizierung von Top-Produkten

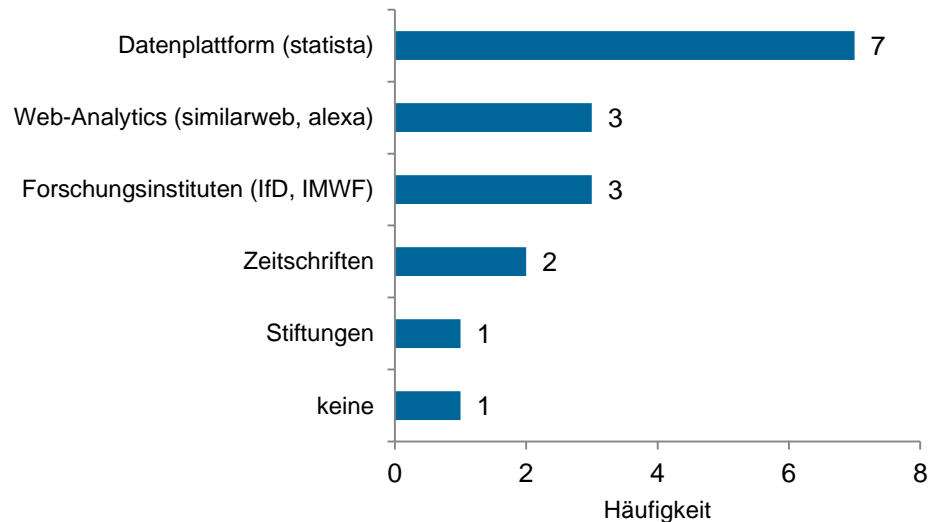
Auf Basis der berücksichtigten Unterkategorien werden in einem weiteren Schritt repräsentative Produkte und ihre relevantesten Nutzungsformen für jeden Dienst identifiziert. Diese bezeichnen wir nachfolgend als „Top-Produkte“. Die Top-Produkte werden stellvertretend für die i.a.R. Vielzahl von Produkten herangezogen, um den jeweiligen für den Universaldienst vorgegebenen Dienst zu konkretisieren und ihre Verbreitung im Markt zu erfassen (Ranking).²⁴

Um Top-Produkte zu identifizieren, wird auf branchenspezifische Rankings zurückgegriffen. Dafür werden branchenspezifische Umfragen, Studien, Statistiken oder sonstige Fachquellen hauptsächlich aus Plattformen mit Markt- und Konsumentendaten, Web-Analytics, Forschungsinstituten sowie Stiftungen verwendet. Die Datenerhebung wurde im Zeitraum Mai bis Juli 2021 durchgeführt.

In Abbildung 2-2 wird gezeigt, mit welcher Häufigkeit die verschiedenen Quellentypen für die Identifikation von Top-Produkten herangezogen werden.

²⁴ Unter Rückgriff auf ausgewählte Top-Produkte werden später im zweiten Teil der Analyse die jeweiligen produktspezifischen Mindestanforderungen zu bestimmen. Bei den (Top-)Produkten handelt es sich somit um Anwendungen oder konkrete Webseiten, die von der Mehrheit der Internetnutzer in Deutschland als Instrument zur Zweckerfüllung der im § 157 TKG-2021 definierten Online-Dienste verwendet werden. Siehe auch die Definition des hier verwendeten Begriffs „Top-Produkt“ in Abschnitt 2.2.2 und dass mit dem Begriff „Top“ nicht auf die Qualität des Produktes abgestellt wird.

Abbildung 2-2: Identifikation der Top-Produkte pro Dienst und Unterkategorie: Häufigkeit der verwendeten Quellentypen



Quelle: WIK

Nicht für jede Dienstekategorie ließen sich branchenspezifische Quellen finden. Das Problem mangelnden Branchenbezugs besteht auch bei dem Quellentyp Web-Analytics. Alexa und Similarweb weisen diesen Nachteil auf und bieten keine branchenspezifischen Rankings an.²⁵ Entsprechend stellte sich die branchenspezifische Identifizierung von Top-Produkten anhand dieser Quellen schwierig dar. Dennoch erwiesen sich diese Quellen als nützlich, da die über andere branchenspezifische Quellen identifizierten Top-Produkte bei Alexa und Similarweb nachgeschlagen werden konnten, um anhand der dort dokumentierten Klick-Häufigkeiten die Rankings der sonstigen Quellen zu validieren.²⁶

²⁵ Laut Angaben von alexa.com werden diese seit dem 17. September 2020 nicht mehr angeboten. Die Anbieter von Alexa sind der Meinung, dass eine Einteilung der Websites in allgemeine Kategorien nicht die Vielfalt des Internets widerspiegelt, deswegen wird auf eine derartige Übersicht verzichtet. Stattdessen gibt Alexa Informationen dieser Art jetzt über ein neues Content Exploration Tool an, welches Themen anhand von öffentlichem Engagement in Social Media Foren definiert.

²⁶ Sowohl Alexa als auch Similarweb stützen sich auf webbasiertes Verkehrsaufkommen, welches grundsätzlich über die Anzahl der Besuche bestimmt wird. Die für die Bestimmung der Rankings angewandte Methodik ist in der nachfolgenden Tabelle dokumentiert.

Tabelle 2-4: Ranking von Top-Sites in Deutschland – Methodik von alexa.com und similarweb.com

alexa.com: „Top-Sites in Germany“	similarweb.com „Ranking der Top-Websites“
<i>„der Rang eines Monats wird anhand einer Kombination aus durchschnittlichen täglichen Besuchern und Seitenbesuchern des letzten Monats berechnet. Die Website mit der höchsten Kombination aus Besuchern und Seitenaufrufen liegt auf Platz 1“ (übersetzt)</i>	<i>Traffic-Rang der Site im Vergleich zu allen anderen Sites. Rankings werden bezogen auf die ganze Welt oder bezogen auf ein Land (hier Deutschland ausgewiesen. (#1 ist die Site mit dem meisten Traffic in der jeweiligen Region)</i> Diese Statistik ist ebenfalls auf Ebene der Branche verfügbar.
Quelle: https://www.alexa.com/topsites/countries/DE	Quelle: https://www.similarweb.com/de/top-websites/germany/

Es ist jedoch nicht möglich, für sämtliche Anhang V-Dienste ein Ranking unter Rückgriff auf klick-basierte Messungen zu identifizieren oder zu validieren. In solchen Fällen, in denen alexa.com und similarweb.com keine Vertreter für die jeweiligen zu untersuchenden Anhang V-Dienste aufweisen (z.B. Webseiten zur Nutzung von elektronischen Behördendiensten)²⁷ oder vielleicht kein vollständiges Bild der Branche liefern, werden umfragebasierte Statistiken als Maßstab für ein Produkte-Ranking vorgezogen.²⁸

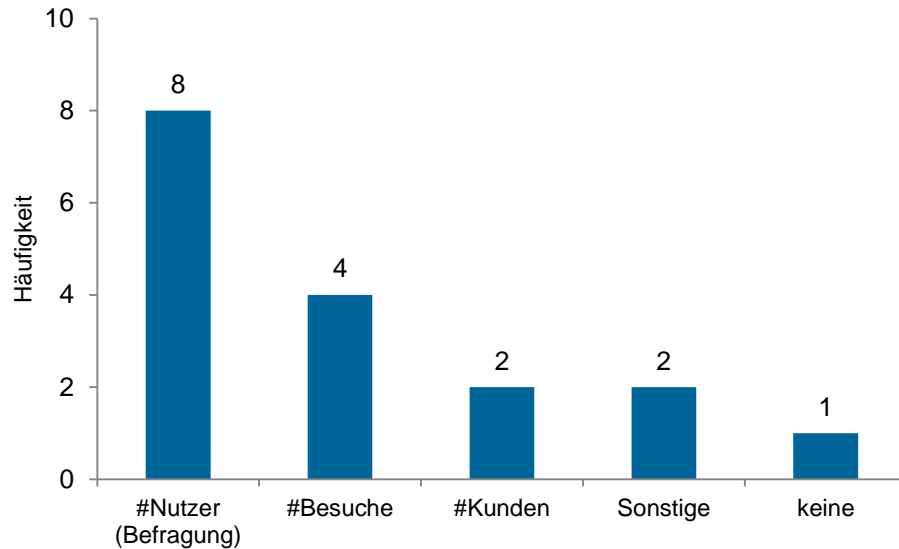
In Abhängigkeit der Datenverfügbarkeit werden bedarfsweise weitere Indikatoren als Proxy bei fehlenden Daten zur Internetnutzung in Betracht gezogen, so beispielsweise die Anzahl von Kunden von Banken oder Versicherten für den Dienst des Online-Banking.

Die Abbildung 2-3 bringt zum Ausdruck, mit welcher Häufigkeit die verwendeten Maßstäbe zur Ableitung von Produktrankings herangezogen wurden.

²⁷ Dies liegt zum Teil an verteilten Anbieterstrukturen, wie bspw. im Fall von lokalen elektronischen Behördendiensten.

²⁸ Punktuell können die klick-basiert ermittelten Rankings auch problembehaftet sein. Dies ist insbesondere dem Umstand geschuldet, dass viele Webseiten einen Portal-Charakter haben: Von ihrer Startseite lassen sich verschiedenste Dienste erschließen, was eine Zuordnung auf die einzelnen, für den Universaldienst vorgegebenen Produkte erschwert. Diese Beobachtung trifft beispielsweise auf T-Online zu, die auf ihrer Startseite ein umfangreiches Angebot an Online-Nachrichten haben: Der Aufruf dieser T-Online-Seite ist jedoch nicht zwingend von der Nutzung dieses Nachrichtenangebots motiviert: Viele T-Online Kunden lassen die Ausgangskonfiguration ihres Browsers unverändert, oder benutzen die Startseite für ihren webbasierten E-Mail-Zugang. Der Aufruf der T-Online-Seite erfolgt in diesen Fällen dann ohne Intention, die T-Online-Seite zu Nachrichtenzwecken tatsächlich nutzen zu wollen.

Abbildung 2-3: Verwendete Maßstäbe für die Ableitung der Rankings zur Identifizierung von Top-Produkten der Anhang V-Dienste



Quelle: WIK.

Unter Berücksichtigung der oben genannten Quellen wird angestrebt, mindestens drei²⁹ konkrete Produkte für alle Anhang V-Dienste zu identifizieren und ggf. Unterkategorien darzustellen³⁰ (siehe Abschnitt 2.3 sowie die tabellarische Darstellung von Diensten, Unterkategorien und Top-Produkten im Anhang).

Beim Themenkomplex der Teleheimarbeit musste ein abweichender Ansatz gewählt werden, da eine einfache Zuordnung von Diensten, Unterkategorien und Top-Produkten in dieser Form nicht zielführend ist. Da Microsoft im beruflichen Umfeld sowohl für Office-Anwendungen als auch für Betriebssysteme als Marktführer gilt, wurden daher für die Kategorien „cloudbasierte Dienste“ und „Remote-Desktop“ die von Microsoft angebotenen Dienste analysiert. Für die VPN-Dienste wurde hingegen darauf abgestellt, wie groß der zusätzliche Bandbreitenbedarf durch die Nutzung ist. Bei den beruflich genutzten Videokonferenzen wurden die Erfordernisse über die Videoqualitäten abgeleitet. Bei E-Mails und Datenaustausch wurde auf eigene Datenerhebungen bzw. Studien zu die Dateigrößen abgestellt.

²⁹ Bei zwei Unterkategorien („Informationssuche bei Behörden“ und „Weiterbildung aus privatem Interesse“) konnten lediglich zwei Produkte identifiziert werden.

³⁰ Bei einigen Branchen, die komplexer oder umfassender sind, war es notwendig, die Anzahl der Top-Produkte zu erweitern, sofern die Datenlage das erlaubt.

2.2.3 Auswahlkriterien für die webbasierte Messung

In Vorbereitung auf den zweiten Analyseschritt dieser Studie „Ermittlung der Mindestanforderungen an den sicherzustellenden Internetzugangsdienst“ treffen wir bereits in diesem ersten Analyseschritt eine Auswahl der Produkte, welche als Datenbasis zur Quantifizierung der technischen Mindestanforderungen herangezogen werden sollen. Dazu werden aus den in Abschnitt 2.3 konkretisierten branchenspezifischen Top-Produkten diejenigen ausgewählt, die unter Berücksichtigung von Funktionalitätsmerkmalen (Text, Bilder, Video, Audio, Livestreaming, etc.) hinreichend repräsentativ und unterschiedlich sind.³¹ Diese Vorgehensweise beinhaltet damit auch, dass wir Produkte von der weiteren Analyse ausschließen, von denen wir – aus Nutzerperspektive – aufgrund der Gestaltungsähnlichkeit der Webseite keine ausgeprägte Varianz und somit keinen statistischen Mehrwert für die Quantifizierung erwarten.

Nachfolgende Tabellen illustrieren unseren Ansatz, Produkte mit möglichst unterschiedlichen Funktionalitätsmerkmalen (Text, Bilder, Video, Audio, Livestreaming, etc.) zu identifizieren, um deren Heterogenität in Bezug auf die Mindestanforderungen an den Internetzugang zu erfassen.³² Unser Ansatz stützt sich auf die Hypothese, dass sich anhand der Funktionsmerkmale erste Hinweise auf die Größe der Datenvolumina und auch die QoS-Anforderungen für eine grobe Einordnung abgeleitet werden können. Tabelle 2-5 zeigt den Fall von Diensten bzw. Unterkategorien mit einer relativ hohen Produkthomogenität, während Tabelle 2-6 Dienste bzw. Unterkategorien mit einer hohen Produktheterogenität aufzeigt.

Tabelle 2-5: Identifikation der repräsentativsten Produkte nach Funktionalitätsmerkmalen – Illustration relativer Produkthomogenität

Anhang V-Dienst/ Unterkategorie	Produkt	Rank	Echt- zeit	Funktionalitätsmerkmale					Wer- bung	Auswahl des Produkts für webbasierte Messung
				Video	Audio	Bilder	Text	Upload		
Dienst (bzw. Unterkategorie)	Produkt A	1		X	X	X	X			ja
	Produkt B	2		X	X	X	X			nein
	Produkt C	3		X	X	X	X			nein

Quelle: WIK.

Tabelle 2-5 bringt zum Ausdruck, dass sich die Top-Produkte hinsichtlich ihrer Funktionalitätsmerkmale kaum unterscheiden. Wir erwarten daher, dass diese Produkte sich

³¹ Siehe dazu auch die Darstellung der ausgewählten Produkte im Anhang.

³² Dabei haben wir auch die jeweilige Bedeutung von Werbung für die Webseite als ein kennzeichnendes Merkmal berücksichtigt.

hinsichtlich ihrer technischen Anforderungen ebenfalls nicht relevant voneinander unterscheiden werden.³³

Tabelle 2-6 stellt exemplarisch den Fall dar, dass sich Produkte innerhalb eines Dienstes bzw. einer Unterkategorie hinsichtlich ihrer Funktionalitätsmerkmale stark voneinander unterscheiden. Produkte, die sich hauptsächlich auf Audio, Bilder und Text (z.B. Produkt A) beschränken, grenzen sich ab von Produkten, die nur Videos³⁴ als Kommunikationsobjekt anbieten (Produkt B). Produkt C bietet sowohl Bilder als auch Video an. Das enthaltene Videoangebot steht im Gegensatz zum Produkt B nicht im Vordergrund.

Tabelle 2-6: Identifikation der repräsentativsten Produkte nach Funktionalitätsmerkmalen – Illustration relativer Produktheterogenität

Anhang V-Dienste/ Unterkategorie	Produkt	Rank	Echt- zeit	Funktionalitätsmerkmalen						Auswahl des Produkts für webbasierte Messung
				Video	Audio	Bilder	Text	Upload	Wer- bung	
Dienst (bzw. Unterkategorie)	Produkt A	1			X	X	X	(X)		ja
	Produkt B	2	(X)	X			X	X	X	k.A.
	Produkt C	3		X		X	X		X	ja

Quelle: WIK.

Als ein weiteres Kriterium bei der Auswahl der Top-Produkte für die Quantifizierung haben wir die technischen Erfordernisse zur Überprüfung der am festen Standort zur Verfügung stehenden Datenübertragungsrate herangezogen. Um letztlich die im Gesetz geforderte Verfügbarkeit eines Internetzugangs gemäß § 157 TKG-2021 überprüfen zu können, muss eine kabelgebundene Messung am Router erfolgen. Dies schließt die WLAN-Schnittstelle und damit die Nutzung von Mobilfunkgeräten aus. Entsprechend schließen wir bei der Auswahl der Produkte und Anwendungen die vorwiegend über mobile Endgeräte genutzten Produkte aus.³⁵

³³ Welche Unterschiede sich mit Blick auf die Mindestanforderungen feststellen lassen, wird in Abschnitt 3 dargestellt. Grundsätzlich hat die technische Gestaltung der Webseite auch einen Einfluss auf die für die Nutzung zu erfüllenden Anforderungen. Jedoch gilt auch für die Website-Gestaltung ein „state-of-the-art“, der sich zum einen an den Nutzerbedürfnissen sowie deren Nutzungsrestriktionen orientiert. Letztlich haben die Anbieter ein Interesse an einer möglichst verbreiteten Nutzung ihrer Angebote.

³⁴ Bereits an dieser Stelle sei erwähnt, dass wir Produkte, für die Video oder Echtzeitanwendungen das Kernangebot sind, im Rahmen dieser Studie nicht über webbasierte Messung, sondern separat davon erfassen und analysieren. Auf diese Verfahren wird in Abschnitt 3.3 näher eingegangen.

³⁵ Tatsächlich findet in unserer Analyse dieses Kriterium lediglich bei dem Messenger-Dienste Whatsapp Anwendung. Generell ist anzumerken, dass die für mobile Endgeräte konzipierten Anwendungen in der Regel mit geringen Mindestanforderungen einhergehen, da die mobile Schnittstelle in der Vergangenheit eine geringere Kapazität zur Verfügung stellt als dies üblicherweise an festen Standorten der Fall ist. Es ist zu erwarten, dass sich diese Verhältnisse mit der Einführung von LTE und 5G bereits jetzt regional verändert haben bzw. zukünftig verändern werden.

2.3 Anhang V-Dienste – Anwendungen und repräsentative Produkte

2.3.1 E-Mail

E-Mail ist einer der ersten Internetdienste, die von einer breiten Öffentlichkeit genutzt wurden. In den Anfängen war er auf das Versenden von Textnachrichten ausgelegt, erlaubt inzwischen aber auch die Übertragung von digitalen Dokumenten, wohinter sich beispielsweise PDF- oder Office-Dokumente, aber auch Audio-, Video- oder Bilddateien verbergen können. Die Versendung von E-Mails mit Anhängen unterscheidet sich, je nachdem ob die E-Mails beruflich oder privat veranlasst ist. Im privaten Bereich werden auch heute noch E-Mails genutzt um z.B. Fotos als Anlage zu versenden, während im beruflichen Umfeld eher die anderen Dateiformate in Anhängen zu finden sind, insbesondere PDF- und Office-Dateien.

Während früher E-Mails häufig auf reiner Textformatierung basierten, hat sich inzwischen die Formatierung als HTML-Dokument durchgesetzt. In der Regel erfolgt die Versendung und Zustellung von E-Mail innerhalb von Sekunden, sie kann sich aber auch – bedingt durch die Realisierung im IP-basierten Netz und auslastungsbedingten Engpässen – merklich verzögern.³⁶ E-Mail ist dabei kein interaktiver Dienst; er hat keine direkte Interaktion zwischen Sender und Empfänger zum Gegenstand, da die E-Mail im Posteingang des Empfängers abgelegt und von diesem zu einer beliebigen Zeit abgerufen werden kann. Jedoch ist es inzwischen üblich, dass E-Mail-Applikationen ständig aktiv gehalten werden, um jederzeit über den Eingang einer E-Mail informiert zu sein.

Bei der Erfassung von E-Mail-Diensten ist die Unterscheidung in E-Mail-Anwendungen im Sinne lokal installierter Programme (wie beispielsweise Outlook von Microsoft) sowie in Form von webbasierten E-Mail Angeboten (Webmail) zu beachten.

Die häufigsten in Deutschland verwendeten Web-Applikationen sind gmx.de (gmx.net), web.de und gmail (mail.google.com).³⁷

Bei den Anwendungen im Business-Bereich ist die E-Mail Applikation „Outlook“ als Bestandteil des Microsoft-Office-Pakets eine der meist genutzten Anwendungen.³⁸ Microsoft-Office ist mit 85% die am meisten genutzte Office-Anwendung in Deutschland.³⁹

³⁶ Ebenso können E-Mails bei intermediären Mailagenten zwischengespeichert und zu einem späteren Zeitpunkt weitergeleitet werden. Dies ist zumeist dann gegeben, wenn die Domain der E-Mail-Adresse keine direkte Adressierung durch den Versender erlaubt.

³⁷ Statista (2021): Entwicklung der Marktanteile der E-Mail-Postfach-Anbieter in Deutschland bis 2021; <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/151754/umfrage/nutzeranteile-von-e-mail-anbietern-in-deutschland/>; ; Online Marketing (2016): Status Quo: Die 10 beliebtesten E-Mail-Provider in Deutschland; <https://onlinemarketing.de/email-marketing/mobilisierung-mails-top-10-e-mail-provider-deutschland>

Die Recherche-Ergebnisse für die meist verbreiteten Anwendungen sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt. Auffällig ist, dass das Top-Produkt „Gmail“ auch die Anwendung „Google Meet“ für die Einladung zu Videokonferenzen anbietet. Diese Anwendung muss aktiv in einem weiteren Schritt aufgerufen werden. Sie ist allerdings zur Zweckerfüllung des Dienstes „Email“ nicht von Bedeutung. Die in der Tabelle durch (X) gekennzeichnete Echtzeit-Funktionalität bezieht sich dabei nicht auf den eigentlichen E-Mail-Dienst.

Tabelle 2-7: Ranking und Funktionalitätsmerkmale von Top „E-Mail“ Produkten

Rang	Produktname	Nutzung [%]	Webseite des Produkts	Alexa Rang	Similar Web Rang	Echtzeit	Video	Audio	Bilder	Text	Upload	Werbung	Auswahl des Produkts für webbasierte Messung
1	GMX-Webmail	25,1%	www.gmx.net	10	14				X	X	X	X	nein
2	Web.de	24,0%	web.de	8	12				X	X	X	X	nein
3	Gmail	15,5%	accounts.google.com	1	1	(X)				X	X		nein

X und (X) weisen darauf hin, dass die Funktionalitätsmerkmale Video, Audio, Bilder, Text, Upload, Werbung Bestandteil der Webseite sind. Mit der Rubrik Echtzeit wird zum Ausdruck gebracht, dass auch Anwendungen mit Echtzeitcharakter bereitgestellt werden. Ein mit (X) gekennzeichnetes Funktionalitätsmerkmal soll zum Ausdruck bringen, dass auf dieser Website zwar Anwendungen mit diesem Funktionsmerkmal vorliegen, dieses jedoch mit Blick auf den hier untersuchten Zweck des Produkts keine Relevanz hat.

Quelle: WIK – erstellt auf Basis von Tabelle „Anhang-V Dienste, Unterkategorien, Top-Produkte und Quellen“ im Anhang zu dieser Studie

Die in der Tabelle 2-7 darstellten Produkte finden im zweiten Teil der Analyse (Abschnitt 3) eine gesonderte methodische Berücksichtigung. Im Gegensatz zu anderen Anhang V-Diensten hängt das beanspruchte Datenvolumen nicht von der besuchten Webseite ab, sondern von Faktoren, die von Nutzer zu Nutzer variieren können, wie beispielsweise die Länge der E-Mail oder die Größe des Anhangs. Wir haben uns daher entschlossen, die Datenvolumina von E-Mail Anwendungen über Datenabfragen bei Produktanbietern zu ermitteln (siehe Abschnitt 3.4.2.1), um ein möglichst repräsentatives Bild des gängigen Nutzungsverhaltens im Bereich E-Mail in Deutschland zu schaffen. Mit dieser Herangehensweise beschränken wir unsere quantitative Analyse auf die im Rahmen der Datenabfrage erhobenen Daten und verzichten auf die Durchführung von Messungen bei den webbrowerbasierten Angeboten.

38 Besitzer von Microsoft-Office-Paketen müssen nicht zwingend „Outlook“ als E-Mail nutzen. Dennoch halten wir Microsoft-Office als einen guten Proxy für die Nutzung von „Outlook“-als E-Mail-Anwendung.

39 Statista (2021): Meistgenutzte Office-Software in Unternehmen in Deutschland 2020; <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/77226/umfrage/internetnutzer---verbreitung-von-office-software-in-deutschland/>

2.3.2 Suchmaschinen

Suchmaschinen ermöglichen den Verbrauchern eine stichwortbasierte Recherche im Internet. Gegenstand der Suche sind in der Regel Websites mit bestimmten Inhalten oder Angeboten oder auch Dokumenten. Das bekannteste Beispiel für Suchmaschinen ist Google. Neben der Suche nach Websites anhand von Suchbegriffen ist auch die Suche nach Bildern, Videos, Orten (Maps), Nachrichten, Büchern und Produkten (Shopping) möglich. Die Rückmeldung der Suchergebnisse erfolgt in der Regel als Text (Link und kurze Beschreibung). Es können auch Vorschau-Bilder ausgegeben werden. Der Nutzer ist in direkter Interaktion mit der Suchmaschine und es werden in der Regel bis zu mehrere tausend Ergebnisse geliefert, meistens etwa 10 bis 20 Suchergebnisse auf einer Seite. Zum Anschauen weiterer Suchergebnisse muss zur nächsten Ergebnisseite gewechselt werden, welche dann nachgeladen wird. Durch Klicken auf den jeweils im Suchergebnis enthaltenen Link wird der Nutzer auf zum gesuchten Inhalt weitergeleitet.⁴⁰

In Abschnitt 2.2 wurde dargestellt, dass nicht alle Inhalte, die über eine Suchmaschine gesucht werden können, maßgeblich für die soziale Teilhabe sind. Gemäß der Richtlinie (EU) 2018/1972 wird im Anhang V explizit auf Suchmaschinen hingewiesen, „die das Suchen und Auffinden **aller** Arten von **Informationen** [Hervorhebung d.V.] ermöglichen“. Bei der Erfassung der repräsentativen Produkte haben wir uns darauf fokussiert, sechs Unterkategorien der Informationssuche zu identifizieren, die, wie im vorherigen Abschnitt aufgeführt, für die soziale Teilhabe und digitale Integration relevant sind:

- Allgemeine Informationssuche
- Information über Produkte und Dienste
- Reiseinformation
- Ausbildungsinformation
- Gesundheitsinformation
- Informationssuche bei Behörden

Die folgende Tabelle zeigt die meistverwendeten webbasierten Produkte, die für den Zweck der Suche und das Auffinden der oben genannten Informationen verwendet werden. Die repräsentativsten Produkte (google.de, idealo.de, booking.com, bahn.de, kursnet, TK, service.berlin.de und verwaltung.bund.de) aus der Menge der relativ homogenen Top-Produkte finden später Eingang in unsere webbasierte Messung (Abschnitt 3), wie in der letzten Spalte der Tabelle angezeigt.

⁴⁰ Meta-Suchmaschinen versuchen, das Suchergebnis zu verbreitern und von den Suchalgorithmen einzelner Suchanbieter unabhängig zu machen, indem sie eine Suchanfrage an mehrerer Suchmaschinen gleichzeitig weitergeben. Auf diese Weise wird eine Suchanfrage quasi vervielfacht. Als Nebeneffekt können derartige Suchanfragen auch den Sucher anonymisieren (Beispiel: Metager.de).

Tabelle 2-8: Ranking und Funktionalitätsmerkmale von webbasierten Top-Produkten zu Suchmaschinen

Rang	Produktname	Nutzung	Webseite des Produkts	Alexa Rang	Similar Web Rang	Echtzeit Video	Audio	Bilder	Text	Upload	Werbung	Auswahl des Produkts für webbasierte Messung
Allgemeine Informationssuche												
1	Google	92%	www.google.de	1	1	(X)	X	X	X			ja
2	Bing	18%	www.bing.com	32	44	(X)	X	X	X			nein
3	Yahoo	10%	de.yahoo.com	19	28	(X)	X	X	X			nein
Information über Produkte und Dienste												
1	Preisvergleich	35%	www.ideal.de	>100	40			X	X		X	ja
2	Testberichte	31%	www.testberichte.de	>100	>50			X	X		X	nein
3	Bewertungen/ Kommentare anderer Nutzer	30%	-	-	-							-
4	Internetseite des Herstellers/ Anbieters	29%	www2.hm.com	>100	>50			X	X			nein
5	Diskussionsforen/ Blogs/ Videoportale	12%	-	-	-							-
Reiseinformationen												
1	Booking	Nr1	www.booking.com	>100 [43]	>50			X	X			ja
2	Deutsche Bahn	Nr2	www.bahn.de	>100	>50			(X)	X			ja
3	Tripadvisor	Nr3	www.tripadvisor.com	>100	>50			X	X		X	nein
Ausbildungsinformation												
1	Kursnet	-	kursnet- finden.arbeitsagentur.de	>100	>50			(X)	X			ja
2	Zentrale Studien- beratung	-	verwaltung.uni-koeln.de	>100	>50	(X)	(X)	(X)	X			nein
3	Digitale Bildungs- theke	-	www.webmessen.de	>100	>50			(X)	X			nein
Gesundheitsinformation												
1	TK	10,7 Mio	www.tk.de	>100	>50	(X)	(X)	X	X			ja
2	BARMER	8,9 Mio	www.barmer.de	>100	>50			(X)	X	X		nein
3	DAK Gesundheit	5,6 Mio	www.dak.de	>100	>50	(X)	(X)	X	X			nein
Informationssuche bei Behörden												
1	Bürgerservices	81%	service.berlin.de	>100	>50			(X)	X			ja
2	Portal des Bundes	-	verwaltung.bund.de	>100	>50			(X)	X			ja

In der obenstehenden Tabelle wird bei alexa.com oder websimilar.com der Rang in eckigen Klammern angezeigt, der im Rahmen einer Konsistenzüberprüfung über den Zeitverlauf zu einem späteren Zeitpunkt erfasst wurde (vom 16.07.2021). Da die Rankings von alexa.com oder similarweb.com auf Basis von Verkehrsaufkommen abgeleitet sind, können sich diese Rankings im Zeitablauf relevant ändern. Es wurde daher Wochen nach der ersten Momentaufnahme des Rankings überprüft, ob die identifizierten Produkte/Webseiten noch auf den Top-Listen vorhanden waren oder ob andere für die Anhang V-Dienste relevanten Produkte/Webseiten aufgelistet sind. Daraus kann sich beispielsweise ergeben, dass „booking.com“ bei der ersten Momentaufnahme (Juni 2021) nicht aufgelistet war. Einen Monat später (Juli 2021) taucht „booking.com“ im Alexas Top 50 (auf dem Platz 43) auf. Das kann aufgrund der verbesserten Covid19-Situation oder saisonal bedingt sein.

Quelle: WIK – erstellt auf Basis von Tabelle „Anhang-V Dienste, Unterkategorien, Top-Produkte und Quellen“ im Anhang zu dieser Studie (dort verwendete Quellen u.a. statista, similarweb, IfD Allensbach, Initiative D21 und der TU-München (Studie „eGovernment Monitor 2020“)).

Wie aus der obenstehenden Tabelle ersichtlich, sind Suchmaschinen oder Produkte der allgemeinen Informationssuche wie google.de, bing.com und yahoo.com hinsichtlich ihrer Funktionalitätsmerkmale voneinander kaum zu unterscheiden. Aus der Nutzerper-

spektive können anhand dieser Suchmaschinen Informationen in Form eines Textes, Videos, Audios, Bildes, etc. gesucht und gefunden werden. Als Marktführer in seiner Unterkategorie ziehen wir google.de als Vertreter für die webbasierte Messung heran.

Beispiele für spezifische Suchmaschinen, die die Suche von Information über bestimmte Produkte und Dienstleistungen ermöglichen (beispielsweise hinsichtlich des Preises, Verfügbarkeit oder der Qualität), stellen marktübliche Webseiten wie idealo.de (Preisvergleichsportal), testbericht.de (Testbericht) oder hm.com (Internetseite des Mode-Herstellers H&M) dar. Diese Webseiten bestehen hauptsächlich aus Text und Bildern. Daher sind sie mit Blick auf die webbasierte Messung aufgrund ihrer vergleichbaren Funktionalitätsmerkmale ähnlich.

Diese Beobachtung konnten wir ebenfalls für weitere aufgelistete Unterkategorien machen, für die wir jeweils einen Vertreter für die spätere webbasierte Messung ausgewählt haben: Im Bereich der Suche und des Auffindens von „Ausbildungsinformationen“ ist dies das Produkt „kursnet“ von der Arbeitsagentur; im Bereich von „Gesundheitsinformation“ ist dies das Angebot der Techniker Krankenkasse (TK).

Bei der Unterkategorie „Reiseinformation“ finden die beiden Produkte booking.com und bahn.de aufgrund ihrer grundsätzlichen Unterschiede Eingang in die webbasierte Analyse.

2.3.3 Grundlegende Online-Werkzeuge für die Aus- und Weiterbildung

Die im Internet angebotenen Werkzeuge für die Aus- und Weiterbildung sind vielfältig. Die Spannweite reicht von der Bereitstellung von Dokumenten zum Selbststudium über Audio- und Video-Inhalte bis hin zu interaktiven Lerninhalten, virtuellen Klassenräumen mit Videokonferenz und Online-Prüfungsfragebögen. Verschiedene Angebote verbinden auch die Nutzung mehrerer Funktionalitäten und Zwecke. So werden interaktive Web-based Trainings mit dem Angebot von Video- und Sprachanwendungen kombiniert.

Die Informationen des Statistischen Bundesamtes weisen zu diesem Dienste-Zweck folgende Unterkategorien auf:

- Nutzung für Lern- und Bildungszwecke
- Schul- oder Hochschulbildung
- Weiterbildung aus privatem Interesse
- Weiterbildung aus beruflichem Interesse

In der Studie der Bertelsmann-Stiftung „Monitor Digitale Bildung“ (2017) wird ebenfalls der Treiber für die Nutzung von Lernmedien zwischen privat und beruflich unterschieden. Während das privat motivierte Lernen selbständig und hauptsächlich über informelle Kanäle erfolgt (beispielsweise über wikipedia.org oder bei Lernvideoangeboten

auf youtube.com)⁴¹, werden Online-Seminare, sogenannte „Webinare“⁴² oder webbasiertes Lernen in der Regel für eine beruflich veranlasste Weiterbildung gewählt. Digitale Lernspiele, Simulationen, Lern Apps oder Lernmanagementsysteme (wie moodle.de), die insbesondere bei der Schul- und Hochschulbildung eingesetzt werden können, wurden zum Zeitpunkt der Datenerhebung sowohl privat als auch beruflich von den Befragten nur selten genutzt.

Während für die Unterkategorie „Nutzung für Lern- oder Bildungszwecke“ wikipedia.org sich hauptsächlich auf Audio, Bilder und Text beschränkt, werden über Produkte wie youtube.com hauptsächlich Lernvideos angeboten. Identifizierte webbasierte Top-Produkte der jeweiligen Unterkategorie werden dann nur für die webbasierte Messung aufgenommen, sofern diese nicht vorwiegend von Upload-Angeboten (google.drive) oder determinierten Anforderungen, beispielsweise von Videostreaming (youtube.com, studyflix.de) oder Livestreaming (webex.com, wbstrainig.de, moodle.de und edx.org) geprägt sind.⁴³

Die untenstehende Tabelle zeigt die meistverwendeten webbasierten Produkte, die als grundlegende Online-Werkzeuge für die Aus- und Weiterbildung eingesetzt werden. Die repräsentativsten Produkte werden bei der Quantifizierung entsprechend berücksichtigt. Für webbrowserbasierte Produkte sollen dann im weiteren Verlauf webbasierte Messung vorgenommen werden (wikipedia.org, fahrschule.de, anton.app, und scholar.google.de). Weitere repräsentative Produkte, die anstelle über eine webbasierte Messung besser über die abstrakten Mindestanforderungen oder Dateivolumina dieser Produkte berücksichtigt werden können (google.drive, youtube.com, studyflix.de, webex.com, wbstrainig.de, moodle.de und edx.org), werden separat ausgewertet. Dieses Verfahren wird in Kapitel 3 erläutert.

⁴¹ Die Study legt den YouTube-Kanal „MrWissen2go“ als Beispiel für Lernangebote in Videoplattformen vor ([MrWissen2go - YouTube](#)). Zwischen dem Zeitpunkt der Studienveröffentlichung und der Erfassung dieses Gutachten ist die Anzahl der Abonnenten von ca. 570.000 im Jahr 2017 bis auf 1,5 Mio. im Jahr 2021 gestiegen.

⁴² Der Begriff „Webinar“ ist seit 2003 als Wortmarke beim Deutschen Patent- und Markenamt eingetragen: <https://www.wbs-law.de/markenrecht/webinar-markenrecht-bezeichnung-webinar-geschuetzt-achtung-vor-abmahnungen-50145/>

⁴³ Zur Berücksichtigung der Upload-Anforderungen haben wir daher eine separate Herangehensweise gewählt, die in Abschnitt 3.4.2 ausgeführt ist.

Tabelle 2-9: Ranking und Funktionalitätsmerkmale von webbasierten Top-Produkten im Bereich der Aus- und Weiterbildung

Rang	Produktname	Nutzung privat [%]	Nutzung beruflich [%]	Webseite des Produkts	Alexa Rang	Similar Web Rang	Echtzeit	Video	Audio	Bilder	Text	Upload	Werbung	Auswahl des Produkts für webbasierte Messung
Nutzung für Lern- oder Bildungszwecke														
1	Wikipedia oder andere Wikis	71%	71%	de.wikipedia.org	6	6			X	X	X	(X)		ja
2	Videoangebote	60%	27%	www.youtube.com	2	2	(X)	X			X	X	X	nein
3	Elektronische Tests oder Übungen	20%	48%	www.fahrschule.de	>100	>50		X		X	X		X	ja
Schul- oder Hochschulbildung														
1	Digitale Lernspiele, Simulationen	12%	34%	anton.app	>100	>50			X	X	X			ja
2	Lern Apps	15%	27%	studylfix.de	>100	>50		X		X	X		(X)	nein
3	Lernmanagement-system	4%	k.A.	moodle.de	>100	>50	X			X	X	X		nein
Weiterbildung aus privatem Interesse														
1	Webseiten mit fachlichen Inhalten	37%	63%	scholar.google.de	1	1				(X)	X		(X)	ja
2	Clouddienste	33%	40%	www.google.com/drive	-	-					X	X		nein
Weiterbildung aus beruflichem Interesse														
1	WBT, Webbasiertes Lernen	10%	90%	www.wbstraining.de	>100	>50		X	X	X	X	X	X	nein
2	Webinar	11%	85%	www.webex.com	>100	>50	X			X	X	X		nein
3	MOOCs (Massive Open Online Course)	1%	k.A.	www.edx.org	>100	>50		X	X			X		nein

Quelle: WIK – erstellt auf Basis von Tabelle „Anhang-V Dienste, Unterkategorien, Top-Produkte und Quellen“ im Anhang zu dieser Studie

2.3.4 Online-Zeitungen oder Online-Nachrichten

Die Bezeichnung Online-„Zeitungen“ ist vermutlich der herkömmlichen, medienorientierten Trennung geschuldet. Mit dem Begriff Online-Zeitungen werden Angebote von Verlagen bezeichnet, welche auch ein entsprechendes Printmedium anbieten. Es gibt auch reine Online-Redaktionen mit entsprechenden Angeboten; meistens werden hierzu Übersichtsseiten mit Schlagzeilen und kurzen Teasern angeboten, welche dann zu den vollständigen Inhalten verlinkt sind. Die Inhalte bestehen aus Texten, Bildern oder auch Videoclips, häufig auch aus einer Kombination davon. Es findet eine direkte Interaktion des Nutzers mit der Website statt.

Online-Nachrichten bezeichnen dem Grunde nach die Nachricht im Sinne der übermittelten Information – hier bereitgestellt über das Internet (online). In der Regel werden darunter Mitschnitte ganzer Nachrichtensendungen, einzelne Clips daraus oder auch Livestreams zu festen Uhrzeiten verstanden. Anbieter sind in der Regel herkömmliche Anbieter des herkömmlichen Fernsehens.

Im Rahmen der Identifikation von konkreten webbasierten Produkten, ist eine Differenzierung zwischen „Online-Zeitungen“ und „Online-Nachrichten“ nicht zielführend, da in

der Praxis fast ausschließlich Statistiken von Quellen vorliegen, die sich vorwiegend auf den Begriff „Online-Nachrichtenportale“ beziehen.

Die folgende Tabelle zeigt das Ergebnis der meistbesuchten Online-Zeitungen oder Online-Nachrichten auf Basis von Alexa und Similarweb. Nur die repräsentativsten Produkte (bild.de, spiegel.de und tagesschau.de) ziehen wir für die webbasierte Messung heran. Hierbei wird T-Online nicht mitberücksichtigt. Da das Ranking in diesen Quellen auf die Häufigkeit des Aufrufs der Website zurückzuführen ist, muss bei der Interpretation bedacht werden, dass das hohe Ranking von T-Online ggf. auch auf andere Faktoren zurückzuführen ist. Ursächlich kann hierfür der hohe Marktanteil von T-Online für den Internetzugang gewertet werden: Ein großer Teil der Aufrufe der T-Online-Startseite ist dadurch bedingt, dass Kunden mit einem Internetzugang bei der Deutschen Telekom die T-Online-Seite unverändert als Startseite in ihren Browser-Einstellungen beibehalten haben oder diese Seite als Zugang zu ihrem E-Mail-Service nutzen. In diesen Fällen ist das Aufrufen der Seite daher auf das Starten des Browsers oder die Nutzung des E-Mail-Service zurückzuführen und weniger auf den aktiven Besuch der Nachrichtenseite von T-Online. Wir haben uns daher dazu entschieden, T-Online trotz des hohen Rankings nicht in unsere webbasierte Messung mit aufzunehmen.⁴⁴

Tabelle 2-2-10: Ranking und Funktionalitätsmerkmale von webbasierten Top-Produkten im Bereich Online-Zeitungen/Online-Nachrichten

Rang	Produktname	Nutzung [#Visits]	Webseite des Produkts	Alexa Rang	Similar Web Rang	Echtzeit	Video	Audio	Bilder	Text	Upload	Werbung	Auswahl des Produkts für webbasierte Messung
1	Bild.de	427 Mio.	www.bild.de	37	8		X	X	X	(X)		X	ja
2	t-online	392 Mio.	www.t-online.de	27	9		X	X	X	X		X	nein
3	der Spiegel	245 Mio.	www.spiegel.de	33	16	(X)	X	X	X	X		X	ja
4	Tagesschau	-	www.tagesschau.de	>100	26	(X)	X	X	X	X		(X)	ja

Quelle: WIK – erstellt auf Basis von Tabelle „Anhang-V Dienste, Unterkategorien, Top-Produkte und Quellen“ im Anhang zu dieser Studie

⁴⁴ Wir sind uns der Schwierigkeit, zwischen beabsichtigter und (unterstellter) unabsichtlicher Nutzung zu unterscheiden, bewusst. Da sich T-Online in Bezug auf die verwendeten Kommunikationsobjekte nicht grundlegend von den anderen Top-Produkten unterscheidet, halten wir unsere Vorgehensweise aber für vertretbar.

Wir konnten ermitteln, dass bei einer Umfrage zum Thema „vertrauenswürdige Nachrichtenquellen“ in 2021 T-Online von über 40% eine Zustimmung erfahren hat. Jedoch zählt T-Online damit nicht zu den Top-10 „vertrauenswürdigen“ Anbietern von Online-Nachrichten.

Statista (2021): Ranking der vertrauenswürdigen Nachrichtenquellen in Deutschland 2021; <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/877238/umfrage/ranking-der-vertrauenswuerdigsten-nachrichtenquellen-in-deutschland/>

2.3.5 Online-Einkauf oder Online-Bestellung von Waren und Dienstleistungen

Online-Shopping ähnelt vom Aufbau her der Nutzung von Suchmaschinen. Nach der Eingabe von Suchbegriffen wird eine Vielzahl von Suchergebnissen angezeigt, welche meistens mit Vorschaubild und kurzem Text auf den Artikel oder die Dienstleistung verlinken. Die Präsentation des Produktes erfolgt dann mittels Text, Bildern und Videoclips.

Bei der Suche nach komplexen Produkten kann statt der Eingabe eines einfachen Suchbegriffs aber auch das Ausfüllen eines Suchformulars notwendig sein, in welchem eine Vielzahl von Spezifikationen zum Produkt erfasst werden können. Ebenfalls kann hier auch der geografische Suchradius eingeschränkt werden. Zu diesem Zweck werden auch Karten angezeigt. Die Interaktion mit der Website hat keine Echtzeiterfordernisse.

Auch digitale Produkte wie Software, E-Books, Lizenzen, Kurse, Vorlagen, Artikel, etc. werden online gekauft. Im Gegensatz zu nicht-digitalen Produkten werden digitale Produkte häufig in Form von herunterladbaren Dateien angeboten. Treiber der Mindestanforderungen ist dabei die Dateigröße; sonstige webbasierte Merkmale sind dabei vernachlässigbar.⁴⁵

Tabelle 2-11: Ranking und Funktionalitätsmerkmale von webbasierten Top-Produkten zum Online-Einkauf und Online-Bestellung

Rang	Produktname	Nutzung	Webseite des Produkts	Alexa Rang	Similar Web Rang	Echtzeit Video	Audio	Bilder	Text	Upload	Werbung	Auswahl des Produkts für webbasierte Messung
Kauf/ Bestellung von Waren oder Dienstleistungen												
1	Amazon	-	www.amazon.de	4	5	(X)		X	X		(X)	ja
2	Ebay	-	www.ebay.de	5	7	(X)		X	X		X	nein
3	Ebay-Kleinanzeige	-	www.ebay-kleinanzeigen.de	9	10			X	X		X	ja
Herunterladen von Software (ohne Spiele)												
1	Windows 10 Update Assistent	-	www.microsoft.com	35	>50			X	X			ja
2	Avast Free Antivirus	-	www.avast.com	>100	>50			X	X			nein
3	Ccleaner	-	www.ccleaner.com	>100	>50			X	X			nein

Quelle: WIK – erstellt auf Basis von Tabelle „Anhang-V Dienste, Unterkategorien, Top-Produkte und Quellen“ im Anhang zu dieser Studie

Die Tabelle 2-11 zeigt die meistgenutzten digitalen und nicht-digitalen Produkte für den Online-Kauf und Bestellungen von Waren oder Dienstleistungen. Zwischen diesen Produkten, die sowohl in alexa.com als auch in similarweb.de zu den Top-10-Produkten gehören, liegen lediglich leichte Unterschiede hinsichtlich der Funktionalitätsmerkmale

⁴⁵ Das „Herunterladen“ von Software fällt auch in diese Kategorie. Wir berücksichtigen diesen Dienst in einer eigenständigen Unterkategorie (siehe Unterkategorie „Herunterladen von Software (ohne Spiele)“ in Tabelle 2-11).

vor. Diese finden sich hauptsächlich in der Darstellung von Werbung⁴⁶ und der Verfügbarkeit von Produktvideos.

2.3.6 Arbeitssuche und Werkzeuge für die Arbeitssuche

Die Arbeitssuche im Internet ähnelt sehr stark der Suche nach komplexen Produkten. Auch hier muss in der Regel ein Suchformular mit einer Vielzahl von Spezifikationen, einschließlich des geografischen Suchradius ausgefüllt werden. Die Suchergebnisse werden dann meistens mit Firmenlogo und kurzem Text und Link auf die eigentliche Stellenausschreibung ausgegeben. Die einzelne Stellenausschreibung kann Text, Bilder und Videoclips enthalten. Weiterhin ist häufig ein Link zum ausschreibenden Unternehmen enthalten.

Soll die Bewerbung auf eine Stelle online erfolgen, so ist damit i.d.R. das Ausfüllen umfangreicher Online-Formulare oder das Hochladen von Dokumenten erforderlich.⁴⁷ In manchen Fällen ist auch die Registrierung im Bewerbungsportal des Unternehmens notwendig.

Neben der spezifischen ad-hoc Suche nach einer Stellenausschreibung gibt es auch die Möglichkeit der Registrierung in einem Portal unter Angabe der Suchpräferenzen. Sobald dann eine den Suchpräferenzen entsprechende Stelle angeboten wird, erfolgt eine Benachrichtigung z.B. per E-Mail. In jedem Fall findet eine direkte Interaktion des Nutzers mit den Online-Inhalten statt.

Tabelle 2-12: Ranking und Funktionalitätsmerkmale von webbasierten Top-Produkten zur Arbeitssuche und entsprechenden Werkzeugen

Rang	Produktname	Job-anzeige [%]	Webseite des Produkts	Alexa Rang	Similar Web Rang	Echtzeit Video	Audio	Bilder	Text	Upload	Werbung	Auswahl des Produkts für webbasierte Messung
1	Arbeitsagentur	42,37%	www.arbeitsagentur.de	>100	>50	(X)		X	X			ja
2	Stepstone	16,47%	www.stepstone.de	>100	>50	(X)		X	X	X		ja
3	Ebay-Kleinanzeige	12,07%	www.ebay-kleinanzeigen.de	9	10			X	X		X	nein

Quelle: WIK – erstellt auf Basis von Tabelle „Anhang-V Dienste, Unterkategorien, Top-Produkte und Quellen“ im Anhang zu dieser Studie

⁴⁶ Bei der Erhebung der Top-Produkte haben wir bei unserer Bestandsaufnahme auch erfasst, ob Werbung auf der jeweiligen Website präsentiert wird. Siehe auch Tabelle 2-5 und Tabelle 2-6.

⁴⁷ Mindestanforderungen, die sich beispielsweise aus dem Hochladen von Bewerbungsdokumenten ergeben, haben wir bei unseren Ausführungen zum Upload aufgegriffen. Siehe hier Tabelle „Dateigrößen und Upload-Dauer bei Produkten der Anhang V-Dienste und einer Upload-Geschwindigkeit von 1,3 Mbps im Anhang der Studie.

2.3.7 Berufliche Vernetzung

Berufliche Vernetzung im Internet stellt eine Sonderform der sozialen Netzwerke dar. Der Fokus liegt auf dem Aufbau und der Pflege von beruflichen Kontakten, aber auch der Darstellung der eigenen Person. Viele Mitglieder dieser Netzwerke stellen persönliche, berufliche Informationen online bereit, wie sie aus Lebensläufen bekannt sind. Hierzu bieten die Portale Online-Formulare an. Meistens erlauben diese Seiten auch das Hochladen von Dokumenten oder Fotos. Die vernetzten Mitglieder werden regelmäßig über Veränderungen informiert, auch ist der Kontakt über persönliche Nachrichten möglich. Weiterhin präsentieren sich in den Netzwerken auch Unternehmen und nutzen das Netzwerk für Stellenausschreibungen oder die Präsentation von Arbeitsergebnissen. Die Interaktion hat hierbei keine Echtzeiterfordernisse.

Tabelle 2-13: Ranking und Funktionalitätsmerkmale von webbasierten Top-Produkten zur beruflichen Vernetzung

Rang	Produktname	Nutzung [%]	Webseite des Produkts	Alexa Rang	Similar Web Rang	Echtzeit Video	Audio	Bilder	Text	Upload	Werbung	Auswahl des Produkts für webbasierte Messung
1	Xing	31,20%	www.xing.com	>100	>50			X	X	X	(X)	ja
2	LinkedIn	23,80%	de.linkedin.com	>100	>50 [49]	(X)		X	X	X	(X)	nein
3	Facebook	12,90%	www.facebook.com	18	3	(X)	(X)	X	X	X	X	nein

Quelle: WIK – erstellt auf Basis von Tabelle „Anhang-V Dienste, Unterkategorien, Top-Produkte und Quellen“ im Anhang zu dieser Studie

Auch hier haben wir die Rankings nach erstmaliger Erfassung zu einem späteren Zeitpunkt nochmals überprüft. So war bspw. „LinkedIn“ bei der ersten Momentaufnahme (Juni 2021) nicht aufgelistet. Einen Monat später (Juli 2021) war demgegenüber „de.linkedin.com“ bei Similarweb unter den Top 50 (auf Platz 49) gelistet.

Zwischen den oben dargestellten Top-Produkten zur beruflichen Vernetzung (xing.com und linkedin.com) sind kaum Unterschiede hinsichtlich der Funktionalitätsmerkmale festzustellen. Nach xing.com und linkedin.com wird auch facebook.com für den Zweck der beruflichen Vernetzung genutzt.

2.3.8 Online-Banking

Anbieter von Online-Banking sind in der Regel Bankinstitute, welche – analog zu den Dienstleistungsangeboten in den Filialen – diese auch über das Internet anbieten. Es gibt aber auch reine Online-Banken, welche gar kein Filialnetz mehr betreiben. Zu den am häufigsten genutzten Angeboten gehören die Dienstleistungen rund um das Bankkonto, wie das Abrufen des aktuellen Kontostandes, Tätigen von Überweisungen und die Beauftragung von Daueraufträgen. Häufig bieten die Kreditinstitute auch Kommunikationsmöglichkeiten zwischen sich und den Kunden ähnlich einer E-Mail oder einem Rückrufservice an. Weiterhin stehen vielfältige Informationsdokumente zum Download

zur Verfügung. Manche Banken bieten auch die Möglichkeit der sicheren Verwahrung von elektronischen Versionen wichtiger Dokumente. Zur Absicherung der Interaktion kommen Sicherheitsmaßnahmen zum Einsatz.⁴⁸ Diese reichen von der Versendung von SMS-TAN bis hin zur Nutzung von speziellen Geräten, welche Strich- oder Farbcodes (Barcodes) vom Bildschirm einlesen und in Verbindung mit einer Bankkarte eine TAN für die Transaktion erzeugen. Auch wird häufig die Möglichkeit angeboten, dass Kunden per E-Mail oder SMS Informationen erhalten.

Die untenstehende Tabelle stellt die größten Banken nach Kundenanzahl in Deutschland dar. Hierbei wird angenommen, dass die Nutzung von Diensten im Bereich Online-Banking mit diesem Ranking korrespondieren.⁴⁹ Der Anteil der Bevölkerung in Deutschland, der das Internet für Online-Banking nutzt, hat sich von 32% im Jahr 2006 auf 65% im Jahr 2020 erhöht.⁵⁰ Für unsere webbasierte Auswertung von Produkten dieser Branche ist eine Registrierung bzw. ein Konto bei den Banken erforderlich. Entsprechend müssen Personen, die die Messung durchgeführt haben, über ein Konto bei diesen Banken verfügen.⁵¹ Aus diesem Grund werden vr.de und deutsche-bank.de für die webbasierten Messung ausgewählt. Diese ausgewählten Produkte weisen einen Funktionsumfang auf, der dem der Top-Produkte zum Online-Banking weitestgehend entspricht.

48 EUROPÄISCHES PARLAMENT UND DER RAT DER EUROPÄISCHEN UNION (2015): RICHTLINIE (EU) 2015/2366 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 25. November 2015 über Zahlungsdienste im Binnenmarkt, zur Änderung der Richtlinien 2002/65/EG, 2009/110/EG und 2013/36/EU und der Verordnung (EU) Nr. 1093/2010 sowie zur Aufhebung der Richtlinie 2007/64/EG. „Laut dieser EU-Richtlinie müssen Kunden bei Kartenzahlungen im Internet ihre Identität ab dem 1. Januar 2021 über mindestens zwei der folgenden Faktoren belegen: Besitz (z.B. Mobiltelefon), Wissen (z.B. Passwort oder PIN) und Inhärenz (z.B. Fingerabdruck oder Gesichtserkennung). Die Eingabe der Kartendaten, des Ablaufdatums und der Prüfziffer ist dann nicht mehr ausreichend. Die Prüfung zweier voneinander unabhängiger Sicherheitsmerkmale macht Bezahlungen im Web oder in Apps sicherer und schützt Verbraucher zusätzlich vor Betrug“ (Schmitz-Engels, 28. Oktober 2020, mastercard.com).

49 PayPal schneidet auf Platz 18 beim Ranking von similarweb.com ab. Allerdings zählt PayPal als online Beahldienstbetreiber, der hauptsächlich beim Dienst „Online-Einkauf oder Bestellung von Waren und Dienstleistungen“ genutzt wird.

50 Statista (2021): Anteil der Nutzer von Online-Banking in Deutschland bis 2020; (<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/533174/umfrage/anteil-der-nutzer-von-online-banking-in-deutschland/>)

51 Notwendig für die Durchführung der Messung war der Online-Zugriff auf ein Konto bei der betreffenden Bank.

Tabelle 2-14: Ranking und Funktionalitätsmerkmale von webbasierten Top-Produkten zum Online-Banking

Rang	Produktname	Nutzung [#Kunden]	Webseite des Produkts	Alexa Rang	Similar Web Rang	Echtzeit	Video	Audio	Bilder	Text	Upload	Werbung	Auswahl des Produkts für webbasierte Messung
1	Sparkasse	32,6 Mio.	www.sparkasse.de	>100	>50								nein
2	Volksbank/ Raiffeisenbank	13,9 Mio.	www.vr.de	>100	>50								ja
3	ING-DiBa	8,8 Mio.	www.ing.de	>100	>50								nein
4	Postbank	7,1 Mio.	www.postbank.de	>100	>50								nein
5	Deutsche Bank	4,8 Mio.	www.deutsche-bank.de	>100	>50								ja

Quelle: WIK – erstellt auf Basis von Tabelle „Anhang-V Dienste, Unterkategorien, Top-Produkte und Quellen“ im Anhang zu dieser Studie

2.3.9 Nutzung elektronischer Behördendienste

Gemäß Leistungskatalog der öffentlichen Verwaltung (LeiKa)⁵² existieren mehr als 8.000 Einträge (Stand: 30.06.2021), welche durch das Onlinezugangsgesetz in 568 „OZG-Leistungen“ zusammengefasst wurden. Diese Dienste sollen bis 2022 elektronisch umgesetzt sein. Die Implementierung erfolgt durch verschiedene Systemhäuser. Die Umsetzung in Bundes-, Landes- aber auch kommunalen Behörden ist höchst unterschiedlich und damit auch der Umfang der bereits verfügbaren digitalen Behördendienste.

Die Nutzung und Akzeptanz von bereits bestehenden staatlichen Digital-Angeboten wird von der Initiative D21 und der TU-München mit der Studie „eGovernment Monitor 2020“ evaluiert. Auf Basis dieser Evaluation haben wir die in Deutschland meistverbreiteten Online-Bürgerdienste identifiziert:⁵³

- Informationssuche zu Zuständigkeit/Öffnungszeiten etc.
- Herunterladen von Formularen zur Vorbereitung/Abwicklung von Behördenvorgängen
- Online-Terminvereinbarung
- Digital-Kommunikation mit der Behörde
- Elektronische Steuererklärung
- Anforderung der Briefwahlunterlagen
- Beantragung staatlicher Unterstützungsleistungen
- Beantragung Kindergeld

Mit einer Nutzungsquote von 84% ist „Informationssuche zu Zuständigkeit/Öffnungszeiten etc.“ der meistverbreitete Online-Bürgerdienst im Bereich elektronischer Behör-

⁵² Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (2021): Lexikon; https://www.onlinezugangsgesetz.de/Webs/OZG/DE/service/glossar/functions/ozg-lexikon.html?cms_lv3=13074124&cms_lv2=12998318 [Letzter Zugriff am 20.07.2021].]

⁵³ eGovernment Monitor (2020). Staatliche Digitalangebote – Nutzung und Akzeptanz in Deutschland, Österreich und der Schweiz, S.16.

dendienste.⁵⁴ Da dieser Bürgerdienst bereits bei den Anhang V-Diensten in der Kategorie (2) „Informationssuche bei Behörden“ berücksichtigt wird, wird hier auf den zweitmeistgenutzten Bürgerdienst abgestellt: „Herunterladen von Formularen zur Vorbereitung/Abwicklung von Behördenvorgängen“ (58%).⁵⁵

Die folgende Tabelle stellt die meistgenutzten Online-Behördendienste nach Angaben der Studie „eGovernment Monitor 2020“ in Deutschland dar. Bedingt durch die relative Ähnlichkeit bei den Funktionalitätsmerkmalen der identifizierten Webseiten,⁵⁶ wird der zweit-meistgenutzte Bürgerdienst „Herunterladen von Formularen zur Vorbereitung/Abwicklung von Behördenvorgänge“ als das repräsentativste Produkt dieser Branche angesehen. Bürgerdienste werden anhand der Webseite der Stadt Köln (www.stadt-koeln.de) zum Zweck der webbasierten Messung konkretisiert.

Tabelle 2-15: Ranking und Funktionalitätsmerkmale von Top-Produkten zur Nutzung elektronischer Behördendienste

Rang	Produktname	Nutzung [%]	Webseite des Produkts	Alexa Rang	Similar Web Rang	Echzeit	Video	Audio	Bilder	Text	Upload	Werbung	Auswahl des Produkts für webbasierte Messung
1	Informationssuche zu Zuständigkeit/ Öffnungszeiten etc.	84%	service.berlin.de	>100	>50				(X)	X			nein
2	Herunterladen von Formularen zur Vorbereitung/ Abwicklung von Behördenvorgänge	58%	www.stadt-koeln.de	>100	>50		(X)	(X)	(X)	X	(X)		ja
3	Online Terminvereinbarung	57%	termine-online.stadt-koeln.de	>100	>50		(X)	(X)	(X)	X	(X)		nein
4	Digital Kommunikation mit der Behörde	46%		>100	>50								nein
5	Elektronische Steuererklärung	45%	www.elster.de	>100	>50					X	(X)		nein
6	Anforderung der Briefwahlunterlagen	33%	www.wahlschein.de	>100	>50								nein
7	Beantragung staatlicher Unterstützungsleistungen	15%	www.arbeitsagentur.de	>100	>50				(X)	X	X		nein
8	Beantragung Kindergeld	10%	www.arbeitsagentur.de	>100	>50				(X)	X	(X)		nein

Quelle: WIK – erstellt auf Basis von Tabelle „Anhang-V Dienste, Unterkategorien, Top-Produkte und Quellen“ im Anhang zu dieser Studie

⁵⁴ eGovernment Monitor (2020). Staatliche Digitalangebote – Nutzung und Akzeptanz in Deutschland, Österreich und der Schweiz, S.16.

⁵⁵ eGovernment Monitor (2020). Staatliche Digitalangebote – Nutzung und Akzeptanz in Deutschland, Österreich und der Schweiz, S.16.

⁵⁶ Bei der Antragstellung zu Transferleistungen, amtlichen Bescheinigungen oder zur Steuererklärung ist vorwiegend das Ausfüllen von Online-Formularen erforderlich.

Es ist davon auszugehen, dass sich durch die mit dem Onlinezugangsgesetz angestrebte Ausweitung digitaler Dienste auch die zukünftige Nutzung von digitalen Behördendiensten ausweiten und ggf. strukturell verändern wird.

2.3.10 Soziale Medien und Sofortnachrichtenübermittlung

Soziale Medien bzw. soziale Netzwerke bieten Nutzern die Möglichkeit, persönliche Informationen, Fotos, Audiodateien und Videos über die Plattform anderen Nutzern zur Verfügung zu stellen. Die Sichtbarkeit kann hierbei auch auf sogenannte „verbundene“ Benutzer begrenzt sein. Es können bereitgestellte Inhalte weitergeleitet und kommentiert werden. Über diese Kommentarfunktion können auch Dialoge geführt werden. Weiterhin bieten viele soziale Medien auch die Möglichkeit einer persönlichen Kommunikation an, ähnlich einer E-Mail. Dabei sind die Anwendungen der sozialen Medien nicht nur für den Download, sondern auch für den Upload von Bedeutung.

Insbesondere die Sofortnachrichtenübermittlungsdienste werden meistens über mobile Endgeräte genutzt. Dies bestätigt die Online-Studie ZDF/ARD (2020) für das Produkt Whatsapp, welches in dieser Kategorie topgelistet ist. Dabei bestätigt die Online-Studie nicht nur die Bedeutung des Produktes an sich, sondern auch die Nutzung außerhalb des privaten Internetzugangs an einem festen Standort.⁵⁷⁻⁵⁸ Da zur Überprüfung der am festen Standort zur Verfügung stehenden Datenübertragungsrate eine kabelgebundene Messung am Router erfolgen muss (also nicht über die WLAN-Schnittstelle), können die über Mobilfunkgeräte genutzten Anwendungen letztlich nicht maßgeblich sein. Deswegen, aber auch vor dem Hintergrund des tendenziell geringen Datenvolumens, welches mit den Sofortnachrichten verbunden ist, haben wir die Nutzung von Whatsapp trotz ihrer weiten Verbreitung nicht in die Auswahl der Dienste zur Konkretisierung der technischen Mindestanforderungen aufgenommen.⁵⁹

⁵⁷ In der Regel ist dies die Nutzung über das Mobilfunknetz. Sie kann aber natürlich auch über Hotspots erfolgen.

⁵⁸ Allein Whatsapp ist für 45% der täglichen Online-Nutzung unterwegs verantwortlich, ZDF/ARD (2020): Online-Study, S. 478. Dabei handelt es sich gemäß den statistischen Quellen um eine „mobile“ Nutzung, die aufgrund dieses Charakters nicht im Fokus dieser Untersuchung liegt.

⁵⁹ Letztlich gehen die Leistungsmerkmale von Whatsapp mit dem Versenden von Textnachrichten, Fotos oder kleineren Videos nicht über die Merkmale des von uns für die Messungen vorgesehenen Produkts Facebook hinaus. Hier ziehen wir den Vergleich zu Facebook, da dieses Produkt unter die selbe Dienstekategorie wie Whatsapp fällt. Natürlich beinhaltet auch der E-Mail-Dienst die hier genannten Merkmale.

Tabelle 2-16: Ranking und Funktionalitätsmerkmale von Top-Produkten im Bereich der sozialen Medien und Sofortnachrichtenübermittlung

Rang	Produktname	Nutzung [%]	Webseite des Produkts	Alexa Rang	Similar Web Rang	Echtzeit	Video	Audio	Bilder	Text	Upload	Werbung	Auswahl des Produkts für webbasierte Messung
1	Youtube	70%	www.youtube.com	2	2	(X)	X			X	X	X	nein
2	Whatsapp	69%	www.whatsapp.com	-	25	X	X	X	X	X	X		nein
3	Facebook	60%	www.facebook.com	18	3	(X)	(X)		X	X	X	X	ja
4	Instagram	46%	www.instagram.com	-	11	(X)	X		X	X	X	X	nein

Quelle: WIK – erstellt auf Basis von Tabelle „Anhang-V Dienste, Unterkategorien, Top-Produkte und Quellen“ im Anhang zu dieser Studie

2.3.11 Anrufe und Videoanrufe

Der Sprachdienst hat im Kontext des Universaldienstes von Telekommunikationsdiensten eine lange Tradition. Der Sprachtelefondienst wurde traditionell über die verbindungsorientiert arbeitenden TDM-Netze (PSTN/ISDN) realisiert. Die Möglichkeit, bidirektionale Echtzeitdienste wie Sprachtelefonie oder Videotelefonie über IP-Netze zu realisieren, war zum Zeitpunkt ihrer Entwicklung nicht im Fokus und hat sich erst Jahre später mit wachsenden verfügbaren Bandbreiten als umsetzbar herausgestellt. Ein wesentlicher Grund, weswegen IP-Netze nicht für die Bereitstellung von Sprach- oder Videotelefonie in Erwägung gezogen wurden, war die Sorge um die Einhaltung der Sprachqualität, wie sie von dem PSTN/ISDN bereitgestellt werden konnte. Erst mit fortgeschrittener technologischer Entwicklung, die ein weitestgehendes Aufrechterhalten der bisherigen Qualitätsstandards erlaubte, haben die etablierten Netzbetreiber eine Integration des Sprachtelefondienstes in das IP-Netz vollzogen. Ein weiterer, ökonomischer Bestimmungsfaktor dieser Entwicklung war jedoch auch, dass zwischenzeitlich zahlreiche Anbieter die kostengünstige Realisierung von Sprachtelefondiensten auf IP-Netzen als lukratives Geschäftsmodell entdeckt hatten. Diese Voice-over-IP-Angebote lösten bei den etablierten Anbietern einen entsprechenden Migrationsdruck aus.

Mit der Migration des Sprachtelefondienstes auf IP-Netze etablierten sich zum einen Angebote mit unterschiedlichsten Qualitätsniveaus, zum anderen wurde die Integration von Telefonie und anderen computerbasierten Anwendungen vorangetrieben (CTI – Computer Telephonie Integration).⁶⁰ Bei unserer Identifikation repräsentativer Produkte für die dem Universaldienst zugerechneten Dienste konnten wir für eine Vielzahl von Produkten feststellen, dass sie die Funktionalitäten für Anrufe und Videoanrufe auf ihren Webseiten integrieren. Losgelöst davon gibt es zahlreiche eigenständige Produktangebote für Telefonie und Videotelefonie.

Die auf dem Markt angebotenen Lösungen haben einen teils unterschiedlichen Fokus. Die Unterschiede rühren häufig aus der Historie der Produkte, welche ursprünglich für

⁶⁰ Bereits im ISDN wurden CTI-Anwendungen entwickelt.

spezielle Zwecke entwickelt wurden und dann im Laufe von deren Evolution ein immer weiter gefasstes Funktionsspektrum erhalten haben. Heute besitzen die meisten Anwendungen einen ähnlichen Funktionsumfang und die Unterschiede sind nur noch in Details erkennbar. Wesentlicher Unterschied ist hierbei, dass einige Anwendungen die Funktion bieten, gezielt eine Kommunikation aufzubauen, während andere zunächst einer Abstimmung bzw. Einladung bedürfen. Die Ursprünge der Anwendungen liegen entweder direkt in einer Audio- oder Video-Kommunikation oder aber in Messenger- oder Chat-Diensten, Fernwartungs-Tools oder auch Online-Kollaborations-Werkzeugen. Einige der Anwendungen wurden zunächst für mobile Endgeräte entwickelt und sind heute für mannigfaltige Systeme verfügbar, andere haben ihren Anfang im PC-Umfeld. Im Angebot sind heute kostenfreie Lösungen, meist für den Privatgebrauch, und auch kostenpflichtige Lösungen mit einem Geschäftskundenfokus zu beobachten – dann häufig mit erweitertem Funktionsumfang auch mit Blick auf die Anzahl möglicher Gesprächsteilnehmer.

Aus technischer Perspektive sind der Echtzeitcharakter und das Merkmal symmetrischer Datenübertragungsanforderungen von Bedeutung. Die Echtzeitanforderung setzt insbesondere der tolerierten Verzögerung der Datenpakete Grenzen. Da IP-Netze – im Unterschied zur klassischen, leitungsvermittelnden Telefonie – als Warteschlangen- und weniger als Verlust-Systeme zu charakterisieren sind, kann eine zu hohe Verzögerung den Kommunikationsfluss nachhaltig beeinträchtigen und das Gespräch kann abbrechen.

In der nachfolgenden Tabelle 2-17 sind Produkte für Anrufe und Videoanrufe gelistet, die sich im Internet neben dem klassischen Sprachtelefondienst der Anschlussnetzbetreiber etabliert haben.

Tabelle 2-17: Ranking und Funktionalitätsmerkmale von Top-Produkten im Bereich der Anrufe und Videoanrufe

Rang	Produktname	Nutzung [%]	Webseite des Produkts	Alexa Rang	Similar Web Rang	Echtzeit	Video	Audio	Bilder	Text	Upload	Werbung	Auswahl des Produkts für webbasierte Messung
1	Whatsapp	-	www.whatsapp.com	-	25								nein
2	Skype	-	www.skype.com	>100	>50								nein
3	Facetime	-	-	-	-								nein

Quelle: WIK – erstellt auf Basis von Tabelle „Anhang-V Dienste, Unterkategorien, Top-Produkte und Quellen“ im Anhang zu dieser Studie

2.4 Teleheimarbeit und VPN – Anwendungen und repräsentative Produkte

Die Teleheimarbeit ist eine Form der Heimarbeit, da hier die überwiegende Arbeitsleistung durch Nutzung von Telekommunikationsdiensten unterstützt wird. Grundsätzlich existieren keine speziellen Dienste, die ausschließlich für die Durchführung von Teleheimarbeit geeignet wären. Vielmehr fasst der Oberbegriff der Teleheimarbeit eine Vielzahl von Online-Diensten zusammen, welche eben dafür genutzt werden können. Charakteristisch ist jedoch, dass der Umfang der Dienste-Nutzung stark von der betreffenden Berufsgruppe abhängt.

Umgangssprachlich wird die Teleheimarbeit auch „Homeoffice“ genannt. Die Teleheimarbeit umfasst gemäß Arbeitsstättenverordnung die teilweise oder vollständige Erbringung der Arbeitsleistung im Privatbereich eines Arbeitnehmers, wobei die Telearbeitsplätze durch den Arbeitgeber hinsichtlich Mobiliar und Kommunikationseinrichtungen auch im Hinblick auf die Arbeitsplatz- und Sicherheitsvorschriften auszustatten sind.

In Abgrenzung hierzu ist sogenanntes „mobiles Arbeiten“ zu verstehen. Hierbei kann die Erbringung der Arbeitsleistung an wechselnden Orten stattfinden. Dies kann im Privatbereich des Arbeitnehmers sein, aber auch z.B. in den Räumlichkeiten von Kunden. Die hierfür typischen Berufsgruppen sind z.B. Handelsvertreter oder Kundenbetreuer im Außendienst. Eine Ausstattung des Arbeitsplatzes durch den Arbeitgeber ist hier nicht charakterisierend. Das TKG-2021 stellt begrifflich auf Teleheimarbeit ab.

Als relevante Nutzungsformen finden die nachfolgenden Eingang in diese Untersuchung:

- Nutzung von VPN-Diensten
- E-Mail, Telefonie, Videotelefonie
- Datenaustausch
- Nutzung von cloudbasierten Diensten
- Nutzung von Remote-Desktop Anwendungen
- Nutzung von Videokonferenz-Systemen

Es ist zu erwarten, dass Teleheimarbeitsanwendungen nicht nur im Down-, sondern auch im Upload relevante Anforderungen an die Datenübertragungsrate stellen.

2.4.1 VPN (Virtuelles Privates Netzwerk)

Die Berücksichtigung von VPN im Rahmen der Teleheimarbeit ergibt sich aus den gesetzlichen Vorgaben. Dazu wurde im Rahmen der Gesetzesbegründung auf die Empfehlungen des Bundesamtes für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) in Bezug auf die Sicherheitsanforderungen eines Teleheimarbeitsplatzes und des Einsatzes von VPN verwiesen:⁶¹

„Laut Empfehlung des Bundesamtes für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) vom 18. März 2020 muss Telearbeitern ein sicherer Fernzugriff zum Beispiel im üblichen Umfang über kryptografisch abgesicherte Virtual Private Networks (VPN) auf das Netz der jeweiligen Institution ermöglicht werden. Ansonsten können Informationen abgehört oder manipuliert werden. Der gesamte Datenfluss der mobilen Arbeitsplätze sollte ausschließlich über das VPN in das Netz der Institution geleitet werden, um die dortigen Sicherheitsstrukturen zu nutzen; dies betrifft insbesondere die durch Webbrowser erzeugten Datenströme. Ein Umgehen der VPN-Verbindung sollte unbedingt unterbunden werden, um eine risikoreiche direkte Kopplung des internen Netzes mit dem Internet zu verhindern. Im Hinblick auf die technischen Leistungsmerkmale des individuell zu betrachtenden Anschlusses ist es demzufolge zur wirtschaftlichen Teilhabe im Sinne des Artikel 84 Richtlinie (EU) 2018/1972 notwendig, dass die Teleheimarbeitsplatzanwendungen (wie bspw. Datenzugriff oder Telefon- und Videokonferenzen) auch unter Einsatz von Verschlüsselungstechniken (VPN) im üblichen Umfang realisiert werden können.“

Bei einem VPN zwischen einem Teleheimarbeitsplatz (VPN-Partner) und einem Unternehmen (VPN Gateway) werden die zu transportierenden Daten in einem Tunnel durch das Internet transportiert und so wird die Verbindung zweier physischer Netze virtuell (als Netz im Netz) hergestellt. Hierbei ist der Tunnel dergestalt, dass die Nutzdaten paketweise verschlüsselt und in einen zusätzlichen Header verpackt werden. Diese zusätzlichen Header⁶² verursachen dann eine Vergrößerung der zu transportierenden Brutto-Datenmenge. Dieser Overhead an Daten beträgt etwa 80 Byte (sog. VPN Overhead) und ist somit unabhängig von der Paketgröße. Dies hat zur Folge, dass der Overhead bei kleinen Datenpaketen einen Großteil der Datenmenge ausmacht, bei großen Datenpaketen jedoch nur einen kleinen.⁶³ Diese Zusammenhänge verdeutlichen, dass bei Datenübertragungen mittels VPN mehr Bandbreite benötigt wird im Vergleich zur Übertragung der gleichen Datenmenge ohne VPN-Technik in der gleichen Zeit.

⁶¹ Deutscher Bundestag, Drucksache 19/28865 S. 466: Beschlussempfehlung und Bericht des Ausschusses für Wirtschaft und Energie (9. Ausschuss), 21.04.2021.

⁶² Insys icom (2021): Virtual Private Network (VPN) Betrachtung von Overhead und Datenvolumen <https://256.insys-icom.de/VPN-Overhead>

⁶³ Im Fall eines sehr kleinen Pakets von 41 Byte entspricht das einem VPN-Overhead von rund 200%. Da bei IPv4 IP- und TCP-Header zusammen mindestens 40 Bytes ausmachen, kommt bei derart geringer Nutzlast (1 Byte) der maximale Aufschlag zum Tragen. Bei IPv6 machen die Header zusammen etwa 60 Bytes aus. https://de.wikipedia.org/wiki/Maximum_Segment_Size. Bei einer IP-Paketgröße von 160 Byte entspricht das einem VPN-Overhead von 50%. Die maximale IP-Paketgröße für die Anwendung von Verschlüsselungsverfahren beträgt 1.328 Bytes, was mit einem Aufschlag von etwa 6% korrespondiert. Die maximale Größe des IP-Pakets beläuft sich normalerweise auf maximal 1500 Bytes. Für die Anwendung von sicheren Verschlüsselungsverfahren gibt es jedoch abweichende Größen. Die maximale Größe beläuft sich bei IPsec-VPN auf lediglich 1328 Bytes.

Computerweekly (2020): So berechnen Sie die benötigte VPN-Bandbreite richtig; <https://www.computerweekly.com/de/tipp/So-berechnen-Sie-die-benotigte-VPN-Bandbreite-richtig>.

Für eine Quantifizierung des VPN-Aufschlags für die verschiedenen Dienste der Teleheimarbeit erachten wir eine differenzierte Herangehensweise, die sich an den typischen IP-Paketgrößen der von uns betrachteten Teleheimarbeitsdienste orientiert, als sinnvoll. Als Entscheidungskriterium wenden wir die den jeweiligen Diensten zu Grunde liegenden typischen Paketgrößen an.

Im Fall der Sprachtelefonie gehen wir für die Ableitung des VPN-Aufschlags von einer Sprachqualität unter Anwendung des Codec ITU G.711 aus, welcher der Standardqualität der Telefonie des PSTN/ISDN entspricht. Die zugehörige IP-Paketgröße beläuft sich in diesem Fall auf 188 Byte.⁶⁴ Unter Berücksichtigung dieser Paketgröße ergibt sich rechnerisch zwar ein Aufschlag von unter 50%, aufgrund der Verfügbarkeit verschiedener Codices und Komprimierungsverfahren erachten wir jedoch den auf 50% aufgerundeten Aufschlag für angemessen.⁶⁵

Bei allen weiteren in dieser Studie betrachteten Diensten sprechen wir uns für einen Aufschlag in Höhe von 6% aus. Diese Vorgehensweise leitet sich daraus ab, dass bei den betrachteten Diensten nennenswert hohe Datenvolumina übertragen werden, die mit einer maximalen oder nahezu maximalen IP-Paketgröße einhergehen.⁶⁶

Die von uns angesetzten VPN-Aufschläge sind in der Tabelle 2-18 dokumentiert.

⁶⁴ Die 188 Bytes setzen sich aus der Payload (Nutzlast) des Pakets in Höhe von 160 Bytes plus IP/UDP Header in Höhe von 28 Bytes zusammen. Das IP/UDP kommt bei Echtzeitdiensten anstelle des TCP zur Anwendung.

⁶⁵ Hier ist anzumerken, dass aufgrund der geringen Anforderung an die Datenübertragungsrate von Sprache ggf. bestehende Rundungsungenauigkeiten bei der Ableitung der technischen Mindestanforderungen in Bezug auf die Datenübertragungsrate nicht ins Gewicht fallen.

⁶⁶ Bei Diensten, die auf TCP als Transportprotokoll setzen, segmentiert der TCP-Stack nach der Anwendung die einzelnen Pakete durch eine geeignete MSS (Maximum Segment Size) und einen entsprechenden Timeout; hierdurch wird eine möglichst maximale Segmentgröße einzelner IP Pakete unterstützt. Damit einher geht eine Minimierung des Overhead im Falle einer VPN-Verbindung. Hier-von abweichende Konstellationen können auftreten, sollten aber in Hinblick auf die typischen Nutzung (z.B. keine explizite Betrachtung von Telnet und SSH) vernachlässigt werden. Dies gilt ebenso für Dienste bei denen i.a.R. die Maximum Transmission Unit (MTU, maximale Größe des Pakets) bei einem Datagramm überschritten wird. Auch in diesem Fall reduziert sich der Overhead durch eine normalerweise gute Segmentgröße entsprechend. Dies gilt z.B. bei Diensten mit einer Desktopübertragung (z.B. RDP - Remote Desktop Protocol).

Tabelle 2-18: VPN-Erfordernisse von Anwendungen der Teleheimarbeit

Dienste der Teleheimarbeit	VPN-Aufschlag
E-Mail (beruflich veranlasst)	6%
Telefonie	50%
Videoanrufe	6%
Datenaustausch (z.B. Zugriff auf Serverlaufwerk oder Drucker)	6%
Cloudbasierte Dienste	6%
Remote-Desktop Anwendungen	6%
Videokonferenz-Systeme (z.B. WebEx, Teamviewer)	6%

Quelle: WIK

Mit dieser Herangehensweise, sämtliche Dienste der Kategorie Teleheimarbeit mit einem Aufschlag für das VPN-Tunnel zu versehen, folgen wir der Empfehlung des BSI.⁶⁷

2.4.2 E-Mail, Telefonie, Videotelefonie

Die Dienste E-Mail, Telefonie und Videotelefonie sind wesentlich für die Erbringung der Arbeitsleistung im Rahmen der Teleheimarbeit. Sie sind weitestgehend identisch mit den bereits in Anhang V definierten Diensten, es besteht jedoch der Unterschied, dass diese Kommunikationsformen, insbesondere E-Mail und Telefonie, auch über eine abgesicherte VPN-Verbindung in der Regel über die Unternehmensserver abgewickelt werden. Ob sich beruflich veranlasste E-Mail-Kommunikation von privat veranlasster nennenswert unterscheidet, können wir auf Basis der bestehenden Datenverfügbarkeit nicht beantworten. Uns stehen lediglich die Ergebnisse unserer Befragung zur Verfügung, die die Kategorien „mit“ und „ohne“ Attachment unterscheiden. Für die beruflich veranlasste E-Mail wenden wir ergänzend den VPN-Aufschlag in Höhe von 6% an.

⁶⁷ In § 157 (3) Satz 3 wird auf „Verschlüsselungsverfahren **im üblichen Umfang**“ [Hervorhebung der Verfasser] abgestellt. Dazu ist anzumerken, dass nicht alle Verbindungen vom Teleheimarbeitsplatz automatisch auch über das VPN laufen. Die Entscheidung darüber, ob tatsächlich sämtliche Anwendungen über das unternehmensinterne Netz und die zugehörige Firewall geroutet werden müssen, obliegt der Unternehmenspolitik. Prinzipiell können Unternehmen auf eine solche „Sicherheits-Policy“ verzichten, sofern sie entsprechende Firewall-Installationen auch direkt auf den Rechner der Teleheimarbeiter installieren. In solchen Fällen bietet die Nutzung des VPN beispielsweise für den Web-Zugriff keine weitere Absicherung. Liegen derartige Konstellationen vor, kann der Einsatz des VPN auf Anwendungen beschränkt werden, die eine Verbindung zwischen dem Teleheimarbeitsplatz-Rechner und einem hinter der Firewall des Unternehmens gelegenen Unternehmensserver (oder z.B. auch Drucker) benötigen.

2.4.3 Datenaustausch

Der beruflich veranlasste Austausch von Dateien erfolgt in der Regel direkt über eine VPN-Verbindung, kann aber auch über E-Mail (inzwischen eher selten über FTP, file transfer protocol) oder mit Hilfe einer Cloud erfolgen. Maßgeblich für den Bandbreitenbedarf ist hierbei die Größe der zu übertragenden Dateien. Neben Dateiformaten für unternehmensspezifische Anwendungen stehen sicherlich Dateien der verschiedenen Office-Produkte (Word, Excel, PowerPoint) im Vordergrund. Der Datenaustausch erfolgt hier bidirektional, ist also für den Down- und auch den Upload von Relevanz.

2.4.4 Cloudbasierte Dienste

Unter einer Cloud-Anwendung versteht man ein Programm, auf welches ein Nutzer über das Internet zugreift und welches überwiegend auf einem Server oder verteilten Servern im Internet ausgeführt wird. Dabei ist die Lage der Server nicht immer bekannt. In der Regel wird eine Cloud-Anwendung im Browser des Nutzers angezeigt. Typische Cloud Anwendungen (SaaS)⁶⁸ sind E-Mail, Office-Programme (z.B. Microsoft Office 365, heute Microsoft-Online, oder Google-Tabellen, -Docs oder -Präsentationen), Datenbanksysteme, CRM-Software und Arbeitszeiterfassung. Die Anwendung werden meistens im Browser (oder in einem spezifischen Client) ausgeführt. Dennoch laufen Skripte oder Teile der Anwendung auch auf dem lokalen Computer; die notwendigen Daten (z.B. Skripte) müssen vom Server auf den lokalen Rechner übertragen werden. Hierzu ist stets eine Internetverbindung erforderlich, damit die Applikation im Browser ausgeführt werden kann. Es ist jedoch zu beachten, dass die Cloud-Anwendungen (z.B. Microsoft-Online) einen teilweise deutlich reduzierten Funktionsumfang im Vergleich zu den lokal installierten Applikationen bieten.

2.4.5 Remote Desktop Anwendungen

Unter einer Remote Desktop Anwendung versteht man ein Programm, welches eine Verbindung über ein Netzwerk (LAN oder WAN) zu einem entfernten Desktop-Computer aufbaut und dessen Anzeige lokal wiedergibt. Bei dem entfernten Computer kann es sich hierbei sowohl um einen physikalischen als auch einen virtuellen Rechner handeln. Der Nutzer des lokalen Rechners erhält Zugriff auf den gesamten entfernten Rechner, inklusive der dort installierten Programme, dessen Rechenleistung, Festplattenlaufwerke und auch Zugriff auf dessen Netzwerkressourcen. Die auf dem entfernten Rechner ausgeführten Programme laufen ausschließlich auf dem entfernten Rechner; es werden lediglich die „Video“-Anzeige (manchmal auch Audio-Ereignisse) des entfernten Rechners zum lokalen Rechner und die Tastatur-/Maus-Eingaben vom lokalen

⁶⁸ Software as a Service.

Rechner zum entfernten Rechner übertragen. Für den Anwender ergibt sich die Nutzererfahrung, als würde direkt an dem entfernten Rechner gearbeitet.⁶⁹

2.4.6 Videokonferenzsysteme

Für Videokonferenzdienste gelten vielfach dieselben Feststellungen wie bereits für Telefonie und Videotelefonie. Die Bandbreitenerfordernisse bei Videokonferenzsystemen sind maßgeblich abhängig von der in beide Richtungen übertragenen Bildqualität und Veränderungsrate der Inhalte. Bei Videokonferenzen kommt darüber hinaus der Kollaboration der Kommunikationspartner eine nennenswerte Bedeutung zu. Neben Audio- und Video-Signalen werden auch Präsentationen, Dokumente oder Bildschirminhalte geteilt. Zum Teil beinhalten die Anwendungen auch Optionen für den Datenaustausch. Die Realisierung solcher Anwendungen gehen mit Echtzeit- und Symmetrieanforderungen in der Datenverbindung einher, die wichtigsten Dienste sind in Abbildung 2-4 dargestellt.

Abbildung 2-4: Ranking und Funktionalitätsmerkmale von Top-Produkten im Bereich der „Videokonferenzen“

Rang	Produktname	Nutzung [%]	Webseite des Produkts	Alexa Rang	Similar Web Rang	Echtzeit	Video	Audio	Bilder	Text	Upload	Werbung	Auswahl des Produkts für webbasierte Messung
1	Zoom	-	zoom.us	30	41								nein
2	Skype	-	www.skype.com	>100	>50								nein
3	Microsoft Teams	-	www.microsoft.com	35	>50								nein

Quelle: WIK – erstellt auf Basis von Tabelle „Teleheimarbeit, Unterkategorien, Top-Produkte und Quellen“ im Anhang zu dieser Studie

⁶⁹ Microsoft (2021): Bandbreitenanforderungen des Remotedesktopprotokolls
<https://docs.microsoft.com/de-de/azure/virtual-desktop/rdp-bandwidth>

2.5 Online-Inhaltedienste – Anwendungen und repräsentative Produkte

Ein Online-Inhaltsdienst ist eine über das Internet angebotene Dienstleistung, die meist über eine Webanwendung realisiert wird. Dafür stellt der Anbieter des Onlinedienstes eine serverseitige Infrastruktur zur Verfügung. Viele Inhalte können neben der Nutzung eines Webbrowsers auch über Apps oder Software ausgegeben werden. Für die Online-Inhaltedienste im Sinne des § 157 (3) TKG-2021 stellen wir auf die Streamingdienste ab.

2.5.1 Online-Streaming

Online-Streaming bezeichnet die Übertragung von Video- und/oder Audiodaten über ein Rechnernetz. Die Datenübertragung selbst nennt man Streaming, übertragene Medien werden als Stream bezeichnet. Im Gegensatz zum klassischen Downloaden von Inhalten ist das Ziel beim Streaming, die Datenübertragung auf den aktuell nötigen Ausschnitt des Videos zu begrenzen. Somit können Videos bereits während des Ladens betrachtet werden. Bei einem vorzeitigen Abbruch des Streams reduziert sich die geladene Datenmenge zum Teil erheblich im Vergleich zu einem Download. Die Medien werden nach der Betrachtung typischerweise unmittelbar verworfen. Trotzdem bieten einige Streamingplattformen heutzutage auch die Möglichkeit an, Video- und Audioinhalte zu downloaden, um somit offline darauf zugreifen zu können.

Das Streamen von Medieninhalten gibt es bereits seit mehreren Jahrzehnten, allerdings war gerade am Anfang (in den 1980er-Jahren) durch teure Technik und beschränkte Computerhardware eine Nutzung für die breite Masse undenkbar.⁷⁰ Durch die technischen Fortschritte und die größer werdenden verfügbaren Datenraten Ende der 1990er-Jahre wurde auch der Zugang zum Internet bedeutender. Durch die Kommerzialisierung des Internets wurde Streaming im Internet auch für den normalen Nutzer zunehmend ermöglicht. Heute ist Online-Streaming eine der populärsten Internet-Anwendungen und ist für 80% der Zunahme des globalen Datenverkehrs verantwortlich.⁷¹

Online-Streaming löst zunehmend den klassischen Rundfunk ab. Während Rundfunk-Dienste wie lineares Fernsehen an eine unbestimmte Anzahl von Empfängern zugleich gesendet werden, handelt es sich beim Streaming um eine individuelle Direkt-Verbindung zwischen dem Server des Senders und dem Client des jeweiligen Benut-

⁷⁰ Ausnahme und ein typisches Beispiel für ein spezielles Streaming Netz ist das TV-Kabelnetz, bei dem die TV-Signale über einen Broadcast allen angeschlossenen Nutzern zur Verfügung gestellt wurde. Mit der Nachfrage nach Internet wurde das Netz mit DOCSIS zu Kommunikation in beide Richtungen erweitert.

⁷¹ Neue Zürcher Zeitung (2019): Streaming ist das neue Fliegen – wie der digitale Konsum das Klima belastet (2019), <https://www.nzz.ch/wirtschaft/streaming-ist-das-neue-fliegen-wie-der-digitale-konsum-das-klima-schaedigt-ld.1474563>

zers. Daher ist die Nutzung von Streaminginhalten nicht an eine Sendezeit gebunden, sondern löst individuelle Datenströme aus.

Eine Sonderform ist das Livestreaming, bei dem es sich im Gegensatz zum Streaming-on-Demand um eine Echtzeitübertragung handelt. Interaktive Livestreams werden als Webcasts bezeichnet; bei Lehrveranstaltungen spricht man von Online-Seminaren. Ein Livestream ermöglicht das Pausieren, Zurückspulen und Vorspulen bis zur aktuellen Liveposition; außerdem lassen sich die meisten Live-Streams auch noch im Nachhinein als Stream auf den jeweiligen Plattformen abspielen.

Ein weiteres Merkmal ist die Option, die Videoqualität automatisch (adaptiv Streaming) oder manuell verändern zu können und somit auf die verfügbare Datenübertragungsrates anzupassen. Aspekte der Qualitätsdifferenzierung sind daher auch im Bereich Online-Inhaltendienste relevant, auch wenn nicht jeder Dienst diese Option bietet.

Der Unterschied von Streamingdiensten zu linearem TV manifestiert sich vor allem in der Art des Programmwechsels, oft auch Zapping genannt, der je nach Implementierung mehrere Sekunden brauchen kann. Bei Streaming ist der Programmwechsel nicht so üblich, würde aber auch verhältnismäßig lange dauern.⁷²

2.5.2 Prominente Angebote von Videostreaming

Die Zahl der Streaming Anbieter und Plattformen ist mittlerweile sehr umfangreich. Die populärsten⁷³ Videostreamingdienste sind derzeit

- YouTube
- Netflix
- Prime Video (Amazon)

Netflix und Prime Video sind klassische Video-On-Demand-Anwendungen, die es dem Nutzer ermöglichen, Spielfilme und Serien in verschiedenen Qualitätsstufen zu streamen und sogar für die Offline-Nutzung zu speichern. In den letzten Jahren kommen immer mehr Anbieter dieser Art hinzu. Der Anbieter mit dem größten Marktanteil von Video-on-Demand-Anwendungen ist mit 33% derzeit Netflix. Alle Video-on-Demand-Plattformen bieten ihre Video-Inhalte in verschiedenen Qualitätsstufen an.

⁷² Auch Streamingdienste sind vom Zapping berührt. Die mittlere Verweildauer bei YouTube beträgt z.B. 40 Minuten (Brandwatch (2020): 57 interessante Zahlen und Statistiken rund um YouTube; <https://www.brandwatch.com/de/blog/statistiken-youtube/>). Auch werden zum größten Teil Musikvideos mit einer Dauer von wenigen Minuten abgerufen. Somit findet entweder während des Abrufs oder unmittelbar danach ein Wechsel (Zapping) auf ein neues Video statt. Hauptunterschied der beiden Ausprägungen ist sicherlich die unterschiedliche Video-Qualität bei gleicher Ziel-Bitrate.

⁷³ Laut der Online Studie ARD/ZDF (2020) sind die meistgenutzten Videostream-Dienste (nach wöchentlicher bzw. monatlicher Nutzung) YouTube (55%), Netflix (33%), Prime Video (26%).

YouTube unterscheidet sich insofern von diesen klassischen Anwendungen, als dass nicht nur das Schauen von Videoinhalten möglich ist, sondern auch das Hochladen eigener Videos, die wiederum anderen Nutzern zur Verfügung stehen. Man spricht daher von einem Videoportal. Die Auswahl der Qualität, in der die Videos abgespielt werden, wird automatisch vorgenommen (adaptives Streaming),⁷⁴ kann aber auch frei gewählt werden. Die maximal mögliche Qualität (Auflösung) wird aber durch die Ursprungsqualität des hochgeladenen Videos begrenzt.⁷⁵

2.5.3 Prominente Angebote Audio-Streaming

Auch im Bereich des Audio-Streamings gibt es zahlreiche Anbieter; zu den wichtigsten gehören:⁷⁶

- Spotify
- YouTube Music
- Amazon Music Unlimited

Alle Anbieter ermöglichen per Onlineplayer oder App (Computer, Smartphone, Smart-TV) das Streamen von Musikstücken, Podcasts oder Hörbüchern. Spotify ist mit 23% der meistgenutzte Musik-Streamingdienst und bietet im Gegensatz zur Konkurrenz ein kostenloses Abonnement mit Werbung an.⁷⁷ YouTube Music bietet durch die Anbindung an YouTube eine große Auswahl an Songtexten und Musikvideos. Mit einer Anzahl von über 70 Millionen Songtiteln ist Amazon Prime Music am umfangreichsten, Spotify beinhaltet ca. 60 Millionen Titel, YouTube Music rund 40 Millionen.⁷⁸ Alle Plattformen ermöglichen das Streamen in unterschiedlichen Qualitätsstufen und beinhalten eine automatische Erkennung, die die Audioqualität je nach verfügbarer Bandbreite reguliert.

⁷⁴ Die automatische Einstellung der Qualität richtet sich dabei nach der auf dem Kommunikationskanal verfügbaren Kapazität.

⁷⁵ Zu den weiteren, übertragungsbezogenen Qualitätsparametern wie Latenzen, Jitter und Paketverlust siehe Abschnitt 3.1.

⁷⁶ Laut der ARD/ZDF (2020): Online Studie sind die meistgenutzten Musik-Streamingdienste (nach wöchentliche bzw. monatliche Nutzung) Spotify (23%), YouTube Music (12%); Amazon Music (11%).

⁷⁷ ARD/ZDF Online Studie (2020), https://www.ard-zdf-onlinestudie.de/files/2020/2020-10-12_Onlinestudie2020_Publikationscharts.pdf

⁷⁸ Techbook (2021) 6, große Musik-Streamingdienste im Vergleich, <https://www.techbook.de/entertainment/streaming/musik-Streamingdienste-vergleich>

2.6 Sonstige Dienste mit zunehmender Relevanz

In diesem Abschnitt beschreiben wir Dienste, die gegenwärtig nicht im Kanon der Universaldienste im Sinne der sozialen Teilhabe gelten, jedoch aus verschiedenen Aspekten, u.a. auch jüngster Gesetzesentwicklungen, eine zunehmende Bedeutung erwarten lassen. Bereits zu Beginn der Studie haben wir unsere Motivation ausgeführt (Abschnitt 2.2.1), dass Dienste, die aufgrund ihrer zwischenzeitlichen Verbreitung oder der in absehbarer Zukunft erwarteten Bedeutung aus Vollständigkeitsgründen dargestellt werden sollen, um das Bild der Dienstenutzung möglichst vollständig zu beschreiben.

Zum Teil stehen die nachfolgenden Dienste aktuell noch nicht im vollen Umfang zur Verfügung (laufendes Projekt), zum Teil werden sie aktuell aufgrund des frühen Stadiums oder bisheriger Nutzungsförderung nur begrenzt in Anspruch genommen.

2.6.1 Gesundheitsdienste

Gemäß dem Gesetz für sichere digitale Kommunikation und Anwendungen im Gesundheitswesen (E-Health-Gesetz) vom 21. Dezember 2015 sollen die Chancen der Digitalisierung für die Gesundheitsversorgung genutzt und eine schnelle Einführung medizinischer Anwendungen für die Patientinnen und Patienten ermöglicht werden. Darunter werden telemedizinische Leistungen wie Online-Videosprechstunden oder telekonsiliarische Befundbeurteilungen von Röntgenaufnahmen berücksichtigt.⁷⁹

Ferner stellten die gesetzlichen Krankenkassen ab dem 1. Januar 2021 ihren Versicherten die elektronische Patientenakte (ePA) zur Verfügung. Die elektronische Patientenakte ist eine digitale Anwendung, in die die Versicherten selbst Gesundheitsinformationen ablegen und Dokumente von ihren Ärzten einstellen lassen können. Somit werden alle wichtigen Informationen rund um die eigene Gesundheit gesichert und papierlos gebündelt.⁸⁰ Ziel ist es, „eine sichere, nutzerfreundliche und barrierefreie digitale Kommunikation zwischen Behandelnden und Patientinnen und Patienten zu ermöglichen und hierdurch Abläufe im Behandlungsalltag zu vereinfachen“.⁸¹ Ab dem Jahr 2022 soll auch der Impfausweis, der Mutterpass, das gelbe Untersuchungsheft für Kinder und das Zahnbonusheft in der elektronischen Patientenakte gespeichert werden können. Ab dem 1. Januar 2023 soll dann auch die Pflege in der ePA dokumentiert werden können; gleiches gilt für sonstige, von Gesundheitsdienstleistern bereitgestellte Daten.

⁷⁹ Bundesgesundheitsministerium (2021): Begriffe von A bis Z E-Health-Gesetz: <https://www.bundesgesundheitsministerium.de/service/begriffe-von-a-z/e/e-health-gesetz.html> [letzter Zugriff 20.07.2021].

⁸⁰ Verbraucherzentrale (2021): Elektronische Patientenakte (ePA) gestartet; <https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/gesundheits-pflege/krankenversicherung/elektronische-patientenakte-epa-in-die-testphase-gestartet-57223>, letzter Zugriff: 20.07.2021].

⁸¹ Bundesregierung (2021): Digitalisierung im Gesundheitswesen voranbringen; <https://www.bundesregierung.de/breg-de/suche/patientendaten-schutz-gesetz-1738402>, letzter Zugriff 20.07.2021.

Die diesen digitalen Gesundheitsdiensten zu Grunde liegenden Anwendungen, wie Videotelefonie oder Datenaustausch, sind gewissermaßen implizit bereits durch die Anhang V-Dienste oder als Bestandteil der Teleheimarbeit bzgl. des Typs der Anwendung abgedeckt.

2.6.2 Digitale Bildungsplattform

Durch die „Initiative Digitale Bildung“ vom 22.02.2021⁸² sieht die neue Förderrichtlinie des BMBF vor, eine nationale Bildungsplattform als Metaplattform zu gestalten, um einen individuell und übergreifend nutzbaren digitalen Zugang zu innovativen Lehr- und Lernformaten zu schaffen. Ziel dieser Förderrichtlinie ist es, allen Menschen, die sich unter Nutzung digitaler Werkzeuge und Angebote weiterbilden wollen, sicheren Zugang zu qualitativ hochwertigen Angeboten zu ermöglichen. Dieser **digitale Bildungsraum** soll selbstgesteuertes und flexibles Lernen ermöglichen. Lernende sollen ihre Daten selbstbestimmt verwalten, über ihre Nutzung entscheiden und Daten und Leistungsnachweise digital sicher hinterlegen und in wechselnden Lern- und Lehrkontexten darauf zugreifen können.⁸³

Im Unterschied zu in Abschnitt 2.3.3 aufgeführten Online-Anwendungen zur Aus- und Weiterbildung, verfolgt die digitale Bildungsplattform den Zweck, unterschiedliche digitale Angebote für Lernende, Lehrende und Bildungseinrichtungen zentral zugänglich zu machen. Der Zugriff auf Informationen und Wissen soll gebündelt werden und unter Anwendung einheitlicher Strukturen die Vernetzung der Bildungsakteure erleichtern. Avisiert ist beispielsweise die Einführung von Tools, wie ein lebensbegleitender digitaler Aktenschränk für Bildungszertifikate (z.B. über eine Wallet-App).

Ähnlich wie bei den digitalen Gesundheitsdiensten gilt auch hier, dass die zu Grunde liegenden Anwendungen gewissermaßen mit dem Katalog der Dienste für den Internetzugang nach § 157 (3) TKG-2021 und insbesondere mit der Kategorie „Grundlegende Werkzeuge der Aus- und Weiterbildung“ erfasst sind. Dennoch können zukünftig mit den neuen Produkten ggf. höhere Datenvolumina einstellen, was eine regelmäßige Überprüfung nahelegt.

⁸² Bundesministerium für Bildung und Forschung (2021): Alle Informationen zum digitalen Lehren und Lernen – BMBF; <https://www.bmbf.de/de/bildung-digital-3406.html> letzter Zugriff 20.07.2021.

⁸³ Bundesministerium für Bildung und Forschung: [<https://www.bmbf.de/de/neue-bekanntmachung-zum-aufbau-einer-digitalen-bildungsplattform-13790.html>] letzter Zugriff 20.07.2021].

2.7 Ergebnisse der Identifizierung repräsentativer Produkte

Bei der Identifizierung der repräsentativen Produkte für die universaldienstrelevanten Dienste wurde deutlich, dass sich die Webseiten der Angebote hinsichtlich der eingesetzten Kommunikationsobjekte bzw. Funktionalitäten vielfach auch über die verschiedenen Dienste hinweg nicht auffällig voneinander unterscheiden. Im Zuge von technischen Neuerungen, verfügbaren Datenübertragungsraten im Netz und auf Seiten der Endkunden haben sich Websites vielfach zu Portalen entwickelt, die eine Vielzahl von Diensten und Produkten anbieten. Diese Entwicklung hat unter anderem auch den Anbieter der Website Alexa dazu veranlasst, die ursprünglich verfügbare Kategorisierung von Websites nach Anwendungen aufzugeben („Top Sites by Category list“). Diese war noch bis zum September 2020 verfügbar und wurde dann eingestellt. Alexa schreibt als Begründung:⁸⁴

„[...] we believe that bucketing sites into broad categories does not reflect the diversity that exists on the Internet today. [...]“

Mit diesem Phänomen geht auch einher, dass sich die Produkte nicht uneindeutig einem der hier betrachteten Dienste zuordnen lässt. Tatsächlich konnten wir verschiedene Produkte identifizieren, die nicht nur für einen, sondern für mehrere Dienste (top) gerankt waren.⁸⁵

Vorausschauend auf den nächsten Analyseschritt unserer Studie können wir feststellen, dass sich die Anhang V-Dienste, mit Ausnahme von E-Mail sowie Anrufe und Videoanrufe als webbrowserbasierte Dienste klassifizieren lassen, die aufgrund ihres browserbasierten Zugriffs im Wesentlichen Anforderungen an den Download stellen und in Bezug auf den Upload vernachlässigbar sind (asymmetrische Dienste). Nichtsdestotrotz beinhalten verschiedene (auch webbrowserbasierte) Dienste und Produkte ebenfalls Uploads von Daten oder Dateien. Diese haben wir mit der nachfolgenden Tabelle zusammenfassend dargestellt. Wir werden sie im Rahmen der Ermittlung von Mindestanforderungen (Kapitel 3) separat von den Download-Anforderungen behandeln.

⁸⁴ Alexa ist der Meinung, dass eine Einteilung der Websites in allgemeine Kategorien nicht die Vielfalt des Internets widerspiegelt, deswegen wird auf eine derartige Übersicht verzichtet. Stattdessen gibt Alexa Informationen dieser Art jetzt über ein neues Content Exploration Tool an, welches Themen anhand von öffentlichem Engagement in Social Media Foren angibt. Siehe <https://support.alexas.com/hc/en-us/articles/360051913314>

⁸⁵ Siehe hierzu eine entsprechende tabellarische Darstellung im Anhang dieser Studie (Tabelle „Mehrfache Nutzung gemessener Produkte zur Zweckerfüllung von webbasierten Anhang V-Diensten“).

Tabelle 2-19: Produkte der Anhang V-Dienste mit Relevanz für die webbasierte Messung

Produktname	Webseite des Produkts	Produkt für webbasierte Messung
(2) Suchmaschinen, die das Suchen und Auffinden aller Arten von Informationen ermöglichen		
Allgemeine Informationssuche		
Google	www.google.de	X
Bing	www.bing.com	
Yahoo	de.yahoo.com	
Information über Produkte und Dienste		
Preisvergleich	www.idealo.de	X
Testberichte	www.testberichte.de	
Bewertungen/ Kommentaren anderer Nutzer	-	
Internetseite des Herstellers/ Anbieters	www2.hm.com	
Diskussionsforen/ Blogs/ Videoportale	-	
Reiseinformationen		
Booking	www.booking.com	X
Deutsche Bahn	www.bahn.de	X
Tripadvisor	www.tripadvisor.com	
Ausbildungsinformation		
Kursnet	kursnet-finden.arbeitsagentur.de	X
Zentrale Studien-beratung	verwaltung.uni-koeln.de	
Digitale Bildungs-theke	www.webmessen.de	
Gesundheitsinformation		
TK	www.tk.de	X
BARMER	www.barmer.de	
DAK Gesundheit	www.dak.de	
Informationssuche bei Behörden		
Bürgerservices	service.berlin.de	X
Portal des Bundes	verwaltung.bund.de	X
(3) grundlegende Online-Werkzeuge für die Aus- und Weiterbildung		
Nutzung für Lern- oder Bildungszwecke		
Wikipedia	de.wikipedia.org	X
oder andere Wikis		
Videoangebote	www.youtube.com	
Elektronische Tests	www.fahrschule.de	X
oder Übungen		
Schul- oder Hochschulbildung		
Digitale Lernspiele, Simulationen	anton.app	X
Lern Apps	studyflix.de	
Lernmanagement-system	moodle.de	
Weiterbildung aus privatem Interesse		
Webseiten mit fachlichen Inhalten	scholar.google.de	X
Clouddienste	www.google.com/drive	
Weiterbildung aus beruflichem Interesse		
WBT, Webbasiertes Lernen	www.wbstraining.de	
Webinar	www.webex.com	
MOOCs (Massive Open Online Course)	www.edx.org	

Produktname	Webseite des Produkts	Produkt für webbasierte Messung
(4) Online-Zeitungen oder Online-Nachrichten		
Bild.de	www.bild.de	X
t-online	www.t-online.de	
der Spiegel	www.spiegel.de	X
Tagesschau	www.tagesschau.de	X
(5) Online-Einkauf oder Online-Bestellung von Waren und Dienstleistungen		
Online-Zeitungen/ Nachrichten		
Amazon	www.amazon.de	X
Ebay	www.ebay.de	
Ebay-Kleinanzeige	www.ebay-kleinanzeigen.de	X
Herunterladen von Software (ohne Spiele)		
Windows 10 Update Assistent	www.microsoft.com	
Avast Free Antivirus	www.avast.com	
Ccleaner	www.ccleaner.com	
(6) Arbeitssuche und Werkzeuge für die Arbeitssuche		
Arbeitsagentur	www.arbeitsagentur.de	X
Stepstone	www.stepstone.de	X
Ebay-Kleinanzeige	www.ebay-kleinanzeigen.de	
(7) Berufliche Vernetzung		
Xing	www.xing.com	
LinkedIn	de.linkedin.com	
Facebook	www.facebook.com	
(8) Online-Banking		
Sparkasse	www.sparkasse.de	
Volksbank/ Raiffeisenbank	www.vr.de	X
ING-DiBa	www.ing.de	
Postbank	www.postbank.de	
Deutsche Bank	www.deutsche-bank.de	X
(9) Nutzung elektronischer Behördendienste		
Informationssuche zu Zuständigkeit/ Öffnungszeiten etc.	service.berlin.de	
Herunterladen von Formularen zur Vorbereitung/ Abwicklung von Behördenvorgänge	www.stadt-koeln.de	X
Online Terminvereinbarung	termine-online.stadt-koeln.de	X
Digital Kommunikation mit der Behörde	-	
Elektronische Steuererklärung	www.elster.de	
Anforderung der Briefwahlunterlagen	www.wahlschein.de	
Beantragung staatlicher Unterstützungsleistungen	www.arbeitsagentur.de	
Beantragung Kindergeld	www.arbeitsagentur.de	

Quelle: WIK – erstellt auf Basis von Tabellen „Anhang V-Dienste, Unterkategorien, Top-Produkte und Quellen“ im Anhang zu dieser Studie

Tabelle 2-20: Produkte mit Upload-Möglichkeiten

Produktname	Webseite des Produkts	Upload
(1) eMail		
GMX-Webmail	www.gmx.net	X
Web.de	web.de	X
Gmail	accounts.google.com	X
(2) Suchmaschinen, die das Suchen und Auffinden aller Arten von Informationen ermöglichen		
Gesundheitsinformation		
TK	www.tk.de	X
BARMER	www.barmer.de	X
DAK Gesundheit	www.dak.de	X
(3) grundlegende Online-Werkzeuge für die Aus- und Weiterbildung		
Nutzung für Lern- oder Bildungszwecke		
Wikipedia oder andere Wikis	de.wikipedia.org	(X)
Videoangebote	www.youtube.com	X
Schul- oder Hochschulbildung		
Lernmanagement-system	moodle.de	X
Weiterbildung aus privatem Interesse		
Clouddienste	www.google.com/drive	X
Weiterbildung aus beruflichem Interesse		
WBT, Webbasiertes Lernen	www.wbstraining.de	X
Webinar	www.webex.com	X
(6) Arbeitssuche und Werkzeuge für die Arbeitssuche		
Stepstone	www.stepstone.de	X
(7) Berufliche Vernetzung		
Xing	www.xing.com	X
LinkedIn	de.linkedin.com	X
Facebook	www.facebook.com	X
(9) Nutzung elektronischer Behördendienste		
Herunterladen von Formularen zur Vorbereitung/ Abwicklung von Behördenvorgänge	www.stadt-koeln.de	(X)
Online Terminvereinbarung	termine-online.stadt-koeln.de	(X)
Elektronische Steuererklärung	www.elster.de	(X)
Beantragung staatlicher Unterstützungsleistungen	www.arbeitsagentur.de	X
Beantragung Kindergeld	www.arbeitsagentur.de	(X)
(10) soziale Medien und Sofortnachrichtenübermittlung		
Youtube	www.youtube.com	X
Whatsapp	www.whatsapp.com	X
Facebook	www.facebook.com	X
Instagram	www.instagram.com	X
(11) Anrufe und Videoanrufe (Standardqualität: SD)		
Zoom	zoom.us	X
Skype	www.skype.com	X
Microsoft Teams	www.microsoft.com	X

Dienste, die mit einem (X) gekennzeichnet sind, verfügen über Upload-Möglichkeiten, die für die Nutzung oder Zweckerfüllung des Dienstes von geringer Bedeutung sind, zum Beispiel das Hochladen von Bildern als Beitrag oder im Rahmen der Artikelerstellung für Wikipedia.

Quelle: WIK – erstellt auf Basis von Tabellen „Anhang V-Dienste, Unterkategorien, Top-Produkte und Quellen“ im Anhang zu dieser Studie

Tabelle 2-21: Produkte mit Echtzeitanforderungen⁸⁶ bzw. zeitlichen Mindestanforderungen (Telefonie/Videokonferenz/Streaming)

Produktname	Webseite des Produkts	Echtzeit
(3) grundlegende Online-Werkzeuge für die Aus- und Weiterbildung		
Nutzung für Lern- oder Bildungszwecke		
Videoangebote	www.youtube.com	(X)
Schul- oder Hochschulbildung		
Lernmanagement-system	moodle.de	X
Weiterbildung aus beruflichem Interesse		
WBT, Webbasiertes Lernen	www.wbstraining.de	X
Webinar	www.webex.com	X
MOOCs (Massive Open Online Course)	www.edx.org	X
(4) Online-Zeitungen oder Online-Nachrichten		
der Spiegel	www.spiegel.de	X
Tageschau	www.tageschau.de	X
(7) Berufliche Vernetzung		
Facebook	www.facebook.com	(X)
(8) Online-Banking		
Sparkasse	www.sparkasse.de	(X)
Volksbank/		
Raiffeisenbank	www.vr.de	(X)
ING-DiBa	www.ing.de	(X)
Postbank	www.postbank.de	(X)
Deutsche Bank	www.deutsche-bank.de	(X)
(10) soziale Medien und Sofortnachrichtenübermittlung		
Youtube	www.youtube.com	(X)
Whatsapp	www.whatsapp.com	X
Facebook	www.facebook.com	(X)
Instagram	www.instagram.com	(X)
(11) Anrufe und Videoanrufe (Standardqualität: SD)		
Zoom	zoom.us	X
Skype	www.skype.com	X
Microsoft Teams	www.microsoft.com	X

Dienste, die mit einem (X) gekennzeichnet sind, verfügen über Echtzeit-Anwendungen, die nicht zum Kernangebot des Dienstes gehören, zum Beispiel Livestreaming bei YouTube, Facebook oder Instagram.

Quelle: WIK – erstellt auf Basis von Tabellen „Anhang V-Dienste, Unterkategorien, Top-Produkte und Quellen“ im Anhang zu dieser Studie

Anwendungen, die mit einem kontinuierlichen Datenstrom einhergehen, konnten nicht nur als eigenständige Anwendungen, sondern auch in den unterschiedlichsten webbasierten Diensten und Produkten wiedergefunden werden. Auch sie werden wir aufgrund ihrer spezifischen Qualitätsanforderungen gesondert betrachten (Tabelle 2-21).

⁸⁶ Berücksichtigt werden Echtzeitanwendungen, die für den Zweckerfüllung des entsprechenden Dienstes relevant sind. E-Mail Dienste wie Gmail verfügen über Echtzeitanwendungen (z.B. Videokonferenzen über „Google Meet“), die über den eigentlichen Dienst (Versenden und Empfangen von Emails) hinaus gehen.

3 Ermittlung von Mindestanforderungen an den sicherzustellenden Internetzugangsdienst

In diesem Teil des Gutachtens geht es um die Ermittlung der mit den Diensten verbundenen technischen Anforderungen an Datenübertragungsrate und Qualitätsparameter. Ziel ist es, unter Rückgriff auf die im vorangegangenen Bearbeitungsschritt spezifizierten Anwendungen und Produkte eine diensteübergreifende Empfehlung von Werten für die Mindestanforderungen für den Internetzugang im Sinne der §§ 156 ff. TKG-2021 bzw. des EKEK abzuleiten.

Die technischen Mindestanforderungen werden vom Verordnungsgeber für den Internetanschluss festgelegt und sollen sicherstellen, dass jeder zum Universaldienst zählende Dienst ermöglicht wird. Entsprechend müssen die technischen Mindestanforderungen so ausgelegt werden, dass der Dienst mit den anspruchsvollsten Qualitätsmerkmalen die für den Mindest-Internetzugang erforderlichen Leistungsmerkmale bestimmt.

Das TKG-2021 verlangt nach § 157 (3) Satz 3 eine Konkretisierung der Mindestanforderungen in Bezug auf

- **mindestens** zur Verfügung stehende Datenübertragungsrate [Mbps]
 - Download
 - Upload
- **maximal** tolerierte Verzögerung [ms] (Latenz)

Die Nutzung des Dienstes ist jedoch abstrakt und manifestiert sich erst auf Produktebene. Daher erfolgt die Ableitung von (dienstespezifischen) Mindestanforderungen anhand konkreter Produkte (in Abschnitt 2 identifizierte Top-Produkte). Dabei determinieren die Produkte mit den kritischsten Ansprüchen an die Datenübertragungsrate bzw. die Latenz die Anforderungen für den jeweiligen Dienst.

Liegen diese produktbezogenen Ergebnisse für jeden Dienst vor, ist es möglich, daraus die **Mindestanforderungen für den Internetzugang** gemäß § 157 TKG-2021 (auf Ebene des Zugangs) abzuleiten. Diese leiten sich auch hier aus den anspruchsvollsten Produkten ab: die höchsten Werte für die Datenübertragungsrate sowohl im Down- als auch im Upload [Mbps] sowie der niedrigste Wert für die Latenz [ms],⁸⁷ die (auf Produktebene) über sämtliche Dienste hinweg ermittelt werden konnten, sind hier maßgeblich. Die Ableitung der Mindestanforderungen für den Internetzugang gemäß § 157 TKG-2021 erschließt sich daher sehr schnell aus den Ergebnissen, die für die Bestim-

⁸⁷ Für den Internetzugang gemäß § 157 TKG-2021 spielt am Ende keine Rolle, ob die technischen Mindestanforderungen von einem einzigen, sehr anspruchsvollen Dienst bestimmt werden, oder die Anforderungen von drei verschiedenen Diensten abgeleitet werden.

mung der Mindestanforderungen für die einzelnen Dienste abgeleitet wurden. Die dem vorausgehende Aufgabe, die technischen Mindestanforderungen der Dienste **auf Ebene der jeweiligen Top-Produkte** abzuleiten, ist daher die Hauptbefassung dieses Abschnitts. Die dabei konkretisierten technischen Parameter werden zum Ende dieses Kapitels in Abschnitt 3.6. zusammenfassend dargestellt.

Die bereits in Kapitel 2 durchgeführte Analyse der Dienste bildet den Ausgangspunkt für die Ermittlung der Mindestanforderungen auf Diensteebene. Die dort für jede Dienstekategorie identifizierten und für die Quantifizierung der technischen Mindestanforderungen vorgeschlagenen Top-Produkte werden als Grundlage für unsere quantitative Analyse herangezogen.

In einem ersten Abschnitt 3.1 erläutern wir zunächst die Konzepte Quality of Service (QoS) und Quality of Experience (QoE), um die technischen Grundlagen für unsere Analyse zu legen.

In Abschnitt 3.2 wird die methodische Vorgehensweise zur Quantifizierung der in Rede stehenden technischen Parameter und die Notwendigkeit verschiedener Ermittlungsmethoden in Abhängigkeit der jeweils betrachteten Dienstekategorie vorgestellt und angewendet. Wir unterscheiden Dienste mit kontinuierlichen Datenströmen (Abschnitt 3.2.3.1) von Diensten mit diskreten Datenvolumina (Abschnitt 3.2.3.2); in der zweiten Kategorie kommen für die Datenerhebung in Abhängigkeit der betrachteten Dienste unterschiedliche Erhebungsmethoden zur Anwendung. Für die webbasierten Dienste führen wir Messungen durch, um die benötigte Datenbasis für die Quantifizierung der Mindestanforderungen zu generieren. Hierzu erläutern wir die methodische Vorgehensweise, wie die Messungen konzipiert sind und wie die gewonnene Datenbasis ausgewertet wird, um sie für die Ableitung der technischen Parameter nutzbar zu machen. Für die sonstigen Dienste (mit diskretem Datenvolumen) greifen wir für die Ermittlung des Datenvolumens auf eigene Befragungen, Studien oder sonstige, über Desk Research gewonnene Quellen zurück. Ebenfalls wird das Messkonzept auf Basis einer Messplattform erläutert, welches zur ergänzenden Abstützung der bottom-up generierten Werte herangezogen werden soll.

Sowohl in Abschnitt 3.3 als auch Abschnitt 3.4 werden für jede Dienstekategorie die vorliegenden **produktbezogenen** technischen Leistungsmerkmale (QoS-Parameter) ausgewertet und **in Mindestanforderungen des entsprechenden Dienstes überführt**.

In Abschnitt 3.5 werden Überlegungen zur Parallelnutzung des Internetzugangs (im Mehrpersonenhaushalt) und ihrer Bedeutung im Kontext der technischen Mindestanforderungen für den Internetzugang gemäß § 157 TKG-2021 angestellt.

Die aus der bottom-up Analyse abgeleiteten Erkenntnisse zu den technischen Mindestanforderungen der mit dem Internetzugang gemäß § 157 TKG-2021 zu ermöglichenden

Dienste werden in Abschnitt 3.6 zusammenfassend dargestellt. Die unter Verwendung einer Messplattform gewonnenen Ergebnisse komplettieren die vorausgegangene Analyse.

3.1 Dienste- und Qualitätsmerkmale

Um die qualitätsbezogenen Aspekte für die Bestimmung der Mindestanforderungen für den Internetzugang sachgerecht zu berücksichtigen, werden zunächst die technischen Quality of Service (QoS) Parameter dargestellt, um dann in der Folge die Bewertung aus der Perspektive des Nutzers zu analysieren (Quality of Experience, QoE). QoS Parameter werden demgegenüber maßgeblich durch die technischen Leistungsmerkmale der verwendeten Technologien beschrieben.⁸⁸

3.1.1 Quality of Service (QoS)

Bereits seit den Anfängen der Telekommunikationsnetze prägen die Qualitätsanforderungen von Diensten die netztechnische Umsetzung. Mit der Ablösung der leitungsvermittelnden Netzen durch paketvermittelnde Netze hat die Befassung mit technischen Qualitätsparametern eine größere Aufmerksamkeit erlangt, da mit Abkehr von den leitungsvermittelnden TDM-Netzen die Einhaltung von technischen Qualitätsparametern nur noch bedingt gegeben war.

Das Internet basiert auf dem Internet Protocol (IP) und ist nach wie vor als ein best effort Netz zu charakterisieren. Die Einhaltung von Qualitätsanforderungen von verschiedenen Diensten ist von dem Verhältnis zwischen vom Dienst benötigten technischen Leistungsmerkmalen und jeweils aktuell im Netz verfügbaren Ressourcen zur Bereitstellung des Dienstes abhängig. Die zentralen netztechnischen Qualitätsparameter (QoS) umfassen:

- Verzögerung (Latenz) (ITU-T 2617)

Die Verzögerung (Delay, oder auch Latenz) bezeichnet die Übertragungsdauer vom Sender zum Empfänger (One-Way-Delay). Sie ist relevant für die Dienste Sprachübertragung, Videostreaming oder lineares TV. Davon zu unterscheiden ist die Paketumlaufzeit (Round-Trip-Delay), welche die Zeitdauer beschreibt, die ein Signal für eine Übertragungsstrecke von einer Datenquelle zu einem Ziel und wieder zurück benötigt. Diese Zeit beinhaltet die Laufzeiten der Strecken zwischen den beiden Endpunkten der Kommunikation (Messagenten und Messserver).⁸⁹ Eine Ver-

⁸⁸ Quality of Perception (QoP) stellt ein weiteres Konzept dar. Dieser basiert auf der tatsächlichen Wahrnehmung in Nutzertests. Eine formale Definition der Ansätze findet sich in ETSI (2008) ETSI EG 202 057-1, Version 1.3.1 Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); User related QoS parameter definitions and measurement Parts 1-4s.

⁸⁹ Hiervon zu unterscheiden ist die Übertragungsdauer, die zudem noch die Zeit beinhaltet, bis das letzte Bit einer Übertragungseinheit den Übertragungskanal verlässt.

zögerung entsteht zum einen durch die Technik des für die Kommunikation verwendeten Mediums (Kabel oder Frequenz sowie die zu überwindende Distanz), zum anderen durch die Verarbeitungszeiten und ggf. auftretenden Warteschlangen an den Netzknoten sowie durch die Verbindungen zwischen den Netzknoten.

- Jitter (ITU-T 2617)

Der Jitter beschreibt die Standardabweichung der gemessenen Paketumlaufzeiten und charakterisiert damit deren Variation. Dieser Wert hat beispielsweise eine Relevanz bei der Sprach- oder Video-Übertragung (Stichwort Ruckelbilder). Auch hier gilt der Hinweis für die Paketumlaufzeitmessung entsprechend.

- Paketverlustrate (ITU-T 2617)

Die Paketverlustrate (Paket Loss Ratio) beschreibt das Verhältnis von gesendeten Datenpaketen einer Datenquelle zu empfangen Datenpaketen an einem Ziel.

In welchem Maße Qualitätsparameter eingehalten werden können, hängt nicht zuletzt von der verfügbaren Datenübertragungsrate ab. Wird beispielsweise ein Video in einer hochauflösenden Bildqualität (z.B. HD) übertragen, so sind die Anforderungen an die Datenübertragungsrate deutlich höher als bei einer SD-Qualität. Insofern muss bei Echtzeit-Anwendungen die im Netz verfügbare Datenübertragungsrate hinreichend groß sein,⁹⁰ damit die kritischen Anforderungen an maximal toleriertem Jitter und Delay nicht verletzt werden.⁹¹ Entsprechend ergänzt die

- Datenübertragungsrate [Mbps]

sowohl für den Upstream als auch für den Downstream die für unsere Ermittlung von Mindestanforderungen zu berücksichtigenden QoS Parameter.

Wenn die in § 157 (3) TKG-2021 vorgegebenen Dienste mit einem Internetzugang ermöglicht werden sollen, ist es erforderlich, die dienstespezifischen technischen Qualitätsparameter zu berücksichtigen. Zum Zweck der Konkretisierung wird dazu in Art. 104 Abs. 2 des EKEK für die Definition von Qualitätsparametern auf Anhang X des EKEK gemäß ETSI EG 202 057-1, Version 1.3.1 (Juli 2008) Bezug genommen und seinerseits auf das Standardisierungsdokument der ITU-T Y.2617 verwiesen.⁹² Gegenstand dieser

⁹⁰ Die Datenübertragungsrate muss hinreichend groß sein, um die Anforderungen der Dienste mit kontinuierlichen Datenströmen erfüllen zu können. Überschreitet die erforderliche Datenübertragungsrate die verfügbare, führt dies i.a.R. zu Informationsverlusten. Darüber hinaus müssen die QoS Parameter für Jitter und Delay beachtet werden.

⁹¹ VBRS sind gegenüber stärkeren Schwankungen von Jitter und Verzögerung toleranter, als bei CBRS, weswegen die Anforderung an eine mindestens bereitzustellende Datenübertragungsrate weniger kritisch ist. Es gibt jedoch auch Ausnahmen, bei denen VBR auf Echtzeit-Dienste Anwendung findet.

⁹² ITU (2016) Recommendation ITU-T Y.2617. Die erste Tabelle des Anhang X des EKEK stellt auf die reine Verfügbarkeit der Anschlussleitung für den Kunden ab, die zweite Tabelle maßgeblich auf die klassischen TDM-Dienste. Im Grundsatz gehen diese Definitionen auf die mehr als 25 Jahre alten Übertragungsverfahren Frame Relay und ATM (Asynchronous Transfer Mode) zurück.

Dokumente ist die Unterscheidung von zwei Dienstekategorien nach Maßgabe ihrer Anforderungen an die technischen Qualitätsparameter:

- CBRS – constant bit rate services
- VBRS – variable bit rate services

Definitionsgemäß benötigt ein Dienst mit **CBR** eine transparente Verbindung mit einer fest definierten Mindestbandbreite, die in IP-Netzen in Form einer virtuellen Verbindung emuliert wird. Diese wird für die Übertragung eines kontinuierlichen Datenstroms benötigt. Daher werden diese Dienste auch als „**Dienste MIT determinierten Mindestanforderungen**“ bezeichnet. CBR findet vor allem für interaktive Echtzeit-Dienste wie Sprache oder Video-Konferenzdienste Anwendung. Für sie sind die Qualitätsparameter mittlere Verzögerung und deren Schwankung (Jitter) von zentraler Bedeutung.⁹³

VBR ist insbesondere für **Dienste OHNE determinierte Mindestanforderungen** von Relevanz, die sich durch die Übertragung eines diskreten Datenvolumens beschreiben lassen. Beispiele für die Anwendung von VBR sind unter anderem webbrowserbasierte Dienste, E-Mail oder auch Downloads. Für sie sind die mittlere Verzögerung und der Jitter eher nachrangig; stattdessen hat für sie i.d.R. die Paketverlustrate einen höheren Einfluss auf die Qualität als bei CBR-Diensten.⁹⁴

Es gibt jedoch auch **Ausnahmen**: Echtzeit-Anwendungen, die begrenzte Freiheitsgrade in der Festlegung der für Echtzeiddienste relevanten QoS-Parameter aufweisen, können über VBR-rt (Variable Bit Rate Real-Time)⁹⁵ realisiert werden. Dieses Verfahren ist für Echtzeitanwendungen wie komprimierte VoIP- und Videokonferenzen vorgesehen und auch schon aus der ATM-Ära bekannt.⁹⁶ Es stellt eng begrenzte Anforderungen an die maximale Verzögerung.⁹⁷ Werden Dienste, die mit kontinuierlichen Datenströmen einhergehen und konkrete Anforderungen an die Qualitätsparameter haben, über VBR realisiert, können unterstützende Verfahren zum Einsatz kommen, die die Bereitstellung

⁹³ In modernen IP-Netzen ist die mittlere Verzögerung und der Jitter der IP-Pakete zu beachten. In den Vorgaben des TKG wird lediglich auf die Latenz und nicht auf den Jitter abgestellt. Letztlich kann sich der Jitter nur innerhalb der Grenzen bewegen, die sich aus der festgelegten (bzw. festzulegenden) Toleranz der Latenz ergeben.

⁹⁴ So wirkt sich beim HTTP Download (VBRS) die Verlustrate auf den Durchsatz aus.

⁹⁵ Siehe hierzu Cisco (2005): Verständnis der Servicekategorie "Variable Bit Rate Real Time (VBR-rt)" für ATM VCs; https://www.cisco.com/c/de_de/support/docs/asynchronous-transfer-mode-atm/atm-traffic-management/10414-atm-vbrt.html

⁹⁶ Diese Zusammenhänge sind bereits aus den früheren ATM Netzen bekannt: Zellübertragungsverzögerung [CTD]) und Verzögerungsschwankungen (Zellverzögerung [Cell Delay Variation [CDV]. In einigen Fällen erleben die Zellen in einem permanenten Virtual Circuit (PVC) CDV, wenn zwei oder mehr VCs eine einzige ATM-Schnittstelle gemeinsam nutzen. Zellen von PVC 1 können sich verzögern, wenn die ATM-Schnittstelle PVC 2-Zellen für die Übertragung plant oder wenn physische Overhead- oder Operations-, Administration- und Maintenance-Zellen (OAM) in einen bestimmten Zell-Time-Slot eingesetzt und für die Übertragung geplant werden.

⁹⁷ Letztlich kann die Ankunftszeit zwischen aufeinander folgenden Zellen/Paketen einer Verbindung variieren (Jitter). Natürlich sind u.a. in Abhängigkeit der betrachteten Anwendungen der Parameterwahl Grenzen gesetzt.

des Dienstes trotz sich ändernder Rahmenbedingungen erlauben.⁹⁸ Kommt es zu Schwankungen der im Netz verfügbaren Übertragungsraten (Verknappung), so kann auf Anwendungsebene eine Anpassung der Qualitätsparameter gesteuert werden: Dazu muss der Client dem Server die verfügbaren Kapazitäten mitteilen. Mit dieser Information kann dann der Server aus den zur Verfügung stehenden Codices denjenigen auswählen, der den jetzt (ggf. vorübergehend) reduzierten verfügbaren Datenübertragungsraten Rechnung trägt.⁹⁹

Die skizzierte Zuordnung von Videostreaming zu den real time VBRS stellt letztlich eine Ausnahme dar. Typische Internetdienste, die mit der Übertragung von diskreten Datenvolumina einhergehen (und sich gerade nicht durch einen kontinuierlichen Datenstrom kennzeichnen), sind der Regelfall für die Anwendung von VBR.

Die beiden Dienstekategorien CBR und VBR gehen – entsprechend ihren dienstespezifischen Anforderungen - in der Regel auch mit der Anwendung unterschiedlicher Protokolle einher. Dies sind das TCP (Transmission Control Protocol) und das UDP (User Datagram Protocol). Beide sind im OSI-Modell auf der Schicht 4 angesiedelt und arbeiten in Verbindung mit dem IP auf der OSI-Schicht 3.

Tabelle 3-1: TCP und UDP im Vergleich

	TCP	UDP
Zuverlässigkeit	Hoch	Niedriger
Geschwindigkeit	Niedriger	Hoch
Transfermethode	Pakete werden nacheinander zugestellt	Pakete werden im Datenstrom zugestellt
Fehlererkennung und -behebung	Ja	Nein
Congestion control	Ja	Nein
Empfangsbestätigung	Ja	Nur die Prüfsumme

Quelle: Klusait, Laura (2021): TCP vs. UDP – die beiden Protokolle im Vergleich; Blog, <https://nordvpn.com/de/blog/tcp-vs-udp/>

Bei VBR-Diensten, die durch das zu übertragene Datenvolumen charakterisiert sind, stellt das TCP/IP sicher, dass es bei den (vermeintlich)¹⁰⁰ zeitunkritischen Diensten zu

⁹⁸ Für die QoE Wahrnehmung durch den Nutzer können beispielsweise die beiden Parameter Datenübertragungsrate und Jitter je nach Dienst fallweise begrenzt angepasst werden, so z.B. bei Videostreaming durch Anpassung an den Videocode und das Buffermanagement. Allerdings beeinflussen Verzögerung und Jitter signifikant die QoE Wahrnehmung und sollten daher je Dienst bestimmte Mindestanforderungen erfüllen. Bei Dialogdiensten (Echtzeit) wie Sprache oder Videokonferenz ist vor allem der Jitter für die QoE Wahrnehmung von Bedeutung und kann daher nur begrenzt ausgeglichen werden. Siehe auch Abschnitt 3.3.1.

⁹⁹ Dieser Fall ist im Kontext von Video-Anwendungen von Relevanz. Pham Hong Thinh et al (2019): A Hybrid of Adaptation and Dynamic Routing based on SDN for Improving QoE in HTTP Adaptive VBR Video Streaming, IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, VOL.19 No.7, July 2019 sowie Ozer, Jan (2020): CBR vs VBR: Difference between Constant Bitrate and Variable Bitrate, <https://www.wowoza.com/blog/cbr-vs-vbr>

¹⁰⁰ „Vermeintlich“ in Abgrenzung zu den CBR-Diensten.

einer vollständigen Übertragung des Datenobjektes kommt, das dann beim Empfänger in der Qualität und Vollständigkeit vorliegt, wie es vom Versender verschickt wurde. Diese Funktionalität – im Sinne einer vollständigen Datenübermittlung mit Hilfe des IP/TCP – zählt zu den charakteristischen Eigenschaften des in den 70er Jahren entwickelten Internets (siehe auch Tabelle 3-1).¹⁰¹ Das IP als verbindungsloses Protokoll wurde unter der Prämisse entwickelt, dass die Datenübertragung der auf dem Übertragungsweg involvierten Netze unzuverlässig ist und es Mechanismen bedarf, die die korrekte und vollständige Übermittlung der Daten sicherstellen.¹⁰² Daher wirken sich die QoS Parameter Verzögerung und Jitter nicht auf die Qualität des eigentlichen Produktes aus. Allerdings kann sich der Nutzer durch eine hohe Latenz gestört bzw. beeinträchtigt fühlen und eine Einschränkung im Komfort infolge der verzögerten Übermittlung erleben.¹⁰³ Die Qualität der übertragenen Daten bzw. des eigentlichen Produkts – bspw. die eines Fotos mit hoher Auflösung – ist davon jedoch nicht beeinträchtigt. Der Qualitätsaspekt liegt damit auf der Vollständigkeit des zu übertragenen Datenobjekts.

Für CBR-Anwendungen, die mit einem kontinuierlichen Datenstrom realisiert werden (typische Echtzeit- und Streamingdienste), kommt das UDP (User Datagram Protocol) anstelle des TCP zum Einsatz.¹⁰⁴ Das UDP besitzt keine Re-Transmission-Funktionalität wie das TCP, da eine zu sehr verzögerte Übermittlung den Dienst eher verschlechtern als verbessern würde (als Beispiel sei auf die Verzögerung von Wortsilben bei der Sprachübertragung verwiesen, die der Silben- und Wortabfolge der Kommunikation zuwiderläuft). Aus Tabelle 3-1 geht hervor, anhand welcher Merkmale sich das UDP vom TCP unterscheidet.

Die UDP-Echtzeit-Sprach- oder Videodienste haben zwar eine Timeout-Funktion¹⁰⁵ und brechen die Verbindung bei Überschreitung der zeitbezogenen kritischen Qualitätsparameter ab, diese sind jedoch nicht auf der OSI-Schicht 4, sondern auf der Anwendungsschicht 5 (Sitzungsschicht) angesiedelt.¹⁰⁶ Die Schwellwerte für den Abbruch (Timeout) liegen jedoch mit einer Dauer von 30 Sekunden weit oberhalb der von den Nutzern tolerierten oder von den Standardisierungsdokumenten der ITU vorgegebenen

¹⁰¹ Das TCP/IP kontrolliert immanent die Vollständigkeit der übermittelten Daten (Pakete). Dabei werden in Abhängigkeit der zu Grunde liegenden Dienste Zeitfenster vorgegeben. Gelingt es nicht, die Daten innerhalb des vorgegebenen Zeitfensters zu übertragen, löst das TCP in den beteiligten Endeinrichtungen einen Re-Transmission Wunsch aus. Auf diese Weise wird der Verlust von Paketen geheilt und die vollständige Übertragung sichergestellt.

¹⁰² Wikipedia (2021): Internet Protocol; https://de.wikipedia.org/wiki/Internet_Protocol

¹⁰³ Diese Aspekte des Komforts werden unter der Überschrift Quality of Experience (QoE) aufgegriffen.

¹⁰⁴ UDP und TCP sind beide auf der OSI-Schicht 4 angesiedelt und als gleichrangig zu betrachten. Es wird je nach Anforderungsprofil des Dienstes entweder UDP oder TCP genutzt.

¹⁰⁵ Mit dem Timeout wird hier auf die Zeitspanne abgestellt, bevor eine Fehlermeldung ausgelöst wird. Nach einem solchen Schema arbeitet auch das IP/TCP (vorgegebenes Zeitfenster). Darüber hinaus können auch auf den Anwendungsschichten Timeouts zur Anwendung kommen. Zum Timeout siehe Wikipedia (2020); Timeout_(Netzwerktechnik), [https://de.wikipedia.org/wiki/Timeout_\(Netzwerktechnik\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Timeout_(Netzwerktechnik))

¹⁰⁶ Die Timeout-Funktionalität ist jedoch in höheren Schichten oberhalb der Protokollebene des TCP/UDP verankert, z.B. im DNS-Resolver des Betriebssystems.

Werten.¹⁰⁷ Insofern spielen diese Vorgaben für die Nutzung dieser Dienste keine Rolle. Die Qualitätsverschlechterungen, die noch auf einem Niveau sind, das keinen Timeout auslöst, müssen quasi vom Endnutzer toleriert werden (wie z.B. das Fehlen bestimmter Informationen/Sprachlücken) oder veranlassen ihn, den Dienst abzubrechen.¹⁰⁸ – Vergleichbare Timeout-Abbrüche, die auf der Anwendungsschicht verankert sind, finden sich auch bei VBR-Diensten. Ein solcher Abbruch kommt bspw. durch eine Anzeige des Webbrowsers zum Ausdruck, der eine Meldung gibt, dass die gesuchte Seite nicht erreicht werden kann. Das Ausbleiben einer Antwort nach Zeitüberschreitung ist hier die Ursache.

3.1.2 Quality of Experience (QoE)

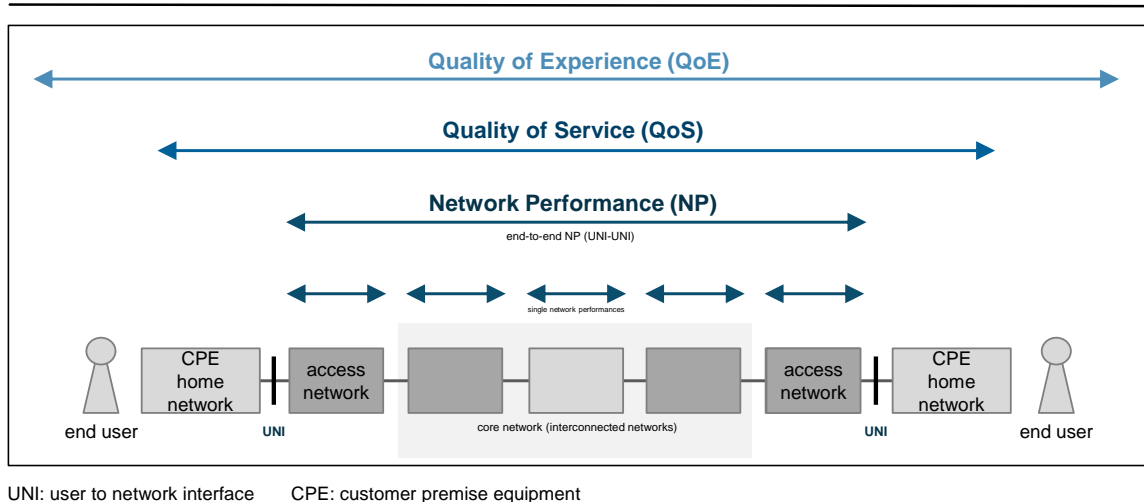
Mit dem Konzept der Quality of Experience (QoE) wird versucht, die subjektive Nutzererfahrung in eine numerische Bewertungsskala zu überführen und damit zu objektivieren. QoE ist ein Parameter, der die Wahrnehmung der Güte eines Dienstes durch den Nutzer beschreibt; er reflektiert damit letztlich eine subjektive Bewertung. Dieser Aspekt ist in Abbildung 3-1 durch die Berücksichtigung des Endkunden an den Enden der Verbindung illustriert und ggü. dem QoS abgegrenzt. Wie in der Abbildung dargestellt, lässt sich QoS durch objektive, messbare Parameter beschreiben, die durch die im voranstehenden Abschnitt 3.1.1 genannten Größen Datenübertragungsrate, Jitter, Verzögerung und Paketverlustrate erfasst sind. Nochmals enger gefasst ist die eigentliche Network Performance, die auch das Equipment auf Seiten des Endkunden (ggf. auch das des Content-Anbieters) außer Betracht lässt.¹⁰⁹

107 Anonym (2012): Voice over Internet Protocol (VoIP) Design Considerations, <https://starttrinity.com/VoIP/Resources/Design-Considerations-for-Voice-over-Internet-Protocol-VoIP.pdf>

108 Innerhalb gewisser Grenzen können auch durch im Codec angelegte Algorithmen und Interpolation Paketverluste und –verzögerung kompensiert werden.

109 In diesem Kontext ist der Zusammenhang von QoS und QoE von Relevanz. Entwickelte Standards zielen auf QoS in öffentlichen Netzen ab, die i.d.R. auf der Basis der Qualität der Netz-Verbindung zwischen den beiden Netzenden basieren, während QoE die vom Nutzer wahrgenommene Qualität beschreibt und daher deren QoS Parameter verwendet, die die an beiden Enden installierten Server bzw. Endgeräte aber ggf. auch die lokalen Netze des Nutzers einbezieht (siehe hierzu auch Abbildung 3-1). Die Standardisierung von QoE ist komplizierter, aber im Prinzip auch für Standarddienste möglich (z.B. IP-TV, weil hier Standard-Einrichtungen für TV Server und TV Receiver eingesetzt werden können). Vgl. bspw. Takahashi, Akira / Yamagishi, Kazuhisa, and Kawaguti, Ginga (2008): Recent Activities of QoS/QoE Standardization in ITU-T SG12 NTT Technical Review Vol. 6 No. 9 Sep. 2008 oder auch Multimedia Quality of Experience (QoE): Current Status and Future Requirements 2016.

Abbildung 3-1: QoS, QoE, Network Performance (NP)



Quelle: BEREC (2011): A framework for Quality of Service in the scope of Net Neutrality BoR (11) 53
8. December 2011

Aufgrund des subjektiven Charakters von QoE bedarf es statistischer Erhebungen, um zu ermitteln, welche objektiv messbaren Qualitätsparameter mit welcher bestimmten (skalierten) Wertigkeit einhergehen. Entsprechende Erhebungen dien(t)en als Basis für die Ableitung von Modellen, die Auskunft über den Zusammenhang von QoS und QoE geben.

Studien auf diesem Gebiet dokumentieren,¹¹⁰ dass Verfahren zur Bestimmung von QoE komplex, zeitaufwendig und teuer sind. Die Forschung auf diesem Gebiet hat sich unter anderem mit der Entwicklung von KPI (Key Performance Indicator) befasst, um Methoden zu entwickeln, die eine möglichst objektive Bewertung der QoE erlauben.¹¹¹ Dabei muss jedoch konstatiert werden, dass es sich bei QoE um genuin **subjektive** Merkmale handelt, die im Ergebnis einer Objektivierung nur beschränkt zugänglich sind. Letztlich sind die entwickelten Verfahren darauf beschränkt, QoE durch das Heranziehen von objektiv messbaren Parametern zu beschreiben¹¹² und darauf aufbauend mathematische Zusammenhänge zwischen messbaren Werten des QoS und der normierten QoE abzuleiten.

¹¹⁰ Applsci, „Network Traffic Type-Based Quality of Experience (QoE) Assessment for Universal Services (2019)“.

¹¹¹ Science Direct (2020): Mean Opinion Score, <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/mean-opinion-score>.

¹¹² Fiedler, Markus; Hossfeld, Tobias; Tran-Gia, Phuoc (2010): „A generic quantitative relationship between Quality of Experience and Quality of Service“, , Article in IEEE Network May 2010.

Ein methodischer Ansatz zur Konkretisierung von QoE ist das Konzept des Mean Opinion Score (MOS) für den Sprachdienst (Echtzeitdienst).¹¹³ Dabei spielt nicht nur die Verzögerungszeit eine Rolle, sondern es finden auch weitere Qualitätsparameter Berücksichtigung (Jitter, Paketverlustrate (packet loss ratio)).¹¹⁴ Der MOS wird beispielsweise bei der BNetzA im Rahmen der Qualitätsmessungen für die Sprachqualität verwendet.¹¹⁵ Konzeptionell wird beim MOS die Qualität auf mehreren Ebenen erfasst:¹¹⁶

- LQ = listening quality,
- CQ = conversational quality,
- TQ = talking quality.

In einer Skala von 1 bis 5 wird dabei die Güte der Sprachverständlichkeit nach einem standardisierten Verfahren beschrieben. Der MOS wird hierbei durch die numerischen Werte 1 bis 5 ausgedrückt, wohingegen der QoE verbal als Qualität beschrieben wird.

Tabelle 3-2: Mean Opinion Score (MOS) und Quality of Experience (QoE)

Wert	Qualität	Bedeutung
5	ausgezeichnet	Es ist keine Anstrengung nötig, um die Sprache zu verstehen.
4	gut	Durch aufmerksames Hören kann die Sprache ohne Anstrengung wahrgenommen werden.
3	ordentlich	Die Sprache kann mit leichter Anstrengung wahrgenommen werden.
2	mäßig	Es bedarf großer Konzentration und Anstrengung, um die übermittelte Sprache zu verstehen.
1	mangelhaft	Trotz großer Anstrengung kann man sich nicht verständigen.

Quelle: https://de.wikipedia.org/wiki/Mean_Opinion_Score

Das **Usability-Konzept von Nielsen**¹¹⁷ stellt einen Ansatz zur Messung der Nutzerzufriedenheit dar, der nicht auf Sprache oder andere Echtzeitdienste abstellt, sondern auf

¹¹³ In Quality of Service REGULATION MANUAL REGULATORY & MARKET ENVIRONMENT Telecommunication Development Sector, Printed in Switzerland Geneva, 2017, International Telecommunication Union Telecommunication Development Bureau, Place des Nations, CH-1211 Geneva 20, Switzerland, www.itu.int, QUALITY OF SERVICE REGULATION MANUAL wird u.a. der Zusammenhang zwischen MOS und der Qualität eines Dienstes gezeigt, siehe dort Tabelle 2.1, ebenso in QoE Evaluation and Enforcement Framework for Internet Services, ITU Study Group, 12 2015. Auf der anderen Seite akzeptieren Nutzer auch wesentlich geringe QoS Parameter bei entsprechender Reduktion der Kosten/Tarife, vor allem bei OTT Diensten, vergleiche Khirman, Henriksen (2002) Relationship between Quality-of-Service and Quality-of-Experience for Public Internet Service Proc. 3rd Passive and Active Measurement Workshop (PAM2002), Fort Collins, Colorado, USA, March 2002, ITU-World bank, <https://digitalregulation.org/technical-regulation-quality-of-service/>

¹¹⁴ Die Paketverlustrate hat bei Echtzeitdiensten eine untergeordnete Bedeutung. Diese Zusammenhänge werden an späterer Stelle detaillierter aufgegriffen (3.1.1).

¹¹⁵ Der MOS für Sprache wurde ursprünglich für den traditionellen Sprachdienst entwickelt, zwischenzeitlich aber auch für Voice over IP (VoIP) weiterentwickelt (siehe [ITU-T PESQ P.862](https://www.itu.int/ITU-T/pesq/P.862)). Siehe auch Lamberti, Alyssa (2021): Measuring VoIP Quality with MOS Score (Mean Opinion Score), Blog, last updated 23.08.2021, <https://obkio.com/blog/measuring-voip-quality-with-mos-score-mean-opinion-score/>. Dort werden Methoden zur Bestimmung des MOS anhand von Beispielen erläutert.

¹¹⁶ Wikipedia (2021): Mean Opinion Score; https://de.wikipedia.org/wiki/Mean_Opinion_Score

¹¹⁷ Nielsen, Jakob, Landauer, Thomas K. (1993): A Mathematical Model of the Finding of Usability Problems. In: Ashlund, Stacey, Mullet, Kevin, Henderson, Austin, Hollnagel, Erik, White, Ted (eds.) Proceedings of the ACM CHI 93 Human Factors in Computing Systems Conference April 24-29, 1993,

interaktive webbasierte Dienste abzielt.¹¹⁸ Es bestimmt die Nutzerzufriedenheit anhand der Antwortzeit der Systeme bzw. Server.

In den Studien von Nielsen findet sich eine weniger abstrakte und vielmehr intuitive Darstellung der Nutzerzufriedenheit. Nielsen hat die Nutzererfahrung im Kontext von Computeranwendungen und Website-Nutzung über Jahrzehnte hinweg analysiert. Er drückt die Nutzerzufriedenheit anhand von zeitbezogenen Grenzwerten wie folgt aus:¹¹⁹

„0,1 Sekunden geben uns das Gefühl einer unmittelbaren Antwort – das heißt, das Resultat fühlt sich so an, als wenn der Nutzer und nicht der Computer es verursacht hätte. [...]

1 Sekunde erlaubt dem Nutzer noch einen nahtlosen Gedankenfluss. Die Nutzer bemerken die Verzögerung, wissen also, dass der Computer gerade ein Resultat produziert, aber sie fühlen sich immer noch als Herren über den Gesamtablauf und haben das Gefühl, sich frei zu bewegen und nicht auf den Computer zu warten. [...]

10 Sekunden halten die Aufmerksamkeit des Nutzers noch fest. Bei 1-10 Sekunden fühlen sich die Nutzer definitiv dem Computer ausgeliefert und wünschen sich, er wäre schneller, aber sie kommen damit klar. [...]

Eine 10-sekündige Verzögerung veranlasst die Nutzer oft, eine Website gleich wieder zu verlassen.

Selbst eine Verzögerung von nur wenigen Sekunden reicht aus, um ein unangenehmes Nutzererlebnis zu verursachen. Die Nutzer haben nicht mehr die Kontrolle über den Ablauf und ärgern sich, weil sie auf den Computer warten müssen. [...]

-
- Amsterdam, The Netherlands. pp. 206-213.
<https://www.acm.org/pubs/articles/proceedings/chi/169059/p206-nielsen/p206-nielsen.pdf>
 Nielsen, Jakob (1992): Finding Usability Problems Through Heuristic Evaluation. In: Bauersfeld, Penny, Bennett, John, Lynch, Gene (eds.) Proceedings of the ACM CHI 92 Human Factors in Computing Systems Conference June 3-7, 1992, Monterey, California. pp. 373-380.
<https://www.acm.org/pubs/articles/proceedings/chi/142750/p373-nielsen/p373-nielsen.pdf>
- 118** Nielsen hat die Nutzererfahrung im Kontext von Computeranwendungen und Website-Nutzung über Jahrzehnte analysiert. Siehe u.a. Fiedler, Markus; Hossfeld, Tobias; Tran-Gia, Phuoc: „A generic quantitative relationship between Quality of Experience and Quality of Service“, 2010, Article in IEEE Network May 2010.
- 119** Grenzwerte für Reaktionszeiten, abgerufen unter <https://www.usability.ch/news/die-reaktionszeiten-von-websites.html>: Die Reaktionszeiten von Websites 19.2.2021; den Aussagen zu Grunde liegende Studien sind neben zahlreichen weiteren Veröffentlichungen: Nielsen, Jakob (1999): User Interface Directions for the Web. In Communications of the ACM, 42 (1) pp. 65-72, <https://dl.acm.org/doi/10.1145/291469.291470>; Nielsen, Jakob, Levy, Jonathan (1994): Measuring Usability: Preference vs. Performance. In Communications of the ACM, 37 (4) pp. 66-75; Mack, Robert L., Nielsen, Jakob (1993): Usability Inspection Methods: Report on a Workshop Held at CHI'92, Monterey, CA, May 3-4,. In ACM SIGCHI Bulletin, 25 (1) pp. 28-33.
 Vergleichbare Werte finden sich in nachfolgender Studie Think with google (2016): The Need for Mobile Speed; <https://www.thinkwithgoogle.com/intl/de-de/marketing-strategien/apps-und-mobile/the-need-for-mobile-speed/>, wonach lange Ladezeiten von Websites ein großes Hindernis darstellen.
- 53% aller Website-Aufrufe werden abgebrochen, wenn das Laden der Seiten mehr als 3 Sekunden dauert
 - Einer von zwei Nutzern erwartet, dass Seiten innerhalb von weniger als 2 Sekunden geladen werden
 - Laut Aussage von 46% der Befragten ist das Warten auf das Laden von Webseiten das größte Ärgernis beim Surfen im Internet auf mobilen Geräten.

Der von Nielsen verwendete Begriff der „Verzögerung“ beschreibt dabei die für den Nutzer akzeptable Übertragungsdauer. Diese ist von dem QoS Parameter Latenz (Delay) zu unterscheiden. Um die zeitbezogenen Grenzwerte zur Beschreibung der **Nutzerzufriedenheit** zu adressieren, haben wir uns daher entschieden, diesen Aspekt **mit dem Begriff der akzeptablen bzw. tolerierten Übertragungsdauer zu beschreiben**.

Auch bei der **ITU¹²⁰** findet sich eine auf den **Nutzer fokussierende Betrachtung** von Diensten und ihren Qualitätsmerkmalen, die sowohl Echtzeit-Konversationsdienste als auch andere Datendienste umfasst. Es handelt sich dabei um eine Einordnung von Diensten aus Sicht des Nutzers anhand der Kriterien Fehler-Toleranz [error tolerant / error intolerant] und zeitlicher Toleranz [$\ll 1s$ / $\sim 2s$ / $\sim 10s$ / $\gg 10s$].

Die in Abbildung 3-2 in der ersten Zeile dargestellte Kategorie „fehlertolerant“ (error tolerant) umfasst die Echtzeiddienste sowie Dienste MIT determinierten zeitlichen Mindestanforderungen wie bspw. Streamingdienste, die in der OSI-Schicht 4 das UDP verwenden. An dieser Struktur und den zeitlichen Kategorien hat sich seitdem nichts Wesentliches verändert.¹²¹

Demgegenüber sind in der zweiten Zeile der Abbildung 3-2 diejenigen Dienste aufgeführt, die als traditionelle best effort Internet-Dienste zu kennzeichnen sind¹²² und hier von der ITU als „fehlerintolerant“ bezeichnet werden. Wir haben in Abschnitt 3.1.1 diese als Dienste „OHNE determinierte Mindestanforderungen“ bezeichnet. Für sie trägt die Anwendung des TCP/IP Sorge, dass die vollständige Übertragung der Daten sicher gestellt wird. Die von der ITU entworfene, nutzerfokussierende Betrachtung von Diensten und ihren Qualitätsmerkmalen¹²³ geht somit über das reine Funktionieren des Dienstes im Sinne von best effort (TCP/IP) hinaus. Diese Qualitätsmerkmale haben erst mit Weiterentwicklung des Internets Bedeutung bekommen: Die ursprünglich zeitunkritischen Dienste weisen nun aus Sicht des Nutzers eine Qualitätsdimension auf, die mit der Schnelligkeit der Dienstrealisierung beschrieben werden kann.¹²⁴ Die ITU bringt diesen Qualitätsaspekt für nicht-fehlertolerante Dienste unter Rückgriff auf die „akzep-

¹²⁰ ITU-(2001): End-user multimedia QoS categories, Rec. G.1010.

¹²¹ Auch wenn die Kategorisierung der Dienste in Bezug auf die tolerierte Übertragungsdauer nach wie vor Bestand hat, so ist es doch offensichtlich, dass Dienste wie FAX und FTP zwischenzeitlich veraltet sind.

¹²² Dies sind Dienste, die in der OSI-Schicht 4 das TCP verwenden, fehlerhafte bzw. verlorene Pakete werden daher erneut übertragen, um Fehlerfreiheit sicher zu stellen.

¹²³ Weitere, vergleichbare Befassungen mit den Qualitätsmerkmalen von Internetdiensten und ihre Bewertung durch den Nutzer finden sich u.a. in Khirman, Henriksen Relationship between Quality-of-Service and Quality-of-Experience for Public Internet Service Proc. 3rd Passive and Active Measurement Workshop (PAM2002), Fort Collins, Colorado, USA, March 2002, ITU-World bank Technical regulation – Quality of service | Digital Regulation Platform, <https://digitalregulation.org/technical-regulation-quality-of-service/>

¹²⁴ Der technische Fortschritt (insbesondere in kapazitativer Hinsicht) sowie die Entwicklung entsprechender Protokolle und Anwendungen haben die Leistungsfähigkeit der Netze über die Jahre relevant ansteigen lassen. Dies dokumentierte sich auch in der IP-Realisierung von Konversationsdiensten mit Echtzeitanforderungen, die heutzutage Standard ist.

table Übertragungsdauer“ zum Ausdruck (in der Abbildung 3-2 durch die Angabe „delay“ kenntlich gemacht). Dies ist der zentrale Parameter, anhand dessen die Nutzererfahrung im Sinne von Quality of Experience (QoE) im Konzept der ITU festgemacht wird.

Abbildung 3-2: ITU G.1010 – user-centric QoS categories

Error tolerant	Conversational voice and video	Voice/video messaging	Streaming audio and video	Fax
Error intolerant	Command/control (e.g. Telnet, interactive games)	Transactions (e.g. E-commerce, WWW browsing, Email access)	Messaging, Downloads (e.g. FTP, still image)	Background (e.g. Usenet)
	Interactive (delay <<1 s)	Responsive (delay ~2 s)	Timely (delay ~10 s)	Non-critical (delay >>10 s)

T1213060-02

Quelle: ITU-T G.1010 (11/2001): End-user multimedia QoS categories S. 6

Der Aspekt der tolerierten Übertragungsdauer wird auch in anderem Kontext analysiert. Dies ist bei der Gestaltung von Webseiten sowie dem damit im Zusammenhang stehenden Einsatz von Suchmaschinen der Fall.¹²⁵ So hat Google unter Einsatz von Analyse-Tools Erhebungen durchgeführt, wonach ein Anwender statistisch nach 4 Sekunden das Interesse verliert, eine Website zu besuchen, wenn deren Darstellung mehr Zeit in Anspruch nimmt („**Goldene Google Regel**“).¹²⁶

¹²⁵ Siehe hierzu u.a. Kopp, Olaf (2020): PageSpeed: Wie wichtig sind Ladezeiten als Rankingfaktor für SEO bei Google? <https://www.sem-deutschland.de/blog/page-speed-seo-ranking/>; oder auch An, Daniel (2018): Find out how you stack up to new industry benchmarks for mobile page speed; <https://www.thinkwithgoogle.com/marketing-strategies/app-and-mobile/mobile-page-speed-new-industry-benchmarks/>

¹²⁶ Diese Einschätzung findet sich auch in verschiedenen Beiträgen zum Nutzerverhalten in Abhängigkeit der Ladezeit; so z.B. in An, Daniel (2018): Find out how you stack up to new industry benchmarks for mobile page speed; <https://www.thinkwithgoogle.com/marketing-strategies/app-and-mobile/mobile-page-speed-new-industry-benchmarks/> oder <https://www.seo-suedwest.de/5846-google-gibt-neue-empfehlungen-zur-ladezeit-von-webseiten.html> oder siehe auch <https://www.seo-suedwest.de/5846-google-gibt-neue-empfehlungen-zur-ladezeit-von-webseiten.html>.

Abbildung 3-3: Empfohlene Reaktionszeiten für Webseiten



Quelle: Die Core Web Vitals von Google, <https://blog.chromium.org/2020/05/introducing-web-vitals-essential-metrics.html>

Analysen zum Nutzerverhalten im Kontext von Suchmaschinen verdeutlichen jedoch auch, dass sich eine subjektive Nutzereinschätzung nicht ausschließlich auf den Aspekt der Übertragungsdauer der Daten bzw. Ladezeit der Website reduzieren lässt:¹²⁷

„Sehr konkret werden Google in Form von Martin Split und Eric Enge in der Mythbusting-Reihe. In dem folgenden Video aus dem Juli 2020 betonen beide, dass Page Speed kein sehr großer Rankingfaktor ist, sondern eher das Zünglein an der Waage, wenn die Seiten hinsichtlich anderer Faktoren wie z.B. Content-Relevanz und -Qualität auf gleicher Augenhöhe sind. Zudem wird auch noch mal betont, dass Google nur in drei Abstufungen zwischen schnellen, normal schnellen und langsamen Seiten unterscheidet.“

In der Studie EU-Kommission KOM (2016): „Review of the scope of Universal Service“¹²⁸ wurde zur Bestimmung der Mindestanforderungen für webbasierte Internetdienste der Qualitätsaspekt ebenfalls über eine tolerierte Übertragungsdauer abgebildet. Der für die Dienste tolerierte Grenzwert wurde dabei mit 7 Sekunden angesetzt.¹²⁹

Zusammenfassend können wir feststellen, dass die in Literatur und Praxis relevanten Kategorien für die tolerierte Übertragungsdauer bei Diensten ohne determinierte Mindestanforderungen ohne Ausnahme nicht mehr als zehn Sekunden vorgeben, obwohl diese fehlerintoleranten Dienste – wie zu den Anfängen des Internets – auch mit deutlich längeren Übertragungsdauern funktionieren. Wir greifen die hier vorgestellten Zusammenhänge in Abschnitt 3.2.3 wieder auf, wenn wir unsere Methodik zur Ermittlung der Mindestanforderungen erläutern.

¹²⁷ Koop, Olaf (2020) und das dort verlinkte Video <https://www.youtube.com/watch?v=XUOD6pcvnso>

¹²⁸ KOM (2016): „Review of the scope of Universal Service“, <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/6eee3cb7-9adf-11e6-868c-01aa75ed71a1>

¹²⁹ Siehe hierzu den Annex zum Report KOM Annex (2016): „Review of the scope of Universal Service“.

3.2 Methodische Vorgehensweise bei der Ermittlung dienstebezogener technischer Mindestanforderungen

Das TKG-2021 sieht in § 157 (3) die Bestimmung von Mindestanforderungen in Bezug auf die Datenübertragungsrate im Downstream und Upstream [Mbps] sowie die maximal tolerierte Latenz vor. Festzulegen sind somit konkrete technische Parameter, die nur indirekt einen Rückschluss auf die QoE im Sinne der Nutzererfahrung zulassen.

Die verschiedenen Ebenen der Erfassung bzw. Bewertung von Qualität (siehe Abbildung 3-1), wie sie von der ITU unterschieden werden, sind

- Quality of Experience – abzielend auf die Nutzererfahrung,
- Quality of Service – unter Einbeziehung sämtlicher technischer Einrichtungen,
- Network Performance – Abstraktion von Nutzererfahrung sowie technischen Einrichtungen und deren Parameter an beiden Enden der Netzverbindung,

und müssen im Kontext der Ableitung von allgemeinen Mindestanforderungen für den Internetzugang auf die hier betrachteten Zielgrößen angewendet werden. Der Umstand, dass es sich um allgemein verbindliche Mindestanforderungen handeln soll, macht die Schwierigkeit deutlich, eine individuelle Beurteilung der Qualität durch den Nutzer oder Beschränkungen, die (ggf.) aus dem technischen Equipment der Endnutzer oder Anbieter an den Enden der Verbindung entstehen, zu berücksichtigen. Eine allgemeingültige Anwendung von Mindestanforderungen kann sich daher lediglich auf die Network Performance und die sie beschreibenden Parameter reduzieren, die sich aus den vorgegebenen Diensten bzw. sie repräsentierenden Produkten ableiten lassen. Für diese Network Performance Parameter verwenden wir im weiteren Verlauf die Bezeichnung QoS, wobei wir das Endnutzerequipment an beiden Enden der Netzverbindung ausschließen.

3.2.1 Bestimmung technischer Anforderungen an die Datenübertragungsrate (Down- und Upload) (§ 157 (3) TKG-2021)

Zur Ableitung von Mindestanforderungen in Bezug auf die Datenübertragungsrate greifen wir auf die bereits eingeführte Unterscheidung der Dienste in Produkte mit kontinuierlichen Datenströmen bzw. mit diskreten Datenvolumina zurück.

Für **Produkte mit kontinuierlichen Datenströmen** (i.d.R. CBRS), die in der ITU-Darstellung als fehlertolerant kategorisiert wurden, stellt sich die Überführung von Produktmerkmalen in die vom Gesetzgeber in Betracht gezogen Datenübertragungsrate (Down- und Upstream) als vergleichsweise gradlinig dar: Sowohl Audio- als auch Video-Anwendungen (inkl. Streaming) sind durch den zugrundeliegenden Codec spezifi-

ziert.¹³⁰ Für die verschiedenen Dienste ist eine Vielzahl von Codices verfügbar, die entweder als Industriestandards (beispielsweise bei der ITU oder ETSI) oder proprietär von einzelnen Unternehmen entwickelt wurden.¹³¹

Bei **Produkten mit diskretem Datenvolumen** (VBRS) ist die Ableitung von dienstspezifischen Mindestanforderungen an die Datenübertragungsrate a priori nicht technisch (durch Standards) vorgegeben. Entsprechend werden diese auch als Dienste OHNE determinierte Mindestanforderungen bezeichnet.¹³² Hier ist es für die Bestimmung einer Datenübertragungsrate erforderlich, die Bewertung durch den Nutzer mit in die Betrachtung einzubeziehen, so wie es in Abschnitt 3.1.2 unter Rückgriff auf Kategorien der ITU oder das Usability Konzept von Nielsen unter Bezugnahme auf die tolerierte Übertragungsdauer dargestellt wurde. Diese QoE-Konzepte bringen letztlich zum Ausdruck, dass die Nutzer eine zeitnahe Diensterealisierung positiv bewerten und der Dauer der Übertragung einen Wert beimessen. Diese Bewertung ist dabei subjektiver Natur. Die vorgestellten Ansätze von ITU, Nielsen oder Google liefern dabei eine grobe Kategorisierung unter Anwendung von tolerierten Übertragungsdauern.

Für die methodische Umsetzung dieses Konzepts bedarf es zunächst der Erfassung und dann in der Folge der Transformation des Datenvolumens (ausgedrückt entweder in Megabit oder Megabyte [1 Byte („B“) = 8 Bit („b“)]) in die Stromgröße [Mbps] unter Rückgriff auf die im Sinne einer Mindestqualität vorgegebenen Übertragungsdauer (= akzeptable Dauer).

$$\text{Bandbreitenbedarf [Mbps]} = \text{Datenvolumen [MB]} \cdot 8 / \text{akzeptable Dauer [s]}$$

Welche Nutzungsdauer akzeptabel ist, ist letztlich eine subjektive Frage. Methodisch werden wir die in Abschnitt 3.1.2 dargestellten QoE-Ansätze zur Objektivierung der Dienstqualität heranziehen. Die entsprechende Vorgehensweise findet für die Bestimmung der Datenübertragungsrate sowohl im Download als auch im Upload Anwendung; sie wird in Abschnitt 3.2.3.2 detailliert.

¹³⁰ Codec ist zunächst eine Abkürzung für Kodierer/Dekodierer (coder/decoder). Ein Codec wird im Allgemeinen für die Umkodierung eines Signals verwendet, zumeist von der analogen Form in eine digitale Form und umgekehrt, er findet aber auch für die Kompression von Signalen Anwendung (typisch: Sprache, Musik, Bild, Video).

Vereinfacht ausgedrückt bestimmt der Codec maßgeblich die Datenübertragungsrate, die Latenz maßgeblich die Qualität. – Der Codec beachtet natürlich auch kritische Anforderungen an die Latenz. Diese reizt der Codec aber nicht vollständig aus, da er ja auch für Verzögerung auf dem Übertragungsweg und die involvierten Knoten, welche alle Latenz verursachen können, eine Toleranz einbauen muss. Insofern sind diese beiden Aspekte nicht vollständig voneinander zu trennen. – Zu verschiedenen Codices (alternativ zu G.711) siehe beispielsweise Internet Engineering Task Force (2014): Definition of the Opus Audio Codec; <https://webrtcglossary.com/opus/>, IETF RFC 6716).

¹³¹ Die verschiedenen Codices tragen dabei den Anforderungen unterschiedlicher Produkte Rechnung. So ist beispielsweise der Codec für Mobilfunktelefonie auf geringe Bandbreitenanforderungen ausgelegt, da die ersten Mobilfunknetze lediglich geringe Bandbreiten zur Verfügung stellten.

¹³² Die Einhaltung weiterer Qualitätsparameter wie Jitter, Latenz oder Verlustrate ist bei diesen Diensten von untergeordneter Bedeutung, d.h. letztlich ist die fehlerfreie Übertragung innerhalb der vorgegebenen Zeitspanne bestimmend. Die fehlerfreie Übertragung wird dabei durch die Verwendung des IP-TCP sichergestellt und bedarf keiner gesonderten Betrachtung.

3.2.2 Bestimmung der Anforderungen an die Latenz nach § 157 (3) TKG-2021

Die Beurteilung der Anforderung an die Latenz muss sich ebenfalls an den Diensten mit kontinuierlichen Datenströmen orientieren, denn die Toleranz der bidirektionalen Echtzeitdienste für den One-Way-Delay liegt im Bereich von Millisekunden. Diese Dienste bestimmen somit die Latenz-Anforderungen für den Internetzugang nach § 157 (3) TKG-2021.¹³³

Aber selbst für die Dienstekategorie MIT determinierten Mindestanforderungen lassen sich aus den Produktspezifikationen keine deterministischen Anforderungen für die Latenz ableiten, sondern lediglich Empfehlungen von Produkthanbietern finden.¹³⁴ Ein technisches **Funktionieren** des Dienstes ist dabei auch bei einer Überschreitung dieser Obergrenzen gegeben – wenn auch bei verminderter Zufriedenheit der Nutzer.¹³⁵

Für die Ableitung von produktbezogenen Obergrenzen für die Latenz muss daher die zugehörige Produktqualität berücksichtigt werden. Die von den Produkthanbietern empfohlenen Grenzwerte für die Latenz liefern hierzu einen Anhaltspunkt, da sie mit ihrer Empfehlung letztlich eine bestimmte Produktqualität und damit Nutzerzufriedenheit erreichen wollen.¹³⁶ Wir greifen daher im Rahmen unserer Untersuchung auf die von den Produkthanbietern empfohlenen Obergrenzen für die Latenzwerte zurück, um die **jeweiligen produktspezifischen** Anforderungen im Sinne des § 157 (3) Satz 3 abzuleiten.¹³⁷

¹³³ Wie bereits in Abschnitt 3.1.1 ausgeführt, haben die QoS-Parameter Verzögerung und Jitter für Dienste OHNE determinierte Mindestanforderungen keine Relevanz für die Qualität des Produktes (lediglich auf die Geschwindigkeit, mit der die Produkte übermittelt werden).

¹³⁴ Demgegenüber können bei den Diensten MIT determinierten Mindestanforderungen eindeutige Festlegungen für ausgewählte Produkte (anhand der Codices) abgeleitet werden, ohne dass dazu weitere Annahmen über QoE-Aspekte zu treffen sind.

¹³⁵ Zwar bewirken die in Abschnitt 3.1.1 beschriebenen Timeoutroutinen, dass bei Überschreitung kritischer QoS-Werte die Anwendung abbricht. Dies erfolgt jedoch in der Regel erst zu einem Zeitpunkt, bei dem die Dienstqualität sowieso schon ein aus Nutzersicht nicht mehr tolerierbares Niveau erreicht hat.

¹³⁶ Es ist davon auszugehen, dass den ausgesprochenen Empfehlungen für die einzuhaltenden Latenzwerte Erkenntnisse aus entsprechenden QoE-Analysen zu Grunde liegen.

¹³⁷ Letztlich führt bei Diensten mit kontinuierlichen Datenströmen ab einem bestimmten Niveau jede Erhöhung der empfohlenen Latenz zu einer Absenkung der vom Anbieter intendierten Qualität. Daher vertreten wir die Auffassung, dass die vom Anbieter angestrebte Qualität – hier charakterisiert durch die empfohlene maximale Latenz – der Maßstab für die „Funktionsfähigkeit“ des Produktes darstellen sollte. Ein Überschreiten der empfohlenen Latenz würde aber die Qualität des betrachteten Produktes verschlechtern. Somit bilden die für die Grundversorgung ausgesuchten Produkte mit ihren zugehörigen Produktqualitäten den Maßstab für die technischen Mindestanforderungen.

3.2.3 Datenbasis und methodische Umsetzung

Um den Zielsetzungen dieser Studie Rechnung zu tragen haben wir für die Ableitung technischer Mindestanforderungen unsere methodische Herangehensweise an den zwei Hauptkategorien von Diensten ausgerichtet.

- Produkte mit kontinuierlichen Datenströmen (MIT determinierten Mindestanforderungen, „error tolerant“)
- Produkte mit diskreten Datenvolumina (OHNE determinierte Mindestanforderungen, „error intolerant“)

In die erste Kategorie fallen Audio- und Videoanwendungen, die anhand der Produktbeschreibung sowie den zu Grunde liegenden Standards und Formaten analysiert werden können.

Zu der zweiten Kategorie zählen die Dienste mit diskreten Datenvolumina, für deren Erhebung wir auf zwei verschiedene Methoden zurückgreifen:

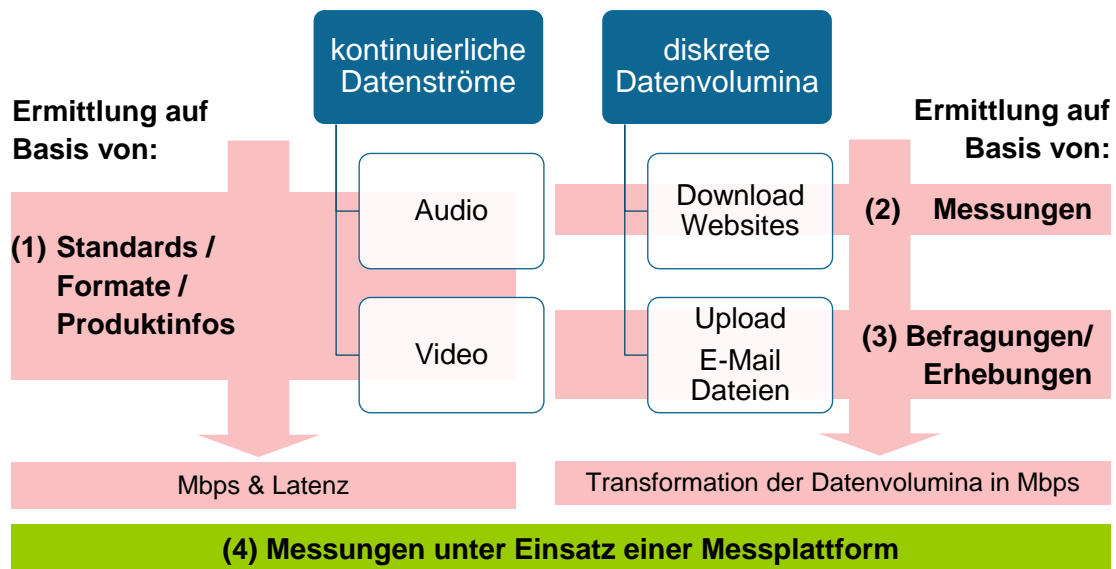
- Messungen
diese finden bei denjenigen Top-Produkten Anwendung, denen eine webbrowserbasierte Realisierung zu Grunde liegt. Bereits im Kapitel 2 hatten wir bei der Identifikation der Top-Produkte der jeweiligen Dienstekategorien zum einen herausgearbeitet, bei welchen Produkten eine webbrowserbasierte Realisierung vorliegt, zum anderen, welche Produkte für die Ermittlung der Mindestanforderungen herangezogen werden sollen (siehe Tabelle 2-19).
- Befragungen / Erhebungen
die gesuchten Datenvolumina werden im Fall von E-Mail über Befragungen und in den übrigen Fällen unter Rückgriff auf Studien und sonstige Desk Research ermittelt. Hierzu wurde ebenfalls in Kapitel 2 aufgezeigt, welche Produkte mit einem Upload von Dateien einhergehen, bzw. sich als Datentransfer bzw. Dateiaustausch kennzeichnen lassen und daher Ansprüche an die Datenübertragungsraten haben, die sowohl für den Downstream als auch den Upstream gleichermaßen Relevanz haben (siehe Tabelle 2-20).

Anhand der nachstehenden Abbildung 3-4 haben wir die drei Ermittlungsmethoden den beiden Dienstekategorien zugeordnet, deren Konzeption in den nachfolgenden Unterabschnitten erläutert wird. Die Ableitung maximal tolerierter Latenzwerte stellt ausschließlich auf die Dienste mit kontinuierlichen Datenströmen ab. Die weiteren Ausführungen in diesem Kapitel orientieren sich an dieser Struktur.

Im weiteren Abschnitt 3.2.4 wird die Methodik der unterstützenden Messungen einer Messplattform erläutert, anhand derer aus einer top-down Perspektive die Qualitäts-

und Leistungsmerkmale von bestehenden Internetzugängen bei der Nutzung von Diensten evaluiert werden können.

Abbildung 3-4: Anwendung von vier Ermittlungsmethoden (Datenübertragungsrate)



Quelle: WIK

3.2.3.1 Kontinuierliche Datenströme – Standards und Formate (Audio- und Video-Anwendungen)

In die Kategorie der Dienste mit kontinuierlichen Datenströmen fallen Telefonie und Videoanrufe bzw. –konferenzen sowie Streamingdienste. Auch Remote Desktop-Anwendungen lassen sich in diese Kategorie einordnen.

Für die Qualität dieser Dienste ist es aus Nutzersicht maßgeblich, ob Bild- und Tongabe sowohl in ihrem Niveau als auch über die Dauer der Wiedergabe (dem Dienst entsprechend definierten) Mindestanforderungen entsprechen. Die Qualität von Bild- und Tongabe des Audio- oder Videoobjekts wird dabei vom Anbieter vorgegeben. Die Qualität des Produktes drückt sich letztlich in der Höhe des Datenvolumens aus, welches den einzelnen Tönen oder Bildern im Audio- bzw. Videostrom zu Grunde liegt: je höher die Qualität, umso höher das damit einhergehende Datenvolumen.¹³⁸ Die zugehörigen Informationen, welche Produkte mit welchen Qualitäten und damit Datenübertragungsraten einhergehen, ermitteln wir unter Rückgriff auf Produktinformationen und

¹³⁸ Zu den Qualitätsmerkmalen von Audio- und Videoprodukten siehe Abschnitt 3.3. Es ist zu beachten, dass die Dateigröße durch Anwendung des Codec für die Übertragung komprimiert wird.

verwendete Formate der Hersteller sowie Standards (bspw. ITU oder ETSI).¹³⁹ Ebenso erheben wir unter Rückgriff auf die genannten Quellen die Anforderungen an die von dem jeweiligen Produkt tolerierte Latenz.¹⁴⁰

Abbildung 3-5: Dienste mit kontinuierlichen Datenströmen: Relevante Dienste- und Produktcharakteristika zur Bestimmung der Anforderungen

	unidirektional	bidirektional
Echtzeit	Livestream (Audio/Video) Remote Desktop	Sprach-/Videotelefonie / -konferenz
keine Echtzeit	Stream (Audio/Video)	
Produktqualität (Anbieterangaben zu Down-/Upload [Mbps] sowie Latenz [ms])		
Mindestanforderung Datenübertragungsrate	Down- stream	Down- und Upstream
Anforderung Latenz	maximal tolerierte Latenz	

Quelle: WIK

3.2.3.2 Diskrete Datenvolumina

3.2.3.2.1 Messungen

Messungen der Datenvolumina werden insbesondere für die webbrowserbasierten Dienste des Anhang V durchgeführt, die als repräsentativ für die Quantifizierung der technischen Mindestanforderungen ausgewählt wurden (vgl. Tabelle 2-19)

3.2.3.2.1.1 Messfunktionalität von Network Developer Tools

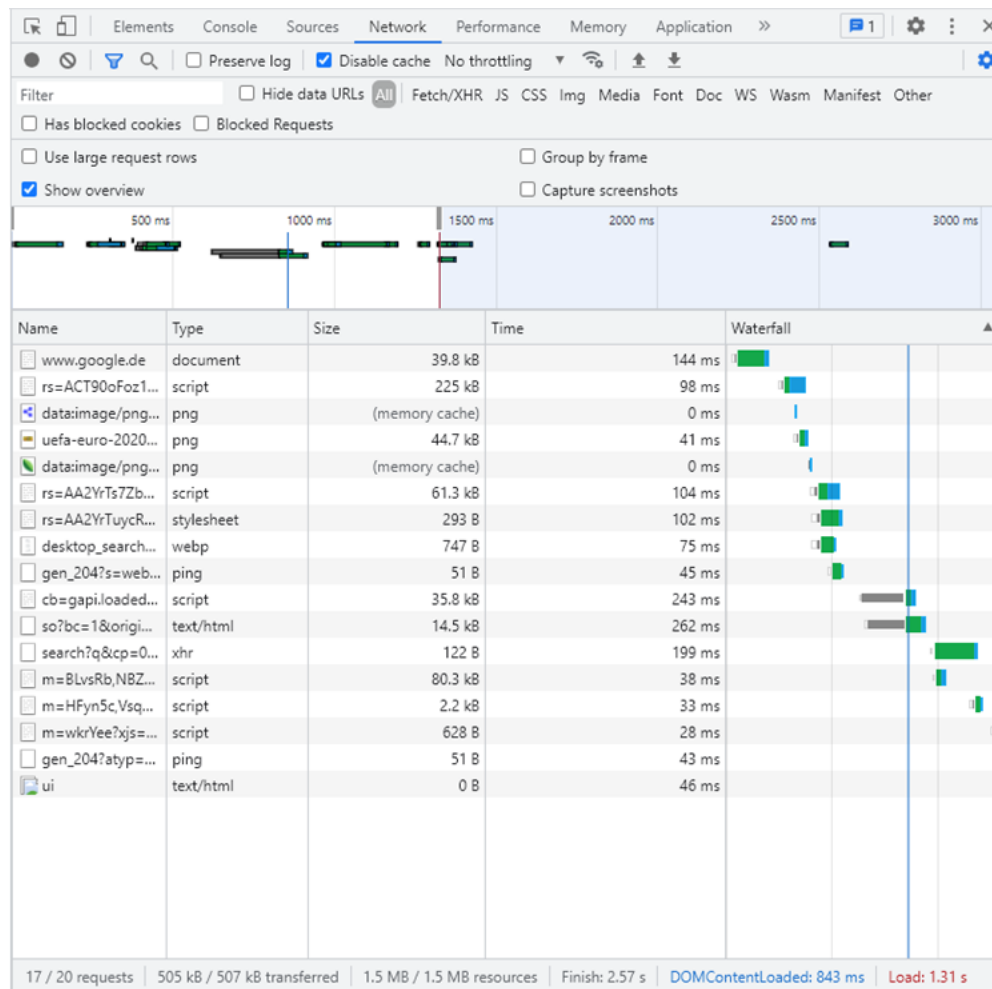
Zur Messung der übertragenen Datenmenge bei Nutzung eines Browsers wird die Developer-Edition des Google-Chrome Browsers verwendet. Unter dem Menüpunkt „wei-

¹³⁹ Es unterscheiden sich nicht nur die Produktqualitäten zwischen verschiedenen Anbietern. Vielmehr bilden die Anbieter bei ihren eigenen Produkten i.d.R. ein Spektrum an Produktqualitäten ab. Damit tragen die Anbieter den unterschiedlichen Restriktionen auf Seiten der Endkunden Rechnung, die zum Teil über Anschlüsse mit nur geringen oder zum Teil auch sehr guten Datenübertragungsraten auf ihrer Teilnehmeranschlussleitung ausgestattet sind.

¹⁴⁰ Wir verzichten darauf bei webbasierten Angeboten, wie beispielsweise YouTube, Messungen für Streaming-Produkte vorzunehmen. Vielmehr stellen wir auf die Qualitätsmerkmale der jeweiligen Audio-/Video-Anwendungen ab. Letztlich wäre der Mehrwert lediglich die Information über die Dauer und damit das Datenvolumen des Audio- oder Videoproduktes, welches dann wieder einer Rückrechnung bedürfte. Daher verzichten wir in diesem Kontext auf den messbasierten Ansatz.

tere Tools“ und „Entwicklertools“ bietet der Browser ein User-Interface an, in welchem Messwerte aus aktuellen Aktionen angezeigt werden.

Abbildung 3-6: Messungen mit Network-Developer-Funktionen des Browsers (hier: ChromeDev), Beispiel: Aufruf von „google.de“



Quelle: WIK, Screenshot aus ChromeDeveloper

Es werden die durchgeführten Aktionen aufgelistet, z.B. welche Grafiken geladen werden und welche Skripte ausgeführt werden. In der unteren Statuszeile wird dann angezeigt, welche Datenmengen übertragen wurden („transferred“). Hierbei handelt es sich um die tatsächlich über das Netzwerk übertragenen (komprimierten) Daten. Darüber hinaus wird die hierfür benötigte Zeit ausgegeben („Finish“) und auch eine Angabe darüber, in welcher Zeit das initiale HTML-Dokument geladen wurde („DOMContentLoaded“) und wie lange es gedauert hat, bis die ersten Inhalte für den Nutzer angezeigt werden bzw. nutzbar sind („Daten @ Load [MB]“). Bei den Zeitangaben ist zu beachten, dass diese spezifisch für die Messung sind und damit auch von der zur Verfügung ste-

henden Bandbreite des messenden Computers abhängen, also nicht generalisiert werden können. Aus Nutzersicht bzw. für das Nutzererlebnis relevant ist die Menge an Daten, die bis zum Zeitpunkt „Daten @ Load [MB]“ heruntergeladen wurden (siehe die Angabe in der Statuszeile unten rechts). Es wird also keine Zeitdauer gemessen, sondern die in einem definierten Zeitraum (bis zum Load-Ereignis) geladenen Daten. Hierdurch wird vermieden, dass Eigenschaften des messenden Anschlusses bzw. der zur Messung eingesetzten Hardware in das Ergebnis einfließen. Auch wenn das Laden der Daten zu diesem Zeitpunkt noch nicht abgeschlossen ist, so kann der Nutzer ab diesem Moment (bzw. ab dieser Datenmenge) mit dem Lesen des Inhalts und der Interaktion mit der Webseite beginnen. Wir bezeichnen die zu diesem Zeitpunkt erfasste Datenmenge als „Daten @ Load[MB]“ oder auch als „initial geladene Datenmenge bzw. -volumen. Das Nachladen der weiteren Elemente wird vom Betreiber der Seite als weniger relevant betrachtet und spielt für den Nutzer auch eine untergeordnete Rolle.¹⁴¹

Bei unseren Messungen haben wir neben dem initial geladenen Datenvolumen („Daten @Load [MB]“) auch die Zeitdauer sowie das gesamte Datenvolumen der Seite erfasst. Das Verhältnis aus initial geladenem Datenvolumen und Gesamtvolumen der Webseite hat ebenfalls Eingang in die Bewertung unserer Analyseergebnisse gefunden. Das erfasste Datenvolumen der gesamten Seite wird für die Ableitung von Mindestanforderungen zwar nicht direkt verwendet. Jedoch gibt diese Größe insbesondere im Verhältnis zum initial geladenen Datenvolumen eine Indikation zur Gestaltung der Website. Abhängig von der Architektur der Website stimmen der finale Wert der Website mit dem initial gemessenen Wert überein. Dagegen laden andere Websites z.B. beim Scrollen weitere Daten nach oder tun dies auch fortwährend, z.B. wenn neue Werbung zur Anzeige nachgeladen wird.

Durchführung der Messung:

Um die Messungen durchführen zu können, müssen im User-Interface folgende Einstellungen kontrolliert werden:

- „Disable cache“ muss aktiviert sein
- der Wasserfall¹⁴² muss nach Start-Zeit sortiert sein

Dann kann die eigentliche Messung starten. Hierzu ist zuerst die Aufnahme-Funktion zu aktivieren. Danach wird die zu messende Aktion durchgeführt (z.B. Eingabe der URL in der Adresszeile und Drücken der Enter-Taste oder Anklicken eines Buttons oder eines Links). Sofort beginnt das User-Interface mit der Aufzeichnung. Nach ein paar Sekun-

¹⁴¹ Siehe hierzu Developers google: Leistung des kritischen Rendering-Pfads analysieren <https://developers.google.com/web/fundamentals/performance/critical-rendering-path/analyzing-crp?hl=de>.

¹⁴² Wasserfall bzw. waterfall ist die graphische Darstellung im Entwicklertool des nacheinander ablaufenden Downloads von Inhalten über die Zeitachse bei Aufbau einer Website, siehe auch Abbildung 3-7.

den erscheint in der unteren Statuszeile in blauer Schrift ein Wert „DOMContentLoaded“ und meist kurz danach in roter Schrift ein Wert „Load“. Sobald der Wert „Load“ ausgegeben wurde, sollte die Aufnahme-Funktion wieder gestoppt werden, damit die Übersichtsdarstellung (Balkendiagramm Zeitachse, oben) nicht weiter verdichtet wird. Dort erscheint dann ein blauer und ein roter Balken, welcher den beiden Zeitpunkten („DOMContentLoaded“, blau bzw. „Loaded“, rot) entspricht. Nun muss mit der Maus im Diagramm, ausgehend vom roten Strich bis ganz nach vorne zum Anfang des Diagramms markiert werden (Maus auf den roten Strich setzen, klicken, festhalten und ganz nach links ziehen). Dann werden in der Statuszeile im Bereich „transferred“ zwei Werte ausgegeben. Der erste Wert entspricht hierbei der Datenmenge im markierten Zeit-Bereich (also vom Start der Messung bis zum Ereignis „Load“ (Daten @ Load[MB]), der zweite Wert der gesamten Datenmenge der Messung (bis zum Abschalten der Aufnahme-Funktion). Relevantes Messergebnis ist jetzt der erste Wert. Sollten im Balkendiagramm mehrere rote Striche erscheinen, so ist der auszuwählen, der auf der Zeitachse des Diagramms dem in der Statuszeile angezeigten Wert „Load“ entspricht.

Danach wird die Messung noch einmal durchgeführt, die Aufnahmefunktion jedoch nicht abgeschaltet. Die Messung wird laufen gelassen, bis sich der „transferred“ Wert nicht mehr ändert. Dieser Wert ist dann ebenfalls als Messwert zu übernehmen und stellt die gesamte Datenmenge der Website dar. Es sollte bei dieser Messung der Bildausschnitt nicht weiter gescrollt werden, da hierdurch weitere Daten geladen werden könnten (siehe unten).

Bei der Durchführung der Messungen sind unterschiedliche Verhaltensweisen der Websites zu beachten:

- a) Nach Eingabe einer Web-Adresse (oder Anklicken eines Links) wird die gesamte Website geladen. In diesem Falle kommt die Zählung der Datenmenge irgendwann zum Stillstand.
- b) Es wird zunächst nur der „obere“ Teil der Website geladen oder nur Teile des Textes und erst beim Scrollen werden weitere Inhalte nachgeladen. In diesem Falle kommt die Zählung erst zum Stillstand, wenn das untere Ende erreicht ist oder das Scrollen beendet wird.
- c) Es werden stetig neue Inhalte nachgeladen. Dies ist insbesondere bei Websites mit dynamischer (wechselnder) Anzeige von Werbeeinblendungen zu beobachten. In diesen Fällen kommt die Zählung unter Umständen gar nicht zum Stillstand.

Bei manchen Websites werden auch Videos automatisch geladen. Hierzu ist anzumerken, dass der Nutzer in seinem Browser die Autoplay-Funktion abstellen kann, sodass

Videos nicht automatisch gestartet werden; so obliegt es dem Nutzer darüber zu entscheiden, ob bzw. welche Videos er betrachten will.

3.2.3.2.1.2 Konzeption der Messung webbasierter Dienste

Der Großteil der Anhang V-Dienste (alle außer E-Mail und Audio- & Video-Anrufe) können eindeutig über messbare Webdienste abgebildet werden. Diese wurden im Rahmen der webbasierten Messung untersucht. Die übrigen beiden Anhang V-Dienste werden anhand des übertragenen Datenvolumens separat betrachtet.

Die zu messenden Webseiten wurden anhand von 24 Produkten analysiert und jeweils bis zu 5 Nutzungsvorgänge definiert. Als Nutzungsvorgänge wurden typische, messbare Aktionen von Usern auf den Websites untersucht, welche von diesen üblicherweise durchgeführt werden. Dabei wurde berücksichtigt, ob dieser Nutzungsvorgang auch mit dem Entwickler-Tool auf der individuellen Website messbar ist.

Insgesamt wurden je zu messendem Produkt sechs Messungen mit bis zu fünf Nutzungsvorgängen gemessen. Der erste Nutzungsvorgang ist hierbei immer der Aufruf der Website. Die folgenden Nutzungsvorgänge orientieren sich am Aufbau der Website. In den verschiedenen Messungen wurden dann bei Nutzungsvorgängen einzelne Parameter variiert, z.B. der Suchbegriff verändert. Auf dieser Basis wurden für jedes Produkt die Messungen insgesamt sechsmal durchgeführt, sodass im Fall von fünf Nutzungsvorgängen pro Produkt bis zu 30 Messwerte dokumentiert wurden. Für die Mehrheit der Produkte (15 der 24 Produkte) wurden exakt fünf Nutzungsvorgänge definiert. Bei den übrigen neun Produkten wurden davon abweichend ein bis vier Nutzungsvorgänge gemessen. Die Abweichung von den standardmäßigen fünf Messungen ergab sich aus der Struktur der Website des jeweiligen Produktes. In diesen Fällen waren keine fünf sinnvoll zu messenden Nutzungsvorgänge identifizierbar.

Tabelle 3-3: Anzahl der gemessenen Nutzungsvorgänge für die webbasierten Produkte

Webbasiertes Produkt	Anzahl der Nutzungsvorgang
Google	5
Idealo	5
Booking.com	4-5
Deutsche_Bahn	4-5
Kursnet	4
Techniker_KK	5
Service_Berlin	5
Bundesportal	5
Wikipedia	5
GoogleScholar	5
Fahrschule	5
Anton	5
Bild.de	5
Spiegel.de	5
Tageschau.de	5
Amazon	5
EbayKleinanzeigen	4-5
Arbeitsagentur	5
Stepstone	5
Xing	3-5
Volksbank	4
Deutsche_Bank	4
StadtGemeinde	4
Facebook	1

Quelle: WIK

Da bei facebook.com nur ein „Load“-Ereignis bei Aufruf der Startseite vorhanden ist (danach wird immer nur „nachgeladen“), konnte bei dem Produkt facebook.com nur ein Nutzungsvorgang gemessen werden.

Die Messungen wurden in der Zeit von Juni bis August 2021 durchgeführt.

3.2.3.2.2 Befragung und diskretionäre Erhebungen – Upload-Anforderungen

Für die Erhebung der Datenvolumina, die für den Upload relevant sind, ist das Network Developer Tool nicht geeignet, da dieses einen klaren Fokus auf die Download-Charakteristik einer Website legt. Allerdings ist der Upload bei webbasierten Diensten i.d.R. häufig vernachlässigbar. So kann z.B. beim Ausfüllen von Online-Formularen der Datenupload bereits beim Verlassen eines ausgefüllten Feldes erfolgen; entsprechend erfolgt daher der Upload schneller als die Nutzeraktion.

Ein etwas anderes Bild ergibt sich bei dediziertem Upload von z.B. Dateien (beispielsweise pdf-Dokumente oder Fotos). Hier können nennenswert hohe Datenvolumina vorliegen, die je nach Nutzer und Gegenstand stark variieren können.

In diese Kategorie haben wir auch E-Mails eingeordnet, die zwar nicht auf den Upload beschränkt sind, jedoch – aufgrund ihrer Eigenschaft, sowohl empfangen als auch gesendet zu werden – symmetrische Anforderungen an die Datenübertragung stellen.

Methodisch haben wir für den E-Mail-Dienst einen Fragenkatalog an fünf große Betreiber von E-Mail-Plattformen versendet und die gewonnenen Daten ausgewertet. Für die übrigen Kategorien haben wir stichprobenartig Dateigrößen ermittelt.

Aufgrund der Schwierigkeiten, die von uns erhobenen und für die Ableitung der Mindestanforderungen verwendeten Dateigrößen statistisch zu validieren, haben wir zusätzlich zu dem von uns ermittelten (durchschnittlichen) Wert auch Dateigrößen im unteren sowie oberen Bereich in unsere Untersuchung miteinbezogen (siehe hierzu die Analyse der Upload-Anforderungen in Abschnitt 3.4.2). Letztlich steigt bei Diensten mit diskreten Datenvolumina bei hohen Datenvolumen und gegebener Datenübertragungsrate zwar die erforderliche Datenübertragungsdauer,¹⁴³ das Funktionieren des Dienstes (im Sinne des erfolgreichen Uploads) wird dadurch jedoch nicht gefährdet,

3.2.3.2.3 Transformation des Datenvolumens in Bandbreitenanforderungen

In Abschnitt 3.1.2 wurde erläutert, dass bei Anwendungen ohne eindeutige Mindestanforderungen Freiheitsgrade bei der Ableitung einer Datenübertragungsrate bestehen: Es gibt ein Austauschverhältnis zwischen Datenübertragungsrate und Übertragungsdauer. Diesen Zusammenhang machen wir uns zunutze und berechnen die Datenübertragungsrate unter Vorgabe einer als zulässig definierten Übertragungsdauer.

Aus der maximal akzeptablen Übertragungszeit und dem zu übertragenden Datenvolumen ergibt sich näherungsweise die hierfür erforderliche Datenübertragungsrate:¹⁴⁴

$$\text{Datenübertragungsrate [Mbps]} = \text{Datenvolumen [MB]} * 8 / \text{Übertragungszeit [s]}$$

3.2.3.2.3.1 Datenvolumen und zu berücksichtigende Protokoll-Overheads

Zur genaueren Bestimmung der erforderlichen Datenübertragungsrate sind noch die aus den verwendeten Protokollen resultierenden Protokoll-Header zu berücksichtigen, da bei den Messungen mittels Entwickler-Tools der Browser lediglich die (komprimiert) übertragenen Nutzdaten ermittelt werden, die oberhalb der Transportschicht angesiedelt sind. Daher ist ein Zuschlag für das IP/TCP bei der Ermittlung der Mindestanforde-

¹⁴³ Dies schlägt sich dann letztlich in einer verminderten Qualität des Dienstes nieder (sofern der Nutzer die erhöhte Dauer der Diensterealisierung als solche empfindet; was letztlich die zu Grunde liegende Prämisse des QoE Ansatzes ist.

¹⁴⁴ Im Unterschied zu der in Abschnitt 3.1 gewählten Darstellungsweise ist hier das Datenvolumen in Megabyte dargestellt und bedarf daher der Transformation in Megabit (1 MB = 8 Mb).

rungen notwendig. Die Größe des Zuschlags ist von mehreren Faktoren¹⁴⁵ abhängig, weshalb an dieser Stelle auf die Empfehlungen des BEREC zurückgegriffen wird und ein pauschaler Aufschlag von 3%¹⁴⁶ für eine Bestimmung der IP-Payload veranschlagt wird.¹⁴⁷ Dieser findet für alle Dienste Anwendung, für die wir ausgehend vom Datenvolumen eine Transformation in die abgeleitete Datenübertragungsrate vornehmen.¹⁴⁸ Die nachfolgende Übersicht in Tabelle 3-4 dokumentiert die Anwendung des Aufschlags zur Berücksichtigung des Overheads im Rahmen dieser Studie. Dienste mit einem kontinuierlichen Datenübertragungsstrom haben wir aufgrund der abweichenden Methodik nicht beaufschlagt. Hierzu verweisen wir auf die Ableitung der Werte in Abschnitt 3.3. In der tabellarischen Übersicht findet sich für diese Dienste daher der Eintrag „nein“.

Auf eine Betrachtung weiterer Aufschläge für eine Gegenüberstellung der Datenübertragungsrate zur Netzzugriffsschicht wird verzichtet, da diese im Wesentlichen von der eingesetzten Technologie abhängig ist und somit nur im Einzelfall ausgewertet werden kann. Da die netztechnische Realisierung des Dienstes auf den Schichten unterhalb des IP/TCP durch den Netzbetreiber für die in Rede stehenden Mindestanforderungen für den Internetzugangsdienst irrelevant ist, haben wir diese nicht berücksichtigt.¹⁴⁹

¹⁴⁵ Als Faktoren sind unter anderem die verwendeten Transport-Protokolle wie TCP und UDP, die Internet-Protokolle IPv4, IPv6 mit Ihren jeweiligen Header-Optionen, als auch die Netzzugriffstechnologien mit ihrem jeweiligen Einfluss auf die maximale Paketgröße (MTU) zu nennen.

¹⁴⁶ Siehe hierzu Kapitel 3.1.3 aus BoR(17) 178 „Net Neutrality Regulatory Assessment Methodology“, https://berec.europa.eu/eng/document_register/subject_matter/berec/regulatory_best_practices/methodologies/7295-berec-net-neutrality-regulatory-assessment-methodology

¹⁴⁷ Wie beschrieben hängt der Zuschlag stark von den genutzten Protokollen ab

- TCP/UDP (ggf. plus Options z.B. Timestamp)
- IPv4/IPv6 (ggf. Plus Options insbesondere bei IPv6)
- Ethernet mit PPPoE

Je nach Technik auch noch auf tieferem Layer: FEC (forward error correction) bei PON Netzen und QAM Fehlerrobustheit bei DSL Netzen. Somit ist es schwierig, einen konkreten Wert anzugeben, ohne auf die Besonderheiten und mögliche Abweichungen hinzuweisen.

¹⁴⁸ Bei den Diensten mit determinierten Mindestanforderungen liegt – wie im Fall von Sprache – eine explizite Berücksichtigung der Protokoll-Overheads zu Grunde. Im Fall von Video ist aufgrund maximalen Paketgröße der Overhead zu vernachlässigen.

¹⁴⁹ In diesem Fall wird darauf abgestellt, dass der Anbieter die Nutzdatenlast erbringen muss und nicht eine „synchronisierte“ Übertragungsrate. Dies spiegelt sich zum Teil auch in den aktuellen Produkten wieder, bei denen z.B. 50 Mbps vermarktet werden aber 51,3 Mbps definiert sind (Ausdruck einer regelmäßig eingestellten Überprovisionierung der Anschlussleitung).

Tabelle 3-4: Übersicht: Anwendung des Overhead-Aufschlags für die IP/TCP Transportschicht

Anhang-V Dienste	Overhead [=3%]
(1) eMail [privat]	ja
(2) Suchmaschinen, die das Suchen und Auffinden aller Arten von Informationen ermöglichen	ja
(3) grundlegende Online-Werkzeuge für die Aus- und Weiterbildung	ja
(4) Online-Zeitungen oder Online-Nachrichten	ja
(5) Online-Einkauf oder Online-Bestellung von Waren und Dienstleistungen	ja
(6) Arbeitssuche und Werkzeuge für die Arbeitssuche	ja
(7) Berufliche Vernetzung	ja
(8) Online-Banking	ja
(9) Nutzung elektronischer Behördendienste	ja
(10) soziale Medien und Sofortnachrichtenübermittlung	ja
(11) Anrufe und Videoanrufe (Standardqualität: SD)	nein

Teleheimarbeit	Overhead [=3%]
eMail [beruflich]	ja
Datenaustausch	ja
Cloudbasierte Dienste	ja
Remote-Desktop	nein
Anrufe und Videoanrufe (SD) [beruflich]	nein
(Gruppen-) Videokonferenzen (SD)	nein

Online-Inhalte-Dienste	Overhead [=3%]
Video-Streaming	nein
Musik-Streaming	nein

Quelle: WIK

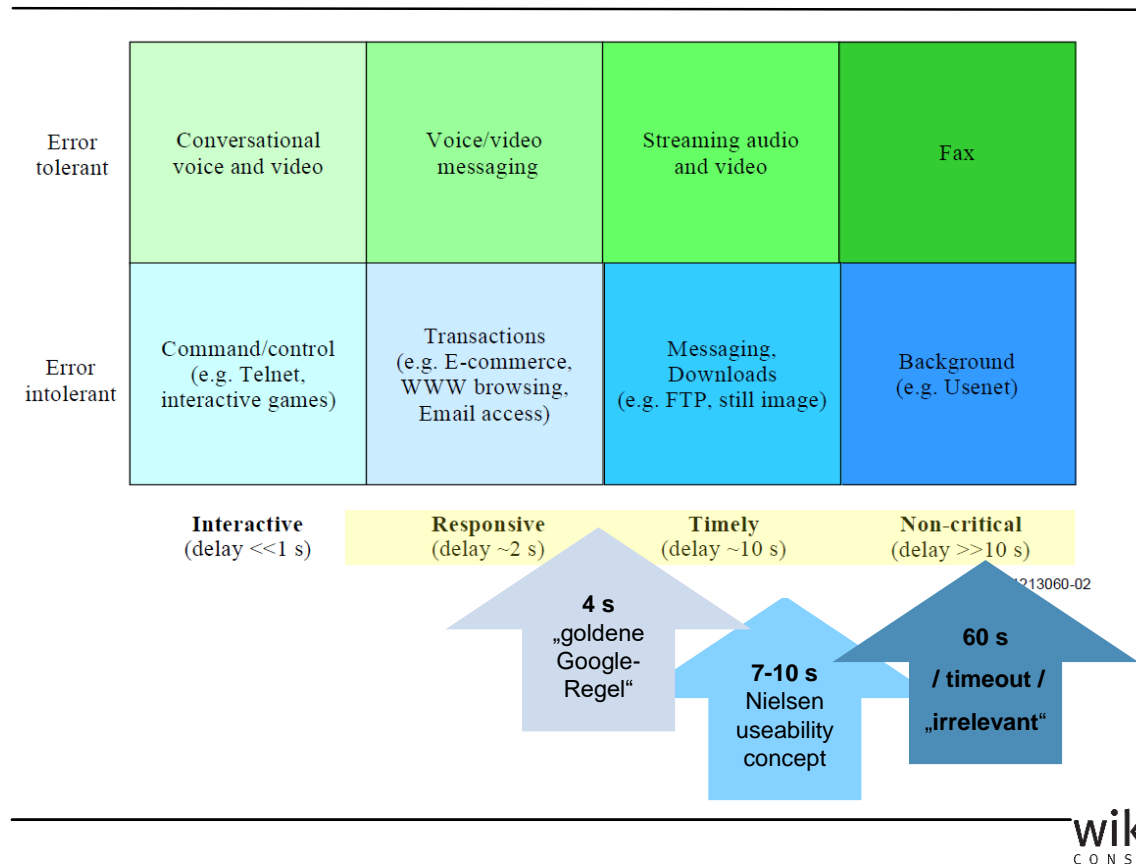
3.2.3.2.3.2 Dienstbezogene zulässige Übertragungsdauern

Hier führen wir nun aus, auf welche Bewertungsbasis wir für den Ansatz der zulässigen Übertragungsdauer zurückgreifen. Dazu verweisen wir auf die zusammenfassende Abbildung 3-7, in der die folgenden Ansätze hervorgehoben sind:

- ITU
- Goldene Google Regel, 4 Sek.¹⁵⁰
- 7 Sek. der USO-Studie (KOM (2016))
- Usability Konzept von Nielsen, 10 Sek.

¹⁵⁰ Die Core Web Vitals von Google, Chromium Blog (2020): Introducing Web Vitals: essential metrics for a healthy site; <https://blog.chromium.org/2020/05/introducing-web-vitals-essential-metrics.html>

Abbildung 3-7: Verwendete Ansätze zur Konkretisierung tolerierter Übertragungsdauern



Quelle: WIK; erweiterte Darstellung unter Rückgriff auf ITU-T G.1010 (11/2001): S. 6

Für unsere Analyse greifen wir auf die vier, von der ITU etablierten Kategorien zurück (interactive, responsive, timely und non-critical) und haben die für den Universaldienst relevanten Dienste den entsprechenden Kategorien zugeordnet (Tabelle 3-5). Dabei fällt auf, dass der Großteil der Anhang V-Dienste in die Kategorie „responsive“ fällt, da es sich bei diesen im Wesentlichen um webbasierte Dienste handelt.¹⁵¹

¹⁵¹ Dies bedeutet implizit, dass wir für diese unterschiedlichen Anhang V-Dienste unterstellen, dass die Qualitätsbeurteilung durch den Nutzer mit Blick auf die tolerierte Übertragungsdauer uniform ist und nicht nach Diensten differenziert.

Tabelle 3-5: Zuordnung der ITU-Kategorien auf die universaldienstrelevanten Produkte

Dienst	zeitliche Toleranz
(1) eMail [privat, ohne VPN-Zuschlag]	timely
(2) Suchmaschinen, die das Suchen und Auffinden aller Arten von Informationen ermöglichen	responsive
(3) grundlegende Online-Werkzeuge für die Aus- und Weiterbildung	responsive
(4) Online-Zeitungen oder Online-Nachrichten	responsive
(5) Online-Einkauf oder Online-Bestellung von Waren und Dienstleistungen	responsive
Unterkategorie: Herunterladen von Software (ohne Spiele)	-
(6) Arbeitssuche und Werkzeuge für die Arbeitssuche	responsive
(7) Berufliche Vernetzung	responsive
(8) Online-Banking	responsive
(9) Nutzung elektronischer Behördendienste	responsive
(10) soziale Medien und Sofortnachrichtenübermittlung	responsive
(11) Anrufe und Videoanrufe (Standardqualität: SD)	interactive
eMail [beruflich, mit VPN-Zuschlag]	timely
Datenaustausch [mit VPN-Zuschlag]	timely
Cloudbasierte Dienste	timely
Remote-Desktop	interactive
Videokonferenz	interactive
Video-Streaming	timely
Musik-Streaming	timely
Internetradio	interactive
Lineares Fernsehen	interactive

Quelle: WIK

In einem weiteren Schritt sind die Kategorien in konkrete tolerierte Übertragungsdauern zu überführen. Die nachfolgende Tabelle 3-6 stellt dazu die verschiedenen Empfehlungen vergleichend nebeneinander. Aus dieser Gegenüberstellung der verschiedenen Ansätze wird deutlich, dass es keine eindeutigen, allgemeingültigen Werte für die tolerierte Übertragungsdauer gibt, sondern vielmehr Spannbreiten oder Obergrenzen abgelesen werden können. Da unsere Untersuchung auf die Ableitung von Anforderungen für eine **Mindest**versorgung abzielt, erachten wir es als angemessen, die weniger strengen Werte für unsere Auswertung zu Grunde zu legen. Entsprechend ziehen wir die höheren Werte für die zeitlich tolerierte Übertragungsdauer heran. Diese sind in der letzten Spalte unter der Überschrift „Ansatz für Mindestanforderungen“ dargestellt.

Tabelle 3-6: Vergleich der zeitlichen Toleranz nach ITU, Google „Goldene Regeln“, Nielsen „useability concept“ und in der Untersuchung angewendete Werte

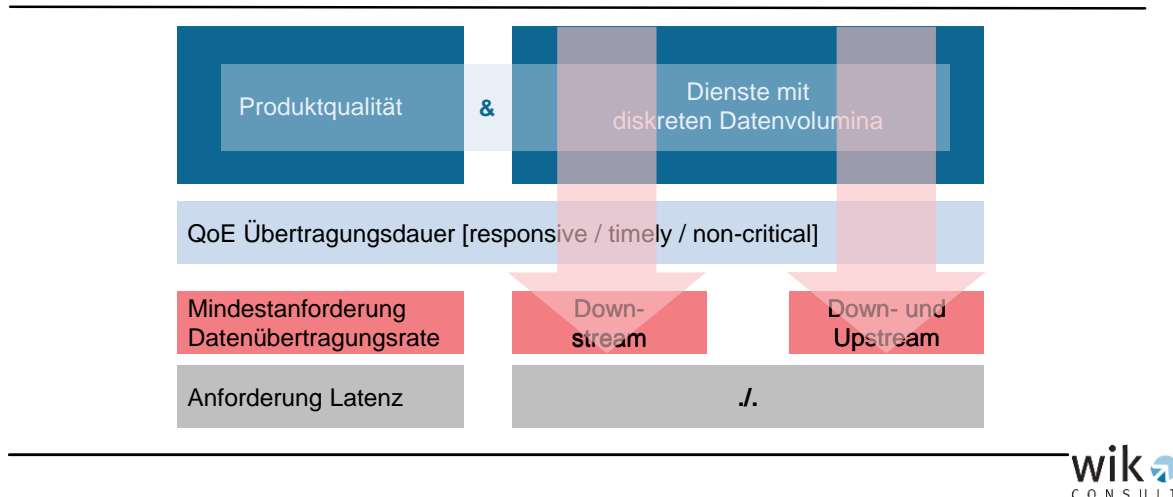
Kategorie	tolerierte Übertragungs-dauer [s]	Ansatz für Mindest-anforderungen [s]
ITU: interactive	<< 1	∅
ITU: responsive	~ 2	4
ITU timely	~ 10	10
ITU non-critical	>> 10	60 / >60
goldene Google-Regel	4	
Nielsen useability concept	7-10	

Quelle: WIK, auf Basis von Abbildung 3-7

Zu der ersten und der vierten Kategorie ist folgendes anzumerken: Dienste, die der Kategorie „interactive“ zugeordnet sind, gehören zu den Diensten mit kontinuierlichen Datenströmen; sie sind im Kontext der Transformation der Datenvolumina nicht von Relevanz.

In der Kategorie „non-critical“ haben wir eine Differenzierung vorgenommen, die es uns erlaubt, ausgewählte Dienste mit sehr großen Datenvolumina zu separieren. Für die sehr datenintensiven Dienste, wie das Herunterladen von Software, haben wir davon abgesehen, die von uns eng gesetzte Anforderung von 60 Sekunden „non-critical“ anzusetzen. Herkömmlich werden solche Downloads zu Zeitpunkten durchgeführt, wenn keine anderen Anwendungen genutzt werden. Anstatt eine großzügige Zeitvorgabe zu machen, haben wir hier auf die Transformation verzichtet und beziehen diese Kategorie nicht als bestimmende Anwendung in die Ableitung der Mindestanforderungen ein.

Abbildung 3-8: Dienste mit diskreten Datenvolumina: tolerierte Übertragungsdauer als Vehikel zur Bestimmung der Anforderungen an die Datenübertragungsrate



Quelle: WIK

3.2.4 Methodik der unterstützenden Messungen einer Messplattform

Für diese Studie werden Messergebnisse der von zafaco betriebenen kyago Benchmarking Plattform ausgewertet, um Online-Inhaltendienste wie Webseiten und Video-streaming mit typischen Key-Performance-Indikatoren zu untersuchen.

Bei diesen Messungen werden Internetzugänge unterschiedlicher Anbieter und Datenübertragungsraten gegenübergestellt, um gegebenenfalls vorliegende Unterschiede in Bezug auf diese Anschlüsse darzustellen.

Methodik und Zeitraum der Messungen

Die Messungen erfolgen auf Basis der kyago-Plattform im Rahmen eines kontinuierlichen Benchmarks. Die hierüber erfasste Servicequalität erlaubt, Indikatoren zur Sicherung und Optimierung von Qualitätsaspekten in konvergenten Netzen abzuleiten.

Die Basis hierzu ist die stetig wachsende NGN-Benchmark-Datenbank mit Qualitätskennzahlen der führenden DSL-, Glasfaser-, Kabel-, Mobilfunk- und VoIP-Anbieter.¹⁵²

¹⁵² Für die Methodik hinter dem Aufbau, den Messungen und Qualitätskennwerten siehe kyago Whitepaper "Die Multi Play- und Benchmarking Plattform". Das Whitepaper ist öffentlich verfügbar unter <https://zafaco.de/de/whitepaper>. Die in diesem Dokument ausgewerteten Messdaten wurden zwischen dem 17.05.2021 und dem 06.06.2021 erhoben.

3.2.4.1 Web Services

Auch bei hohen Besucherzahlen und zeitlich begrenzten Verkaufsaktionen erwarten Kunden eine optimale Performance. Unzufriedene Kunden entstehen durch lange Ladezeiten, stockenden Musik und Videoclips oder nicht erreichbare Websites. Untersuchungen haben ergeben, dass der Durchschnittsnutzer nicht länger als drei Sekunden¹⁵³ auf das vollständige Erscheinen einer Website wartet.¹⁵⁴ 90 Prozent der Internet-Kunden kehren spätestens nach drei fehlgeschlagenen Zugriffsversuchen einem Online-Shop den Rücken (Quelle: Easynet Deutschland).

Mit der Multiplay- und Benchmarking-Plattform werden sowohl leistungsorientierte QoS-Messungen wie DNS Auflösungszeiten und Antwortzeiten zu Gaming-Servern als auch anwenderorientierte QoE-Messungen wie Kepler, Website-Ladezeiten und Uploadmessungen zu unterschiedlichen deutschen Webhoster-Anbietern durchgeführt.

Bei den anwenderorientierten QoE-Messungen erfolgt ein Webseitenabruf über einen Browser. Es werden standardisierte Testseiten (ETSI Kepler reference page) von nationalen und internationalen Webhosting-Anbietern abgerufen und auf Ebene des Transportlayers gemessen.

Des Weiteren erfolgt eine Messung von unterschiedlichen, häufig genutzten Webseiten auf Ebene des Applikationslayers.

Zur Ermittlung der Qualitätskennwerte werden die beiden nach Marktanteilen führenden Browser in Deutschland (Chrome und Firefox)¹⁵⁵ verwendet.

Bei der Ermittlung der Messwerte von Webseitenaufrufen werden wesentliche Teile der nach W3C "Navigation Timing" standardisierten Triggerpunkte verwendet.

Test Case Webhosting

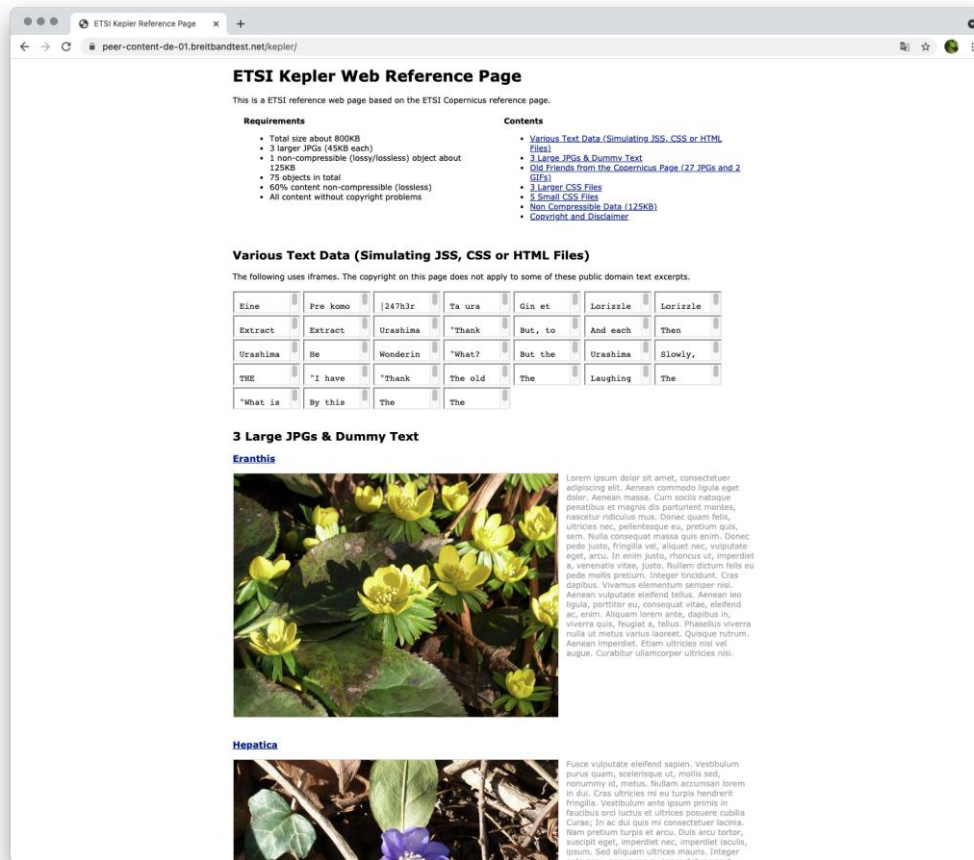
Bei dem Test Case Webhosting wird eine standardisierte Testseite (ETSI Kepler reference page) von nationalen Webhosting-Anbietern abgerufen und die Ergebnisse über Anschlüsse unterschiedlicher Anbieter und Geschwindigkeiten ausgewertet.

¹⁵³ Google (2016): The Need for Mobile Speed; September 2016.

¹⁵⁴ Die Grenze von 3 Sekunden hatten wir bereits im Rahmen der Qualitätsmerkmale unter der Überschrift QoE dargestellt (siehe Abschnitt 3.1.2).

¹⁵⁵ Statista (2021): Marktanteile führender Browser in Deutschland; <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/13007/umfrage/marktanteile-der-browser-bei-der-internetnutzung-in-deutschland-seit-2009/>

Abbildung 3-9: Aufbau ETSI Kepler Web Reference Page



Quelle: zafaco, Screenshot ETSI Kepler Web Reference Page

Die definierte Webseite bietet einheitliche Voraussetzungen zum Vergleich über unterschiedliche, sich ändernde Leitungsparameter.

HTTP Session Duration

Mit dem Messwert HTTP Session Duration wird der vollständige Download der standardisierten Testseite in Sekunden gemessen.

HTTP Session Duration ist im Kontext dieses Dokumentes als die Zeit definiert, die vom Absenden des initialen HTTP Requests (GET HTTP) bis zum Eintreffen der letzten HTTP Response (HTTP 200 OK) vergeht.

Nachfolgend werden die bei den Tests verwendeten Webhosting-Anbieter aufgeführt.

Tabelle 3-7: Übersicht Webhosting-Anbieter

Webhosting-Provider in Germany	
1.	1&1 IONOS
2.	Alfahosting
3.	domainfactory
4.	Hetzner
5.	STRATO

Quelle: zafaco

Test Case Websites

Bei dem Test Case Websites werden populäre Webseiten unterschiedlicher Kategorien abgerufen und die Ergebnisse über Anschlüsse unterschiedlicher Anbieter und Geschwindigkeiten ausgewertet.

Website Load Duration

Mit dem Messwert Website Load Duration wird der Download und die Verarbeitung aller Elemente in Sekunden gemessen.

Website Load Duration ist im Kontext dieses Dokumentes als die Zeit definiert, die vom Absenden des Webseitenaufrufs im Browser bis zum Erhalten und Verarbeiten aller Elemente vergeht. Hierunter fallen neben den synchronen Elementen der „ready for Presentation Time“ auch alle nachgeladenen Elemente, unter anderem asynchrone JavaScripte, Bilder oder Medien.

Weiterführende Kommunikationen, beispielsweise einer Client/Server Kommunikation durch JavaScripte, werden hier nicht berücksichtigt. Der Triggerpunkt ist erreicht, wenn das nach W3C definierte „load event“ erreicht wurde.

Nachfolgend werden die bei den Tests verwendeten Webseiten aufgeführt.

Tabelle 3-8: Übersicht Webseiten

Websites			
1.	bing.com	6.	paypal.com
2.	facebook.com	7.	twitter.com
3.	fussball.de	8.	wikipedia.org
4.	google.de	9.	zalando.de
5.	netflix.com		

Quelle: zafaco

3.2.4.2 WebTV

Der weltweite Video-Traffic wird 2022 bis zu 82% des Endkunden-Traffic ausmachen. Deutlich über die Hälfte hiervon wird durch Internet-Video-Portale wie YouTube, Amazon Prime, Netflix, Sky oder Mediatheken verursacht.¹⁵⁶

Internet-Service-Provider stellt dies im Hinblick auf die Service-Qualität vor eine große Herausforderung. Sie müssen hierfür nicht nur die Dienstqualität in ihrem eigenen Netz sicherstellen, sondern auch ein besonderes Augenmerk auf die Zuführung des Video-Contents über diverse Peerings und Content-Delivery-Networks (CDN) sicherstellen.

Test Case WebTV

Der WebTV Test führt Messungen im Over-the-Top-Ansatz zu unterschiedlichen Video Content Providern durch. Für den Abruf eines Videos kommt je nach Voraussetzung ein Firefox oder Chrome Webbrowser zum Einsatz.

Die Messungen werden wenn möglich mittels adaptiven Streamings durchgeführt. Je nach VoD Anbieter werden unterschiedliche Streaming-Ansätze mittels HTML5 MPEG DASH oder Silverlight angeboten.

Hierbei kommt typischerweise der MP4 Video Container mit einer H.264 Codierung und einem MP3, AAC oder OGG Audio Codec zum Einsatz.

Initial Buffering Time

Der Messwert Initial Buffering Time gibt die Zeit in Sekunden an, die zwischen dem initialen Buffering Signal des Videoplayers bis zum Starten der Videowiedergabe (First Playout) vergeht.

Der Video Player startet ohne Nutzerinteraktion nach dem Erreichen eines für ihn definierten Video-Buffer Schwellwertes. Dieser Schwellwert wird i.d.R. durch den Player oder den VoD Anbieter festgelegt. Der Status des Video-Players wird entweder direkt durch geeignete Schnittstellen ermittelt oder durch ein Video Player Model simuliert.

Nachfolgend werden die bei den Tests verwendeten WebTV-Anbieter aufgeführt.

¹⁵⁶ „Cisco (2019) „Cisco Visual Network Index

Tabelle 3-9: Übersicht WebTV-Anbieter

Overview WebTV Provider	
WebTV Provider	
1.	Amazon
2.	ARD
3.	Joyn
4.	Netflix
5.	Rakuten
6.	SKY
7.	YouTube
8.	zattoo
9.	ZDF

Quelle: zafaco

3.2.4.3 Ende-zu-Ende Sprachqualitätsmessungen

Die Ende-zu-Ende Sprachqualitätsmessungen werden zwischen den an den Standorten in Deutschland verteilten Messeinheiten durchgeführt. Dazu werden Verbindungen über Endkundenschnittstellen aufgebaut. Das heißt, dass die Messeinheiten jeweils über ISDN eines vom jeweiligen Anbieter unterstützten IADs¹⁵⁷ oder Routers die Verbindungen aufbauen bzw. entgegennehmen. Das IAD wandelt hierbei die über ISDN initiierten Verbindungen in VoIP beziehungsweise die entgegengenommen VoIP Verbindungen in ISDN um.

Zur Ermittlung der Ende-zu-Ende Sprachqualität der jeweiligen Verbindungen werden Standard ITU-T Sprachproben männlicher und weiblicher Stimmen mehrfach in beide Kommunikationsrichtungen übertragen und im anschließenden automatisierten Bewertungsverfahren mit den Originalen verglichen. Die Bewertung der Sprachqualität erfolgt nach dem ITU-T Standard P.863 POLQA; die Durchführung der Sprachqualitätsmessungen richtet sich nach dem Leitfaden ETSI EG 202 057 – Part 1-4.

Die Ende-zu-Ende Sprachqualität wird bei jeder Verbindung mittels HD Voice über S₀ gemessen. Dabei handelt es sich um den Breitbandsprachdienst, 7kHz audio-coding within 64 kbps, basierend auf dem Codec G.722.

Falls eine Verbindung nicht über G.722 realisiert werden kann, wird diese mit der Rückfalllösung G.711 aufgebaut.

Das gleichzeitige Telefonieren und Übertragen von Daten mit Up- und Downloads ist ein weiteres Nutzungsszenario der Produkte. Daher wurden Sprachqualitätsmessungen mit parallelem Up- und Download in die Messungen aufgenommen. Dadurch werden Informationen über eine ggf. vorgenommene Priorisierung der Sprachdaten bei voller Auslastung der Bandbreite geliefert.

¹⁵⁷ Integrated Access Device.

Test Case Speech Delay

Der Messwert wird mit Hilfe des POLQA Algorithmus durch den Vergleich der ca. acht Sekunden langen Standard ITU-T Referenz-Sprachprobe mit den nach Übertragung aufgezeichneten Sprachproben ermittelt.

Hierbei wird eine aufgezeichnete Sprachprobe fragmentweise mit der Referenz-Sprachprobe verglichen und für jedes dieser Sprachfragmente ein Speech Delay-Wert errechnet. Aus diesen Einzelwerten wird wiederum ein Durchschnittswert gebildet, der damit die mittlere Sprachlaufzeit der gesamten Sprachprobe in Millisekunden darstellt.

Zur Ermittlung dieses Messwertes wird eine hohe Zeitsynchronität der beteiligten Messeinheiten benötigt. Diese Synchronität wird über das NTP¹⁵⁸ gewährleistet, dessen Genauigkeit zusätzlich durch statische und dynamische Korrekturmechanismen erhöht wird.

3.3 Mindestanforderungen der Dienste mit kontinuierlichen Datenströmen (Dienste MIT DETERMINIERTEN Mindestanforderungen)

3.3.1 Videostreaming

3.3.1.1 Anforderungen von Videoanwendungen an die Datenübertragungsrate

Die Qualität einer Videodatei wird durch mehrere Parameter definiert. Generell gilt: Je besser die Qualität, desto größer muss die Videodatei sein. Merkmale sind

- Dateiformat,
- Videoauflösung,
- Seitenverhältnis und
- Bildwiederholfrequenz (Framerate).

Um Videos verschiedener Plattformen vergleichen zu können, muss man die unterschiedlichen Formate berücksichtigen. Insgesamt gibt es über 60 verschiedene Videoformate, davon ca. zehn verlustfreie. Verlustfreie Videocodices erhalten die originale Qualität und arbeiten ohne verlustbehaftete Kompression, gehen dadurch aber mit einem deutlich größeren Datenvolumen einher. Bekannte Videoformate sind etwa MP4, AVI, MOV und MPG. Ein AVI Video ist bei gleicher Auflösung beispielsweise größer als ein MP4 Video.

¹⁵⁸ Network Time Protocol.

Zusätzlich gilt zu beachten, dass auch die Qualität des im Video eingebetteten Audio-Teils ein Faktor für die endgültige Größe bzw. das Datenvolumen eines Videos ist.

Die Auflösung eines Videos wird durch Pixelanzahl und Seitenverhältnis bestimmt. Ist die Auflösung mit 480p angegeben, besteht das Bild beispielsweise aus 480 vertikalen und 720 horizontalen Pixeln. Bei einer Auflösung von 720 × 576 (PAL, traditionelle Fernsehnorm)¹⁵⁹ beziehungsweise 720 × 480 Pixeln spricht man von Standard Definition (SD). „SD“ wird nach wie vor als Sammelbegriff für Videoauflösungen verwendet, die bereits beim analogen Fernsehempfang üblich waren. Von High Definition (HD) spricht man erst ab 720p und 1080p. Weitere, höherwertigere Auflösungen sind 4k UHD (ultra HD) oder 8k UHD. Diese Auflösung sind 4, bzw. 8 mal so hoch wie HD.

Mit der Entwicklung von höheren Auflösungen (HD; insbesondere bekannt als Anwendung HDTV) veränderte sich auch das Seitenverhältnis. Das frühere Kompaktformat 4:3 wurde zunehmend von Breitbildformaten abgelöst, da diese eher dem menschlichen Gesichtsfeld entsprechen. Heute gilt das Seitenverhältnis von 16:9 als Standard, da die meisten Serien und Filme direkt in diesem Format gedreht werden.¹⁶⁰ Zudem besitzen auch die meisten Wiedergabegeräte mittlerweile ein Seitenverhältnis von 16:9.¹⁶¹

Tabelle 3-10: Übliche Video-Auflösungen

Pixel Breite	Pixel Höhe	Seitenverhältnis	Benennung	Abkürzung
640	360	16:9	Standard Definition	SD
1280	720	16:9	High Definition Ready	HD Ready
1920	1080	16:9	High Definition	HD
3840	2160	16:9	Ultra High Definition	UHD
7680	4320	16:9	8K Ultra High Definition	8K UHD

Quelle: WIK auf Basis von <https://blog.teufel.de/unterschied-uhd-4k-teufel-blog/> und für die Standard-Definition <https://support.google.com/youtube/answer/6375112?hl=de&co=GENIE.Platform%3DDesktop>

Die Framerate ist die Geschwindigkeit, mit der die Stillbilder eines Videos gezeigt werden; sie wird in Frames pro Sekunde (FPS) gemessen. Wenn ein Video mit 24 FPS aufgenommen und abgespielt wird, dann werden jede Sekunde 24 Stillbilder gezeigt.

Gängige Frameraten sind 24, 25, 30 oder 60 FPS. Neue Videostandards unterstützen sogar 120, 240 oder 300 Bilder pro Sekunde.

¹⁵⁹ Bereits damals wurden unter dieser Bezeichnung verschiedene Auflösungen unter dem Sammelbegriff SD zusammengefasst. Sie findet heute daher oft auch bei geringeren Auflösungen Verwendung, https://de.wikipedia.org/wiki/Standard_Definition_Television

¹⁶⁰ Dieses Format gilt als Standard für Fernseh-, nicht hingegen für Kino-Produktionen (2,35:1).

¹⁶¹ Wertgarantie (2021): 4 zu 3; <https://www.wertgarantie.de/lexikon/tv/4-zu-3>.

Bei der Analyse der Video-Content-Angebote haben wir uns folgende Plattformen angeschaut:

- YouTube
- Netflix
- Amazon Prime
- Bild
- Tagesschau
- T-Online
- Spiegel
- Facebook

Auf allen Plattformen spielen Video-Informationen eine wichtige Rolle. Die Videos liegen in unterschiedlichen Qualitäten vor. Sofern man nicht manuell die gewünschte Videoqualität auswählt, starten die Videos immer in einer automatisch nach Bandbreite des Users gewählten Auflösung (funktionierte bei allen außer bei Bild.de). Die beiden häufigsten Qualitätsstufen, die wir fast auf jeder Seite, die manuelles Auswählen zulässt, gefunden haben, waren:

- 480p bei 16:9 (SD Video)
- 1080p bei 16:9 (HD Video)

Bei YouTube, Netflix oder Amazon Prime ist es zudem mittlerweile möglich, Videos in UHD Auflösungen abzurufen.

Bei manchen Websites konnten wir eine sehr geringe „Notfall-Auflösung“ finden. Netflix arbeitet(e) z.B. mit einer geringen Auflösung bei einer Datenübertragungsrate von 0,25 Mbps. Allerdings war – wie bei dieser Datenübertragungsrate zu erwarten – die Qualität stark eingeschränkt. Seit 2020 wurde diese Mindestbandbreite bei Netflix auf 0,5 Mbps erhöht; diese liegt aber nach wie vor unterhalb des Standardniveaus, welches wir in unserer Darstellung herangezogen haben.

Letztlich ist bei den Video- und Streaming-Angeboten eine große Vielfalt zu beobachten.¹⁶² In der nachfolgenden Tabelle 3-11 haben wir die im Rahmen der Recherche erhobenen Informationen zusammengestellt. Aus den beiden letzten Spalten in Tabelle 3-11 geht hervor, dass die Streaminganbieter ihre Produkte zum Teil nicht nur als Stream, sondern auch als Datei zum Download anbieten. Sofern der Nutzer von dieser Option Gebrauch macht, ändert sich jedoch der Charakter des Dienstes insofern, als dass die Eigenschaft des kontinuierlichen Datenstroms verloren geht, da damit die Datenübertragung der heruntergeladenen Datei vom Zeitpunkt des Konsums des Produktes entkoppelt wird. Eine solche Nutzungsform findet i.d.R. dann Anwendung, wenn die verfügbare Datenübertragungsrate des Internetzugangs nicht hinreichende Kapazitäten

¹⁶² Eine Übersicht, vergleichbar zu der Darstellung in der Tabelle 3-11, findet sich bei Christansen, P. (2021): How Much Speed Do I Need to Stream Video?

<https://www.highspeedinternet.com/resources/how-much-speed-do-i-need-to-watch-netflix-and-hulu>

bereitstellt. Mit anderen Worten, für den Download von Videodateien bestimmter Qualität kann auch Internetzugang genutzt werden, dessen Leistungsmerkmale für ein Streaming in dieser Qualität nicht hinreichend ist. Entsprechend erachten wir es nicht als sinnvoll, für die Ermittlung von Mindestanforderungen auf das Datenvolumen von Video- (oder auch Audio-)dateien zurückzugreifen.

Ebenso verzichten wir bei webbasierten Angeboten, wie beispielsweise YouTube, darauf, browserbasierte Messungen, wie wir sie für den Großteil der Anhang V-Produkte vornehmen, für Streaming-Produkte anzuwenden. Stattdessen liefern hierfür die über die Messplattform ermittelten Messwerte eine ergänzende Information über die Qualitätsmerkmale von Streamingdiensten (anhand von Web-TV).

Die Analyse der Streamingangebote hat gezeigt, dass sie der unterschiedlichen Leistungsfähigkeit in Bezug auf die Datenübertragungsrate der Nutzer Rechnung tragen und sogar in der Lage sind, die Qualität und dafür benötigte Datenübertragungsrate dynamisch anzupassen. Damit sollen insbesondere kurzzeitige, vorübergehende Kapazitätsengpässe überbrückt werden.

Wir erachten es als sinnvoll, für die Bestimmung der Mindestbandbreite im Kontext einer Grundversorgung die Auswahl einer Standardqualität (SD) heranzuziehen. Diese findet bei den populärsten Anbietern mit einer Datenübertragungsrate im Download von 3 Mbps Anwendung. Wie auch bei webbrowserbasierten Diensten ist der Upload vernachlässigbar.

Tabelle 3-11: Merkmale von Videos verschiedener Anbieter

Website	Benennung	Anwendung	Auflösung	FPS (Frames per second)	Format	Datenüber- tragungs- rate [Mbps]	Standard Auswahl	Download möglich	Download Format
Amazon Prime	SD Streaming	Streaming Dienst	854 x 480	unterschiedlich	-	3	Automatisch	ja	MP4
Amazon Prime	-	Streaming Dienst	1280x528	-	-				
Amazon Prime	HD Streaming	Streaming Dienst	1920 x 1080	unterschiedlich	-	5	Automatisch	ja	MP4
Amazon Prime	4K Streaming	Streaming Dienst	3840 x 2160	unterschiedlich	-	25	Automatisch	ja	MP4
Bild.de	-	Nachrichtendienst	-	-	-	-	Automatisch	nein	-
Facebook	-	Social Media	mehrere	unterschiedlich	-	-	Automatisch	nein	-
Joyn	HD Streaming	Streaming Dienst	1280 x 720	unterschiedlich	-	-	Automatisch	nein	-
Neflix	Ultra HD Streaming	Streaming Dienst	3840 x 2160	24	PlayReady DRM	25	Automatisch	ja	MP4
Neflix	SD Streaming	Streaming Dienst	854 x 480	24	PlayReady DRM	3	Automatisch	ja	MP4
Neflix	HD Streaming	Streaming Dienst	1280 x 720	24	PlayReady DRM				
Youtube	HD Streaming	Streaming Dienst	1920 x 1080	24	PlayReady DRM	5	Automatisch	ja	MP4
Youtube	SD Streaming	Videoportal	640 x 360	unterschiedlich	MP4	0.7	Automatisch	nein	-
Youtube	SD Streaming	Videoportal	854 x 480	unterschiedlich	MP4	3	Automatisch	nein	-
Youtube	HD Streaming	Videoportal	1280 x 720	unterschiedlich	MP4	2.5	Automatisch	nein	-
Youtube	HD Streaming	Videoportal	1920 x 1080	unterschiedlich	MP4	5	Automatisch	nein	-
Youtube	4K Streaming	Videoportal	3840 x 2160	unterschiedlich	MP4	20-25	Automatisch	nein	-
PAL	Standart	Fernsehübertragung	768 x 576 (4:3)	25	-	-	-	-	-
BVB-T2 HD	HD	Fernsehübertragung	1920 x 1080	50	-	-	-	-	-
Maxdome	SD Streaming	Streaming Dienst	854 x 480	24	MP4, WMV, AVI, 3GP	-	-	ja	MP4, WMV, AVI, 3GP
Maxdome	HD Streaming	Streaming Dienst	1280 x 720	24	MP4, WMV, AVI, 3GP	6.5	Automatisch	ja	MP4, WMV, AVI, 3GP

Quelle: WIK – erstellt auf Basis von Quellen, dargestellt in Tabelle „Videostreamingprodukte ausgewählter Anbieter – verwendete Quellen“ im Anhang der Studie

3.3.1.2 Streaming-Protokolle und Anforderungen an die Latenz

Die Ende-zu-Ende Latenz im Kontext von Videostreaming beschreibt die Verzögerung vom Zeitpunkt des Abrufs bzw. der Aufnahme (Livestream) bis zu dem Moment der Wiedergabe beim Nutzer. Diese setzt sich zusammen aus der Latenz im Netz (d.h. auf dem Übertragungsweg) und der Latenz an den Enden der Verbindung (Latenz beim Streaming Server und Latenz im Endgerät des Nutzers), die vor allem durch einen Jitter-Buffer verursacht wird, der den schwankenden IP Strom in einen konstanten Strom ausgleicht. Hierzu wurde der Begriff "glass-to-glass latency" geschaffen, welcher die gesamte Dauer der Übertragung von der Quelle bis zum Ziel beim Nutzer beschreibt. Dabei gilt eine Latenz bei Streaming im Umfang von fünf Sekunden als gering.¹⁶³

Dem "Video Streaming Latency Report" von Wowza zufolge bewegen sich die typischen, von den Nutzern wahrgenommenen globalen Latenzwerte zwischen 10 bis 45 Sekunden (one-way).¹⁶⁴ Die deutlich höhere erlaubte Latenz (bis zu 45 Sekunden, welche sich nicht störend auf den Dienst auswirkt, ergibt sich insbesondere daraus, dass bei Videostreaming eine **unidirektionale** Kommunikation stattfindet. In der nachfolgenden Tabelle 3-12 ist das Spektrum der Latenz dargestellt, wie es sich einer Erhebung von Wowza folgend für die Nutzer von Videostreams darstellt.

Tabelle 3-12: Spektrum der Latenz bei Videostreaming (one-way in sec.)

Perceived delay for video streaming latency				
% of users	39,59	34,96	18,77	6,68
Delay sec.	45	10	3	1

Quelle: WIK auf Basis von Abbildung in Wowza Media Systems (2020): What Is Low Latency and Who Needs It?; <https://www.wowza.com/blog/what-is-low-latency-and-who-needs-it>

Die hohe Toleranz des Videostreamings in Bezug auf die Verzögerung (im Vergleich zu bidirektionalen Echtzeitdiensten) wird insbesondere durch den Einsatz von Speichern (Puffern) beim Nutzer erreicht. Diese dienen dazu, Varianzen der Verzögerungen in der Übertragung des Videostreams (und damit in der Ankunft von Video-Datenpaketen, Jitter) auszugleichen. Zu diesem Zweck wird der Buffer zunächst mit den ersten Datenpaketen des Videos befüllt, bevor das Video beim Nutzer startet. Dabei fließen in der Folge alle weiteren Datenpakete in den Buffer und werden von dort aus für die Wiedergabe des Videos in einem konstanten Strom abgerufen. Zeitliche Verzögerungen in der Übermittlung können daher aufgefangen werden und erlauben somit eine deutlich größere Latenz als dies bei bidirektionalen Echtzeitdiensten der Fall ist.¹⁶⁵ Kommt es trotz

¹⁶³ Ruether, Tracy (2019): Low-Latency Claims and How to Decipher Them, <https://www.wowza.com/blog/low-latency-claims-and-how-to-decipher-them>

¹⁶⁴ Wowza Media Systems (2020): What Is Low Latency and Who Needs It?; <https://www.wowza.com/blog/what-is-low-latency-and-who-needs-it>

¹⁶⁵ Die Wirksamkeit des Jitter-Buffers setzt natürlich voraus, dass die Datenübertragungskapazität beim Nutzer und dem zugehörigen Übertragungsweg größer ist als die mit der Qualität (Auflösung) des Vi-

dieser hohen Toleranz zu einer größeren Verzögerung, so kommt die Darstellung des Videos beim Nutzer ins Ruckeln; es entstehen Standbilder und der Bild- und Tonfluss wird gestört.

Um verschiedenen Anforderungen der Videoübertragung Rechnung zu tragen, sind spezifische Videostreaming-Protokolle entwickelt worden; sowohl in Form von proprietären als auch in Form von Open Source Protokollen. Die Videostreaming-Protokolle definieren dabei die Umsetzung der zugehörigen Prozesse. Der von der ITU standardisierte Video-Codec [H.264](#) ist der am weitesten verbreitete Video-Codec im Kontext von Internetanwendungen. Das auf Open Source basierende MPEG-DASH¹⁶⁶ ist ein adaptives HTTP-basiertes Protokoll für das Streaming über das Internet. Es eignet sich für das Streamen sowohl von Live-Videos als auch von On-Demand-Videos, die von Web-Servern abgerufen werden. Es bestehen Bestrebungen, dieses Protokoll zu einem Industriestandard voranzutreiben und damit eine Alternative zu den proprietären Protokollen von Apple und Adobe zu schaffen. Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick zu den aktuell verbreiteten Videostreaming-Protokollen.

Tabelle 3-13: Aktuelle Videostreaming-Protokolle

Protokoll-Name	verwendet von	Marktanteil [in %]	Kommentar
HLS	Apple	45,18	proprietär
RTMP	Adobe	33,13	proprietär
MPEG-DASH	3GPP	6,93	open source
WebRTC		4,82	

Quelle: WIK auf Basis von Abbildung in Ruether, Traci (2021): MPEG-DASH: Dynamic Adaptive Streaming Over HTTP Explained (Update) February 25, 2021; <https://www.wowza.com/blog/mpeg-dash-dynamic-adaptive-streaming-over-http>

Der nachfolgenden Tabelle 3-14 kann eine Zuordnung der Latenz-Merkmale zu den üblichen Streaming-Protokollen entnommen werden.

deostreams einhergehende Datenübertragungsrate. Ansonsten wäre es ab dem Zeitpunkt, zu dem der Buffer komplett geleert ist, nicht mehr möglich, den Buffer neu zu bevorraten.

¹⁶⁶ Dynamic Adaptive Streaming over HTTP.

Tabelle 3-14: Protokolle und zugehörige Latenz-Merkmale [in Sekunden]

	hohe Latenz	typisch 1	typisch 2	reduzierte Latenz	geringe Latenz	sehr geringe Latenz	Real time
Upper level	60+	45	30	18	5	1	0,5
Lower level	45	30	18	5	1	0,5	0,2
HLS	x	x	x	x			
HDS ,DASH smooth streaming		x	x	x			
RTMP			X	x	x	x	
RTP/RTSP, WebRTC					x	x	x
HLS/DASH with LLC				x	x		

Quelle: Theo Technologies (2018): The importance of low latency in video streaming;
<https://www.theoplayer.com/blog/the-importance-of-low-latency-in-video-streaming>

Spezifische Anforderungen entstehen durch den Livecharakter von Videostreams. Bei der Darstellung der qualitativen Merkmale von Videos hatten wir im vorangegangenen Abschnitt 3.3.1.1 weitestgehend auf die Darstellung der Besonderheiten verzichtet, die sich aus dem Streaming von Videos ergeben und anhand derer sich die Unterschiede zwischen einem normalen Stream-on-demand und einem Livestream festmachen lassen. Allgemein lässt sich feststellen, dass die meisten Videos von ihrer Entstehung her gar nicht für ein Streaming erstellt worden sind. Daher bedarf es für das Streaming eines bestimmten Formats, das eine kontinuierliche Übertragung des Videos erlaubt.¹⁶⁷ Zu diesem Zweck wird das Video in kleine Datenpakete unterteilt, die in der Folge übertragen und beim Empfänger abgespielt werden. Im Fall von Livestreams muss dieser Prozess direkt bei der aufnehmenden Kamera starten bzw. über das „Content Distribution Network“ verteilt werden, um zusätzliche Verzögerungen zu vermeiden.¹⁶⁸ Im Fall eines normalen Videostreams-on-demand greift der Nutzer das Video von einem Content-Server ab, auf dem die Video-Datei gespeichert ist.

Interessanterweise finden für Livestreams Protokolle Anwendung, die eine Latenz im Rahmen von einer bis fünf Sekunden tolerieren und damit im Bereich „geringer Latenz“ liegen (siehe die vorletzte Spalte in Tabelle 3-15). Die in der Tabelle dargestellten Anwendungen verdeutlichen, dass selbst für Live-Events Streaming-Protokolle zum Einsatz kommen, die Latenzwerte von normalen Videostreams aufweisen. Aus Nutzersicht verliert hier jedoch die Eigenschaft der Live-Darstellung an Qualität. Jüngste Standardisierungsbemühungen betreffen den Service ILE (immersive life experience). Dieser Dienst zielt auf einen erhöhten Anspruch auf Echtzeit bei Audio- und Video-

¹⁶⁷ Zum aktuellen Stand relevanter Protokolle siehe u.a. Wilbert, Max (2021): Which to Use for Professional Broadcasting; update 2021; <https://www.dacast.com/blog/video-streaming-protocol/>

¹⁶⁸ Cloudflare (2021): What is live streaming? | How live streaming works
<https://www.cloudflare.com/learning/video/what-is-live-streaming/> (zuletzt abgerufen 27.10.2021).

Anwendungen oder Gaming ab und geht mit deutlich strengeren Latenzanforderungen einher. ¹⁶⁹

Tabelle 3-15: Tolerierte Latenz [s] bei Videostreaming verschiedener Anwendungen

Category latency level	Common http	Reduced level	Low level	Near real time
Application	streams of live events for large audience	OTT live streaming for news and sport	UGC live streams, game and e-sport	Two way web conferencing, telepresence, real time device control (cameras, drowns)
Upper time [s]	45 +	18	5	1
Lower time [s]	18	5	1	< 1
Protocol	HLS, DASH	HLS tuned, DASH tuned	Low latency HLS, low latency DASH, RTSP, RTP	WebRTC

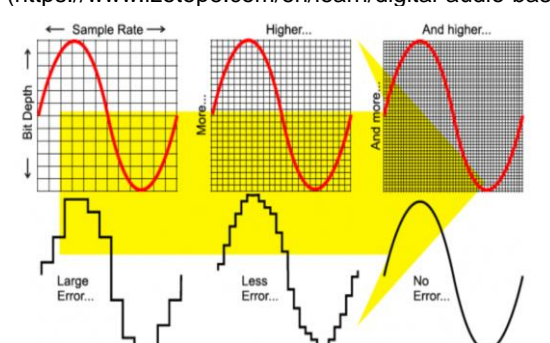
Quelle: WIK auf Basis von Abbildung in Wowza Media Systems (2020): What Is Low Latency and Who Needs It?;
<https://www.wowza.com/blog/what-is-low-latency-and-who-needs-it>

3.3.2 Audio-Streaming

Die Qualität einer Audiodatei wird ebenfalls durch mehrere Parameter definiert, wobei die Parallelen zur Videodatei groß sind. Generell gilt: Je besser die Qualität, desto größer ist die Audiodatei. Die digitale Datenmenge, die transferiert wird (Datenrate), ist abhängig vom Dateiformat, der Sampletiefe und der Samplingfrequenz.¹⁷⁰ Gerade im Audiobereich lassen sich Dateien extrem komprimieren, ohne dass die Qualität für un-

¹⁶⁹ Diese Anwendungen sind in dieser Studie jedoch nicht von Relevanz, da es sich bei diesen Leistungsmerkmalen nicht um Dienste im Sinne der Grundversorgung handelt, siehe Jiro Nagao (2020), International Standards on Communication Technology for Immersive Live Experience Adopted by ITU-T, NTT Technical Review Vol. 18 No. 7 July 2020.

¹⁷⁰ Die „Datenrate“ ist nicht zu verwechseln mit der in dieser Studie im Fokus stehenden Datenübertragungsrate. Die hier thematisierte Datenrate stellt auf die Sampletiefe (auch Bittiefe genannt) ab. Die nachfolgenden Bilder illustrieren Bittiefe und Samplefrequenz (<https://www.izotope.com/en/learn/digital-audio-basics-sample-rate-and-bit-depth.html>).



erfahrene Hörer wirklich stark abnimmt. Eine stark komprimierte MP3 Datei umfasst im Vergleich zu einer Master-FLAC Datei nur ein minimales Datenvolumen (0.09 MB vs. bis zu 9 MB).¹⁷¹

Es gibt verschiedene Audioformate (ca. zehn unkomprimierte und über 50 komprimierte). Sind die Daten komprimiert, so wird zwischen verlustfreien und verlustbehafteten komprimierten Formaten unterschieden. Unkomprimierte Formate (in der Regel PCM), verlustfrei komprimierte und verlustbehaftet komprimierte Formate können aber auch gemeinsam in sogenannten Containerdateien (AIFF, MP4, Ogg, WAV und anderen) untergebracht werden.¹⁷²

Die Sampletiefe (auch Bit Depth genannt; Einheit = Bit) gibt an, wie viel Speicher für einen Sample-Wert genutzt wird. Zum Beispiel erlauben 16 Bit (2^{16}) eine Skala von 65.536 Werten für jeden einzelnen Sample-Wert. Wenn viel Speicher für einen Wert verfügbar ist, kann das Signal also mit mehr Genauigkeit verarbeitet werden. Übliche Werte sind 16 Bit (Musik CD) oder 24 Bit bzw. 32 Bit im Studio.¹⁷³

Die Samplingfrequenz (auch Sample Rate genannt; Einheit Hz = Hertz) gibt an, wie oft in einer Sekunde der Audio-Pegel erfasst und gespeichert wird. Eine Angabe von 44.100 Hz (44,1 kHz) bedeutet, dass 44.100 Werte für eine Sekunde Musik gespeichert werden. Übliche Sample-Raten sind 44,1 kHz (Musik CD), 48,0 kHz (Film) und 96 kHz (Tonstudio).¹⁷⁴

Die Audio-Dateien können in unterschiedlicher Qualität/Auflösung gestreamt oder gespeichert werden. Das MP3-Format erlaubt, neben festen Datenraten von 8 kbps bis zu 320 kbps, im Freeformat-Modus auch beliebige freie Datenraten bis zu 640 kbps (Freeform-MP3). Allerdings sind nur wenige MP3-Player-Derivate für höhere Bitraten als die aus dem ISO-Standard (derzeit bis 320 kbps) ausgelegt.

Für die Analyse wurden folgende Plattformen näher betrachtet:

- Spotify
- Amazon Prime
- Tidal
- Deezer
- Apple Music

¹⁷¹ Tidal (2021): Sound quality; <https://tidal.com/sound-quality>

¹⁷² Wikipedia (2021): Audioformat; <https://de.wikipedia.org/wiki/Audioformat>

¹⁷³ Baumann Music (2021): Samplerate (Hz und kHz), Auflösung (Bit) und Bitrate (kBit/s) für Musik und Audio; <https://www.baumannmusic.com/de/2012/sampleratehz-und-khz-aufloesung-bit-und-bitrate-kbits/>

¹⁷⁴ Baumann Music (2021): Samplerate (Hz und kHz), Auflösung (Bit) und Bitrate (kBit/s) für Musik und Audio; <https://www.baumannmusic.com/de/2012/sampleratehz-und-khz-aufloesung-bit-und-bitrate-kbits/>

Die am meisten genutzte Anwendung ist derzeit Spotify mit über drei Millionen Usern alleine in Deutschland. Hier ist es möglich, zwischen vier verschiedenen Qualitätsstufen zu wählen:

- Niedrig (24 kbps)
- Normal (96 kbps)
- Hoch (160 kbps)
- Sehr Hoch (320 kbps)

Diese finden bei mobilen Endgeräten Anwendung. Für die Nutzung am Computer bietet Spotify einen Webplayer an. Hier liegt ein Datenrahmen im AAC Format vor:

- 256 kbps

Als **Standard** kann man aktuell noch von einem **Datenrahmen von 320 kbps** ausgehen. Zwar wird diese Auflösung bei Spotify als „sehr hoch“ bezeichnet, allerdings sind die Audiodateien dort in einer vergleichsweise geringen Auflösung. Bei fast allen anderen Audio-Content Websites werden 320 kbps als „Standard“-Ausgabe betitelt.

Amazon Music HD und Tidal bieten noch höhere Auflösungen, die an ein verlustfreies Format gebunden sind (in den meisten Fällen flac, **f**ree **l**ossless **a**udio **c**odec). Bei Tidal kann man beispielsweise eine Audio-Auflösung von bis zu 9.216 kbps bei 24 Bit abrufen.¹⁷⁵

Der Trend geht in Richtung High Quality Audio, also dem verlustfreien Streamen von Musik. Während Anbieter wie Tidal dies schon seit längerer Zeit anbieten, lässt sich dieses Angebot inzwischen auch bei den anderen Anbietern beobachten. Spotify (bislang nur in verlustbehafteter Qualität) will noch dieses Jahr ein Hi-Fi Abonnement auf den Markt bringen.¹⁷⁶ Apple Music, Deezer und Amazon HD bieten auch seit kurzem Audio-Streaming in verlustfreier Qualität an. Diese Entwicklung bedeutet allerdings auch wesentlich höhere Datenraten. Während eine recht hochauflösende aber verlustbehaftete MP3 einen Datenrate von 320 kbps aufweist, kann eine verlustfreie Datei schnell mehrere Megabyte pro Sekunde umfassen. Außerdem ist verlustfreies Audio auch immer an andere Formate gebunden, beispielsweise FLAC oder MQA.¹⁷⁷

¹⁷⁵ Support Spotify (2021): Soundqualität; <https://support.spotify.com/de/article/audio-quality/>

¹⁷⁶ Newsroom Spotify (2021): Five Things to Know About Spotify HiFi; <https://newsroom.spotify.com/2021-02-22/five-things-to-know-about-spotify-hifi/>

¹⁷⁷ Support Apple (2021): About lossless audio in Apple Music; <https://support.apple.com/en-us/HT212183>;

Newsroom Spotify (2021): Five Things to Know About Spotify HiFi; <https://newsroom.spotify.com/2021-02-22/five-things-to-know-about-spotify-hifi/>

Tabelle 3-16: Merkmale von Audios verschiedener Anbieter

Produkt / Website	Angebotene Audio-Qualität	Anwendung	Komprimiert	Auflösung [kbps]	kHz	Bit	Format	Bandbreite [Mbps]	Standard Auswahl	Download Option*	Download Format	Kategorisierung im Rahmen dieser Studie (wik)
Spotify	Webplayer	Audio Streaming	Verlustbehaftet	256			AAC	0,26	automatisch	ja	Mp3	
Spotify	Niedrig	Audio Streaming	Verlustbehaftet	24			Ogg/Vorbis	0,02	automatisch	ja	Mp3	
Spotify	Normal	Audio Streaming	Verlustbehaftet	96			Ogg/Vorbis	0,10	automatisch	ja	Mp3	
Spotify	Hoch	Audio Streaming	Verlustbehaftet	160			Ogg/Vorbis	0,16	automatisch	ja	Mp3	
Spotify	Sehr Hoch	Audio Streaming	Verlustbehaftet	320			Ogg/Vorbis	0,32	automatisch	ja	Mp3	X Standard (SD)
Tidal	Standard	Audio Streaming	Verlustbehaftet	320			AAC	0,32	automatisch	ja	Mp3	X Standard (SD)
Tidal	Hifi	Audio Streaming	Verlustfrei	1411	44,1	16	FLAC	1,40	automatisch	ja	Mp3	
Tidal	Master	Audio Streaming	Verlustfrei	3204	96	24	MQA	3,20	automatisch	ja	Mp3	
Amazon Music	Standard	Audio Streaming	Verlustbehaftet	320			AAC	0,32	automatisch	ja	Mp3	X Standard (SD)
Amazon Music HD	HD	Audio Streaming	Verlustfrei	850	44,1	16	FLAC	0,85	automatisch	ja	Mp3	X HD
Amazon Music HD	Ultra HD	Audio Streaming	Verlustfrei	3730	192	24	FLAC	3,73	automatisch	ja	Mp3	X Ultra HD
Deezer	Free	Audio Streaming	Verlustbehaftet	128			MP3	0,13	Nach Abo	ja	Mp3	
Deezer	Premium	Audio Streaming	Verlustbehaftet	320			MP3	0,32	Nach Abo	ja	Mp3	X Standard (SD)
Deezer	Hifi	Audio Streaming	Verlustfrei	1411	44,1	16	FLAC	1,41	Nach Abo	ja	MP3/FLAC	
Apple Music	Standard	Audio Streaming	Verlustbehaftet	256	-	-	AAC	0,256	automatisch	ja	AAC	
DAB+	Standard	Internetradio	Verlustbehaftet	96-104	-	-	-	-	-	-	-	

*Songs die sich offline speichern und streamen lassen

Quelle: WIK – erstellt auf Basis von Quellen, dargestellt in Tabelle „Audiostreamingprodukte ausgewählter Anbieter – verwendete Quellen“ im Anhang dieser Studie

Die Anforderungen an die Datenübertragungsrate stellen sich für Audio im Vergleich zu Video als vernachlässigbar gering dar. Die in Tabelle 3-16 dargestellte Übersicht dokumentiert, dass die zu Beginn dieser Studie formulierte Erwartung erfüllt ist: Lineare Rundfunkdienste – hier Internetradio – stellen keine höheren Anforderungen an die Datenübertragungsrate als es bei den Audio-Streamingdiensten der Fall ist.

Für die Bestimmung der Mindestbandbreite für Audio-Streams haben wir uns auch hier an der Standardqualität orientiert und einen Wert von 0,32 Mbps im Download angesetzt.

In Bezug auf die Latenz gelten die gleichen Zusammenhänge wie beim Videostreaming. Daher haben wir hier von einer Konkretisierung der Latenz für Audio-Streaming abgesehen und verweisen auf die Ausführungen im Abschnitt zu Videostreaming (Abschnitt 3.3.1.2) und die Bedeutung des unidirektionalen Charakters von Streamingdiensten für die Latenz.

3.3.3 Telefonie

Die technischen Anforderungen an Sprachtelefonie oder auch Videotelefonie sind von der ITU unabhängig von dem zu Grunde liegenden Netz definiert; dabei wird der Sprach-Echtzeit-Kommunikationsdienst über eine Frequenz von etwa 300 bis 3.400 Hz realisiert.¹⁷⁸ Die in Tabelle 3-17 dargestellten Kennziffern beschreiben die Güte des Dienstes.¹⁷⁹

Tabelle 3-17: Qualitätsanforderungen Telefonie

Data rates kbps	One way delay preferred ms	One way delay limit ms	Delay variation ms	Packet Loss Ratio %
4 -64	< 150	< 400	< 1	< 3

Quelle: Auszug aus ITU (2001): ITU-G.1010 Tabelle I.1

3.3.3.1 Sprachtelefonie und zulässige Latenz

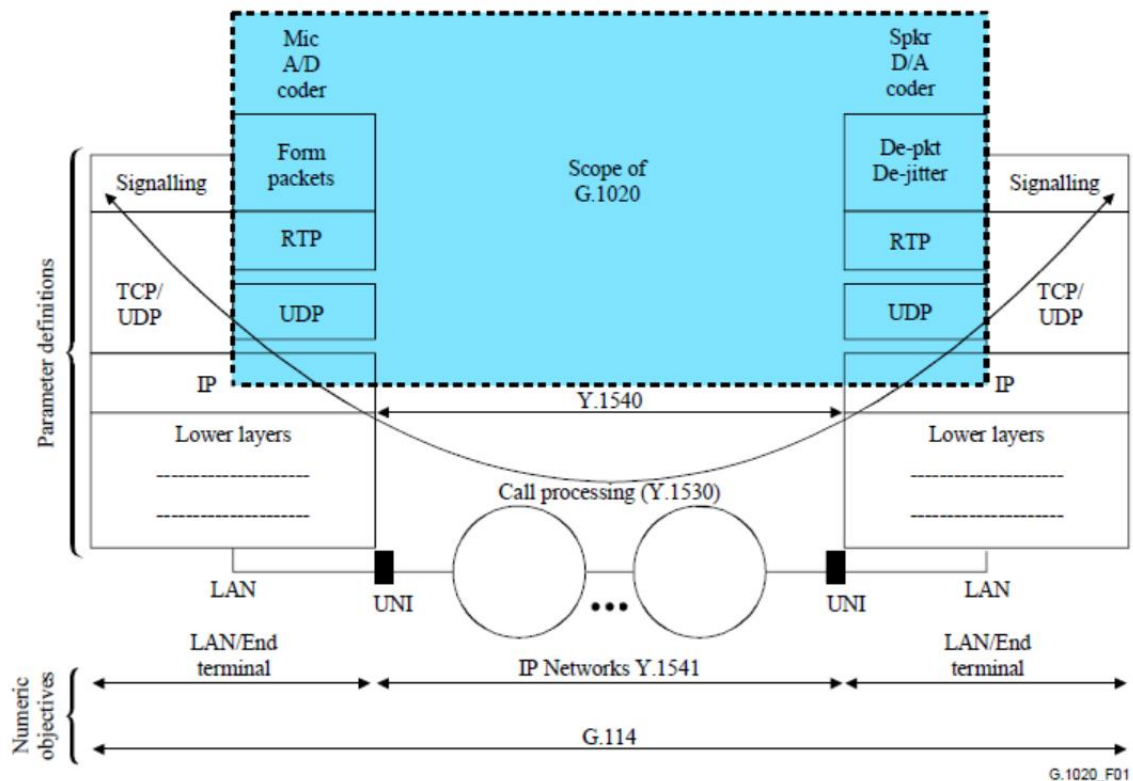
Bei der Sprachtelefonie handelt es sich um einen seit Jahrzehnten etablierten Dienst, der herkömmlich über leitungsvermittelnde Netze realisiert wurde (TDM-Netze in Form des PSTN/ISDN). Mit der Art der technischen Realisierung wurde dabei eine Qualität des Sprachdienstes etabliert, die – nicht zuletzt aufgrund der TDM-basierten Realisierung – eine internationale Relevanz erhielt und damit einen Standard für die Qualität des Sprachtelefoniedienstes setzte. Diese Qualität lässt sich auch an den QoS-Parametern des Netzes festmachen (siehe Y.1541 in Abbildung 3-10). Bei den über

¹⁷⁸ Vergleiche ITU (2017): ITU-P.10/G.100 Series P : Telephone Transmission Quality, Telephone Installations, Local Line Network.

¹⁷⁹ Siehe ITU (2001): End-user multimedia QoS categories, Rec. G.1010

PSTN/ISDN-Netze erbrachten Telefondiensten bewegt sich die mittlere Laufzeitverzögerung (One-Way-Delay) im Bereich unterhalb von 150 ms. Dieser Wert wird entsprechend von der ITU für den Telefondienst als „preferred“ angegeben.¹⁸⁰

Abbildung 3-10: Umfang der ITU-T Recommendation mit Bezug auf QoS Spezifikationen¹⁸¹



Quelle: ITU (2007): ITU G.1020, Abb. 1

Diese Qualitätsmerkmale des Sprachtelefons im PSTN/ISDN bildeten den Maßstab bei der Einführung von Voice over IP. Um die Sprachqualität des etablierten Telefons auch in IP-basierten Netzen aufrechterhalten zu können, wurden

¹⁸⁰ In Abschnitt 3.1.1 wurde bei der Definition der Latenz darauf verwiesen, dass diese auch von der technischen Beschaffenheit der Verbindung (kabel- oder funkbasiert) sowie auch der Länge der Verbindung und Anzahl zu durchlaufenden Netzknoten abhängt.

¹⁸¹ Wird der Telefondienst über ein IP-basiertes Paketvermittlungsnetz bereitgestellt, so sind besondere Aspekte zu beachten, die von der ITU entsprechend behandelt worden sind. (vergleiche ITU (2006): Performance parameter definitions for quality of speech and other voiceband applications utilizing IP networks; Recommendation G.1020.) Abbildung 3-10 gibt dazu einen Überblick, stellt die verschiedenen Abschnitte einer IP-basierten Telefonverbindung dar und ordnet den jeweiligen Abschnitten die schon bestehenden Standardisierungsdokumente zu. Für die Vorgaben im Kontext des Universaldienstes ist dabei nur der Abschnitt IP-Netz zwischen den beiden User-Network-Interfaces von Bedeutung und es sind daher die in der zugehörigen ITU-Rec Y1541 festgelegten Mindestwerte einzuhalten.

Obergrenzen für die tolerierte mittlere Laufzeitverzögerung definiert, die mit einem Maximalwert in Höhe von 120 ms sogar unterhalb der 150 ms Grenze liegen.¹⁸²

Die von der ITU definierten sechs QoS Klassen in IP-Netzen (Recommendation Y.1541), geben ebenfalls einen Anhaltspunkt für die zulässigen Qualitätsparameter (siehe Tabelle 3-18). Diese QoS Klassen sind dabei global definiert und nicht auf den Sprachdienst beschränkt. Die Tabelle zeigt, dass dazu Maximalwerte für die drei Schlüsselp Parameter der mittleren Laufzeitverzögerungen der IP-Pakete, deren statistische Varianz ausgedrückt durch den Jitter, der Paketverlustrate und der Paketfehlerrate standardisiert wurden.¹⁸³

Tabelle 3-18: QoS Klassen und Parameter in IP-Netzen

Parameter	QoS classes					
	0	1	2	3	4	5
IPTimeDelay [ms]	100	400	100	400	1000	u
IPDelayVariation [ms]	50	50	u*	u	u	u
IPLossRatio	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	u
IPErrorRate	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}	u

* Delay Variation ist identisch mit Jitter. Die ITU definiert die IP delay variation (IPDV) wie folgt:
 $IPDV = IPTD(upper) - IPTD(min)$ wobei $IPTD(upper)$ ist das (1 – 10–3) Quantile von IPTD in dem Bewertungsintervall und $IPTD(min)$ beschreibt die minimale IPTD im Bewertungsintervall;
 siehe [ITU-Y.1541].

** u = unspezifiziert

Quelle: WIK auf Basis von ITU (2011): ITU –Y.1541, Table 1

Die QoS-Klassen 2-5 legen für den Jitter keine Maximalwerte festlegen. Untersuchungen zum Einfluss der QoS Parameter auf den MOS Wert zeigen, dass vor allem erhöhte Jitter-Werte zu einer Absenkung des MOS Wertes führen.¹⁸⁴ Daher scheiden die ITU Klassen 2-5 für die Festlegung der Mindestbandbreite für Sprachdienste aus.

Untersuchungen zum MOS geben Anhaltspunkte, dass auch die QoS-Klasse 1 mit einer tolerierten Laufzeitverzögerung von bis zu 400 ms nicht für Sprachtelefonie angelegt ist. Einer Daumenregel¹⁸⁵ zufolge stelle eine Laufzeitverzögerung von 250 ms ei-

¹⁸² Entsprechende Untersuchungen, die über die Sprachqualität bei ADSL und Cable TV-Network Access durchgeführt wurden, sind von einem Höchstwert von 120 ms für die mittlere Laufzeitverzögerung ausgegangen, um dem Nutzer eine Sprachqualität anzubieten, die nicht signifikant von der gewohnten Sprachqualität der klassischen Telefon/ISDN-Netze abweicht. Siehe hierzu Patton (2004): Tech-note SmartNode™ Quality of Service for VoIP on the Internet Access Link, S. 1.

¹⁸³ ITU (2011): Network performance objectives for IP-based services; Recommendation Y.1541, S. 9. Dabei wird davon ausgegangen, dass diese Werte normalerweise von öffentlichen IP-Netzen eingehalten werden.

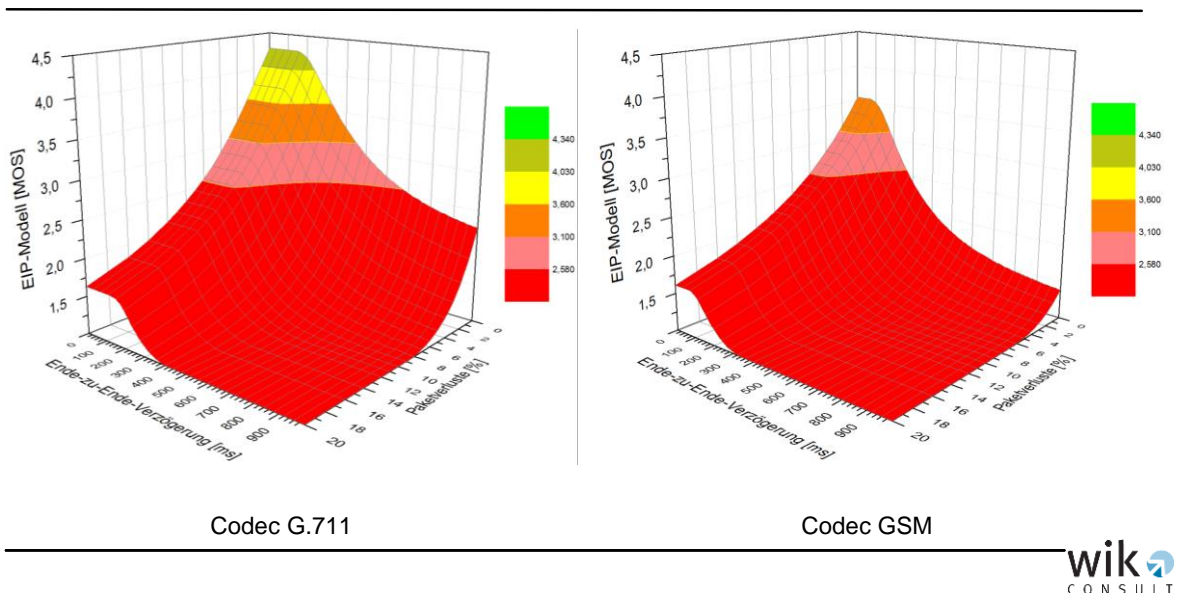
¹⁸⁴ Vergleiche hierzu: Petr Zacha, Martin Pokorný (2014): Jiri Baleja Quality of Experience of Voice Services in Corporate Network Enterprise and the Competitive Environment 2014 conference, ECE 2014, 6–7 March 2014, Brno, Czech Republic published in Procedia Economics and Finance 12 pag. 771 – 779.

¹⁸⁵ WildPackets (o.J.): Finding and Fixing VoIP Call Quality Issues, White Paper WildPackets, Inc. https://www.neox-networks.com/downloads/Finding_Fixing_VoIP_Call_Quality_Issues.pdf; S. 7

nen Grenzwert dar,¹⁸⁶ bei dessen Überschreitung die Gesprächspartner anfangen, sich ins Wort zu fallen.

Diese Einschätzung wird auch von anderen Untersuchungen gestützt.¹⁸⁷ Analysen anhand des MOS zeigen exponentielle Qualitätsverschlechterungen mit einer steigenden Latenz über 150 ms hinaus. Dies kommt in den beiden nachfolgenden grafischen Darstellungen zum Ausdruck, die ab einer Verzögerung von >150 ms ein deutliches Absinken des MOS zeigen. Dabei werden unter dem Codec G.711 durchgängig höhere MOS-Werte realisiert, als dies für den GSM-Codec festgestellt werden kann.¹⁸⁸ Auch ist davon auszugehen, dass bei Telefonkonferenzen MOS bzw. R-Faktor sensibler auf eine Erhöhung der Laufzeitverzögerung reagieren.

Abbildung 3-11: EIP-Modell-Werte als Funktion der Paketverluste und der Ende-zu-Ende-Verzögerung



Quelle: Paulsen, Stefan (2015): QoS/QoE-Modelle für den Dienst Voice over IP (VoIP), Dissertation Universität Hamburg, S. 125

Die nachfolgenden Darstellung der ITU, welche anstelle des MOS den R-Faktor heranzieht, weist eine Nutzerzufriedenheit (very satisfied) bis zu mit einer Latenz in Höhe von

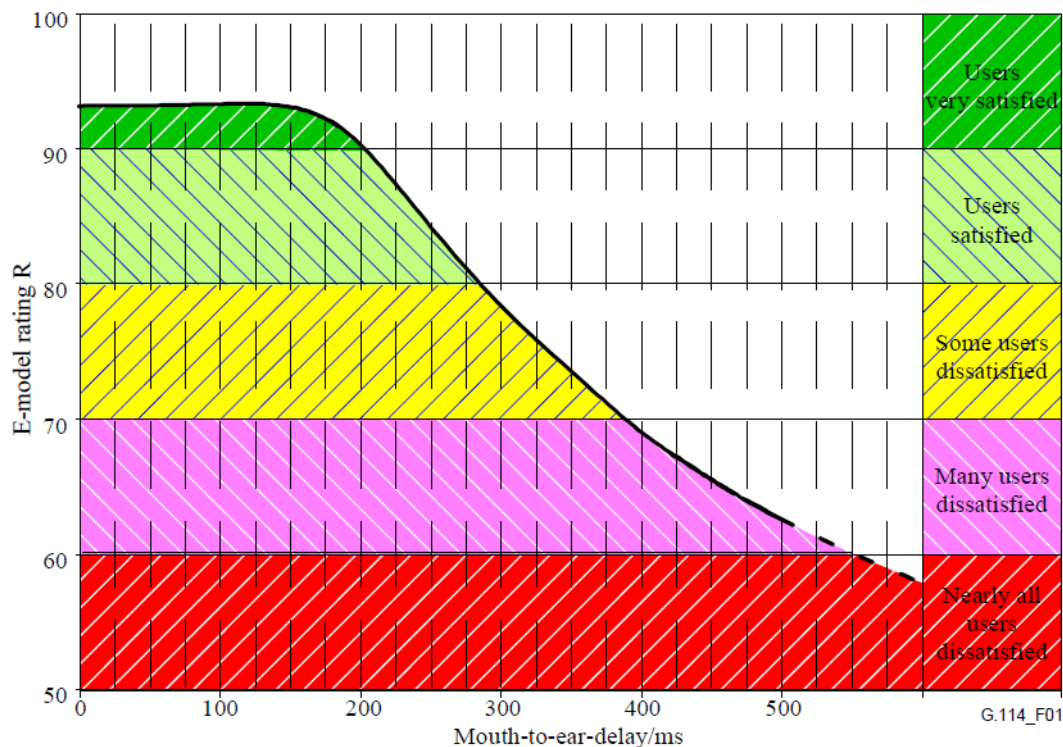
¹⁸⁶ Diese Angabe deckt sich der in [Kühling, J. u.a. \(2019\), S. 163, ausgeführten Zufriedenheit von Nutzern mit der Signalqualität von Telefongesprächen unter Rückgriff auf die in ITU-T G.114 gewählte Darstellung der Nutzerzufriedenheit. Derzufolge ist eine Latenz von gut 250ms gerade noch akzeptabel \(„users satisfied“\).](#)

¹⁸⁷ Paulsen, Stefan (2015): QoS/QoE-Modelle für den Dienst Voice over IP (VoIP), Dissertation Universität Hamburg

¹⁸⁸ Die starke Komprimierung der Sprache ist u.a. für die schlechtere Beurteilung der Sprachqualität im Mobilfunk verantwortlich.

bis zu 200 ms aus.¹⁸⁹ Allerdings finden hier – anders als bei Paulsen – keine weiteren QoS-Parameter Berücksichtigung. Das Abfallen der Nutzerzufriedenheit ab einer Latenz > 150 ms kommt auch hier zum Ausdruck.

Abbildung 3-12: Zufriedenheit von Nutzern mit der Signalqualität von Telefongesprächen in Abhängigkeit der unidirektionalen Übertragungszeit (Mouth-to-Ear)



Quelle: ITU (2003): ITU-T G.114, zitiert aus Kühling, J. (2019), S. 163

Die vorgestellten Ansätze, die auf eine Beurteilung der Sprachqualität bei erhöhter Laufzeitverzögerung anhand des MOS abstellen (im Vergleich zum Grenzwert von 100 ms [QoS Klasse 0] bzw. 150 ms), verdeutlichen, dass es einen Graubereich für das Funktionieren eines Sprachdienstes gibt, der diesen Untersuchungen zufolge eine Laufzeitverzögerung in Höhe von 250 ms nicht überschreiten sollte. Dennoch zeigen die Darstellungen, dass die **Nutzerzufriedenheit erst mit einer Überschreitung von 150 ms abnimmt** und sich statistisch die Qualität des Dienstes verschlechtert.

Empirische Untersuchungen zur tatsächlich beobachtbaren Laufzeitverzögerungen in öffentlichen IP-Netzen machen deutlich, dass die Frage, ob eine mittlere Laufzeitverzö-

¹⁸⁹ ITU (2003): One-way transmission time; ITU-T G.114. Siehe auch die Darstellung in Kühling, J. u.a. (2019): Rechtliche Herausforderungen bei der Schaffung von Anreizen für einen flächendeckenden Ausbau von Glasfaserinfrastrukturen, Rechtsgutachten im Auftrag des BMVI.

gerung von > 150 ms tolerierbar ist, in heutigen IP-Netzen nicht wirklich von Bedeutung ist: Von Cisco in 2021 veröffentlichte QoS Parameter¹⁹⁰ zeigen maximale Latenzwerte, die zwischen den Anbietern von 45 ms bis 65 ms variieren. Damit bewegen sich die gemessenen Werte dieser Anbieter ausnahmslos in der Mitte der höchsten Qualitätsstufe und lassen die Einhaltung einer maximalen Latenz in Höhe von 150 ms als realistischen und angemessenen Wert erscheinen.¹⁹¹

Der klassische Sprachtelefondienst hat letztlich mit seiner über Jahrzehnte etablierten Qualität einen Standard gesetzt, der unverändert Gültigkeit hat und aus Sicht der Anschlussnetzbetreiber einen Maßstab etabliert. Dies kommt auch in den Anstrengungen zum Ausdruck, die mit der Migration der Netze auf All-IP unternommen wurden, um die bisherige Sprachqualität des PSTN/ISDN auf das All-IP-Netz zu übertragen. Daher vertreten wir die Auffassung, dass bei der Ableitung der Mindestanforderungen für den Internetzugang nach § 157 (3) diese „Standard“-Qualität mit einer Obergrenze für die mittlere Laufzeitverzögerung von 150 ms maßgeblich sein sollte.

3.3.3.2 Sprachtelefonie und Anforderungen an die Datenübertragungsrate

Anforderungen der Telefonie in Bezug auf die Datenübertragungsrate, die mit den verschiedenen ITU Voice Codices einhergehen, sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.¹⁹² Aufgrund des symmetrischen Charakters des Sprachtelefondienstes sind die Bandbreitenanforderungen sowohl für den Down- als auch den Upstream maßgeblich.

¹⁹⁰ Cisco (2021): QoS - Quality of Service - in VoIP implementations, <https://www.voip-info.org/qos-cisco/>; Kühling, J. u.a. (2019): Rechtliche Herausforderungen bei der Schaffung von Anreizen für einen flächendeckenden Ausbau von Glasfaserinfrastrukturen, Rechtsgutachten im Auftrag des BMVI, weisen darauf hin, dass das menschliche Ohr Verzögerungen erst ab 70 ms registrieren (S. 162).

¹⁹¹ Letztlich haben sich auf dem Markt zahlreiche Angebote neben den klassischen Telefondiensteanbietern etabliert, die ebenfalls einen Sprachdienst anbieten, jedoch bewusst darauf vertrauen, dass die Kapazitäten und Qualitätsparameter der öffentlichen IP-Netze für die von ihnen angestrebte Dienstqualität hinreichend sind (z.B. Anruffunktionalitäten bei Messengerdiensten wie Whatsapp oder Signal).

¹⁹² Dabei ist zu beachten, dass diese Datenrate auf die Anwenderschicht bezogen sind; für die auf einem Netzabschnitt z.B. der TAL zu berechnenden Bandbreite sind die entsprechenden Bytes aus den darunterliegenden Protokollen (RTP/RTCP/UDP/IP/Ethernet) hinzuzufügen, was für G.711 eine Bandbreite von mehr als 90 kbps bzw. für G.723.1 mehr als 37,6 kbps für die erforderliche Bandbreite ergibt.

Tabelle 3-19: Bandbreitenanforderungen unter Berücksichtigung von Overheads

Standard	G.711	G.729A	G.723.1
BW in kbps	64	8	6,3
VoIP payload Byte	160	20	16
Overhead from RFC 802.3 Byte	78	78	78
Overhead by PPP Byte	47	47	47
Final BW (802.3) in kbps	92,2	39,2	37,6
Final BW (PPP) in kbps	82	26,8	25,2

Quelle: WIK auf Basis von Tabelle 1 in Yu, Ajarmeh (2007): Call Admission Control and Traffic Engineering of VoIP, II in Proceedings of the Second IEEE International Conference on Digital Telecommunications (ICDT 2007)

Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass mit den in Tabelle 3-19 dargestellten Standards unterschiedliche Komprimierungsverfahren Anwendung finden. Die jeweiligen Codices reduzieren das zu übertragende Datenvolumen unterschiedlich stark. Ausgehend vom Codec G.711, welcher den traditionellen Telefondienst, der über die klassischen PSTN/ISDN Netze abgewickelt wurde, denen feste Übertragungskapazitäten in Höhe von 64 kbps zur Verfügung standen, beschreibt, sind die anderen beiden Codices bereits auf geringere Bandbreiten ausgelegt (8 bzw. 6,3 kbps).

Für die Ableitung der für den Sprachtelefondienst mindestens benötigten Datenübertragungsrate greifen wir auf die bereits im Kontext der maximal tolerierten Latenz vorgebrachten Argumentation zurück. Danach ist der Codec G.711 für das Standardprodukt bestimmend, welches wir für unsere Quantifizierung der Mindestanforderungen heranziehen. Dabei beträgt die Payload 64 kbps bzw. die erforderliche Datenübertragungsrate inklusive Overhead 92,2 kbps (sowohl im Down- als auch im Upstream). Diese Anforderungen sind im Vergleich zu den übrigen Diensten des § 157 (3) Satz 3 letztlich unbedeutend –aus Nutzersicht für die Zufriedenheit mit der Sprachqualität jedoch relevant.

3.3.4 Videotelefonie und Videokonferenzen

Die wesentliche Eigenschaft von Videokonferenzen ist die Echtzeit. Neben der Sprach- und Videoübertragung zeichnet sie sich noch durch das Teilen von Bildschirmhalten, Daten oder Nachrichten aus. Wir haben in der nachfolgenden Tabelle 3-20 die von uns identifizierten, häufig genutzten Produkte dargestellt.

Aus der Tabelle 3-20 geht hervor, dass die Beschreibungen der Produkte und ihrer zugehörigen Qualitätsmerkmale oftmals unvollständig ist.¹⁹³ Wie in Abschnitt 3.3.1 erläut-

¹⁹³ Die Angaben wurden auf den Internetseiten der Produktangebote erhoben.

tert stellen die Definitionen SD oder HD Sammelbegriffe für eine Vielzahl von Qualitäten dar, die sich hinsichtlich Auflösung oder Bildwiederholfrequenz unterscheiden können.

Tabelle 3-20: Leistungsmerkmale von Videoanrufen und Videokonferenzen ausgewählter Anbieter

Anbieter	Produkt	Minimum [Mbps]	Pixel	Recommended [Mbps]	Pixel	Qualitätsstufe (SD, HD)	Kommentare
Skype	Videoanrufe (1:1)	0,128	~ 240p	0,3	~ 240p	Minimum SD, Recommended SD	Recommended Wert bezieht sich auf Sparte "Video calling / Screen sharing". Weitere Sparte: "Video calling (high-quality)" mit 0,4 Mbps Minimum und 0,5 Mbps Recommended. Weitere Sparte: "Video calling (HD)" mit 1,2 Mbps Minimum und 1,5 Mbps Recommended
Teams (Microsoft)	Videoanrufe (1:1)	0,2	~ 240p	1,5	~ 720p	Minimum SD, Recommended HD	Recommended Wert ist in diesem Fall mit einer besseren Qualität verbunden (höhere Auflösung). Außerdem gibt es noch einen "Best Performance" Wert mit 4 Mbps benötigter Bandbreite
Whatsapp	Videoanrufe (1:1)	0,7	~ 360p	Kein Wert	-	Minimum SD	
Zoom	Videoanrufe (1:1)	Kein Wert	-	0,6	~ 360p	Recommended SD	Recommended Wert bezieht sich auf Sparte "High-quality video". Weitere Sparte: "720p HD video" mit 1,2 Mbps Recommended. Weitere Sparte: "1080p HD video" mit 3,8Mbps/3.0Mbps (up/down)
Skype	Video-konferenz	0,128 / 0,512 (up/down)*	~ 240p	0,512 / 2 (up/down)*	?	Minimum SD, Recommended SD	Recommended Wert bezieht sich auf Sparte "Group video (3 people)". Weitere Sparte: "Group video (5 people)" mit 0,128 / 2 Mbps (up/down) Minimum und 0,512 / 4 Mbps (up/down) Recommended*. Weitere Sparte: "Group video (7+ people)" mit 0,128 / 4 Mbps (up/down) Minimum und 0,512 / 8 Mbps (up/down) Recommended*
Teams (Microsoft)	Video-konferenz	0,15 / 0,2 (up/down)	~ 240p	2,5 / 4 (up/down)	?	Minimum SD, Recommended HD	Recommended Wert ist in diesem Fall mit einer besseren Qualität verbunden (höhere Auflösung). Außerdem gibt es noch einen "Best Performance" Wert mit 4 Mbps benötigter Bandbreite
Whatsapp	Video-konferenz	0,7	~ 360p	Kein Wert	-	Minimum SD	
Zoom	Video-konferenz	Kein Wert	-	1 / 0,6 (up/down)	~ 360p	Recommended SD	Recommended Wert bezieht sich auf Sparte "High-quality video". Weitere Sparte: "720p HD video" mit 2,6Mbps/1.8Mbps (up/down). Weitere Sparte: "1080p HD video" mit 3,8Mbps/3.0Mbps (up/down)

Quelle: WIK, auf Basis von Tabelle im Anhang „Leistungsmerkmale von Videoanrufen und Videokonferenzen ausgewählter Anbieter – verwendete Quellen“, Abschnitt Videokonferenzen

Wie bereits in Abschnitt 3.1.1 u.a. ausgeführt, können sich Videokonferenz-Anwendungen dynamisch an die Bandbreitenbedingungen anpassen. Dies zeigt eine Toleranz der Videoanruf- oder Videokonferenz-Anwendungen bzgl. der erforderlichen Datenübertragungsrate im Up- und auch Download. Zur Ableitung der Mindestanforderungen ist dieses Leistungsmerkmal jedoch nicht weiter von Bedeutung, da wir auf eine Standard-Produktqualität (SD) abstellen. Zwar funktioniert die Videokonferenzanwen-

derung auch noch bei Unterschreitung der festgelegten Datenübertragungsraten, dies soll jedoch vornehmlich ein punktuell Abweichen von der benötigten Datenübertragungsrate überbrücken. Ein dauerhaftes Unterschreiten der produktspezifischen Datenübertragungsraten hat letztlich eine schlechtere Produktqualität zur Folge.

In Bezug auf die Anforderungen an die Latenz finden sich hier die im Kontext des Sprachtelefondienst abgeleiteten Obergrenzen wieder. In der nachfolgenden Tabelle 3-21 sind die von verschiedenen Anbietern angegebenen Obergrenzen vergleichend dargestellt.

Bei der Auswahl der Qualität der jeweiligen Produkte haben wir im Sinne der Mindestanforderungen eines Universaldienstes auf die Standardqualität – in der Tabelle auch als „Minimum“ Qualität gekennzeichnet – zurückgegriffen.¹⁹⁴

Tabelle 3-21: Obergrenzen verschiedener Produkte für Anrufe und Videoanrufe an die Latenz

Dienst Produkt	Latenz [ms]
(11) Anrufe und Videoanrufe (Standardqualität: SD)	150
Audio (G.711)	150
Videoanrufe (1:1) über Skype	150
Videoanrufe (1:1) über Teams	160
Videoanrufe (1:1) über Whatsapp	-
Videoanrufe (1:1) über Zoom	150

*) Der für Teams angesetzte Wert basiert auf Einzelangaben zu Teilstrecken des Übertragungsweges und beinhaltet hier auch die zusätzliche, auf Unternehmensnetze entfallende Latenz an den Enden der Verbindung im Fall von Geschäftskunden. Siehe <https://docs.microsoft.com/en-us/skypeforbusiness/optimizing-your-network/media-quality-and-network-connectivity-performance>

Quelle: WIK, auf Basis von Tabelle im Anhang „Latenzanforderungen von Videoanrufen und Videokonferenzen ausgewählter Anbieter – verwendete Quellen“, Abschnitt Videokonferenzen

3.3.5 Remote Desktop

In Abschnitt 2.4.5 hatten wir erläutert, dass Remote Desktop Anwendungen als Video-Anwendungen zu klassifizieren sind. Sie fallen ebenfalls in die Kategorie der Dienste mit kontinuierlichen Datenströmen. Dies gilt insbesondere für den Download, da die grafische Darstellung des Bildschirms vom entfernten Computer übertragen wird; im Upstream dagegen werden im Wesentlichen die Steuerungssignale über Tastatur und Maus übermittelt (Nutzereingaben). Daher haben wir bei Remote-Desktop-Anwendungen ebenso wie bei den webbasierten Diensten keine Anforderungen an den Upload untersucht.

¹⁹⁴ Siehe hierzu auch die vergleichende Darstellung der Leistungsmerkmale verschiedener Anbieter in: <https://www.pcwelt.de/a/wie-viel-datenvolumen-brauche-ich,3448702>

Für die Ermittlung der Mindestanforderungen dieses Dienstes wurde auf das Produkt Microsoft Remote Desktop MS Azure zurückgegriffen.¹⁹⁵ Dabei haben wir uns für die in die Quantifizierung einfließenden Anwendungen auf das Office-Paket fokussiert. Microsoft unterscheidet dabei zwischen einem Standardmodus und dem H.264/AVC 444 Videomodus, wobei letzterer qualitativ höherwertiger ist. Für unsere Analyse haben wir auf den höherwertigen Modus abgestellt.¹⁹⁶ Anwendungen mit den maximalen Anforderungen an die Datenübertragungsrate, wie sie durch Videowiedergabe im Vollbildmodus benötigt werden, haben wir dabei jedoch vernachlässigt.¹⁹⁷

Tabelle 3-22: Remote Desktop – Mindestanforderungen an die Datenübertragungsrate im Download

Dienst/ Produkt	Down [Mbps]	Quelle
Remote-Desktop	1,91	
Microsoft Remote Desktop (+VPN)	1,91	MS Azure (=1,8 Mbps ist der max. Mbps-Wert unter den MS-Anwendungen bei Modus H.264/AVC 444)

Quelle: WIK auf Basis von Microsoft (2021); Determine user connection latency in Azure Virtual Desktop <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/virtual-desktop/connection-latency>

Da es sich bei Remote Desktop um einen Dienst mit kontinuierlichem Datenstrom handelt, ist für diesen auch die Laufzeitverzögerung von Bedeutung. Ebenso wie bei den bisher analysierten Diensten dieser Kategorie, handelt es sich bei den Angaben zur Latenz um Empfehlungen, die für die vom Anbieter angestrebte Qualität des Produktes eingehalten werden sollten. Microsoft Azure gibt dabei für den Einsatz von Remote Desktop im Bereich Audio und Video eine mittlere Laufzeitverzögerung von bis zu 150 ms, für sonstige Anwendungen, wie beispielsweise Textverarbeitung, die Obergrenze von 200 ms an.

3.3.6 Zusammenfassung der technischen Anforderungen an die Dienste mit kontinuierlichen Datenströmen

In den nachstehenden Tabellen werden die ermittelten Mindestanforderungen für den Down- und Upload der untersuchten, gängigsten Produkten für Dienste mit kontinuierlichen Datenströmen zusammengefasst. Ein separater Ausweis erfolgt für die Dienste des Anhang V, die Teleheimarbeit und die Online-Inhaltendienste. Diese Werte basieren

¹⁹⁵ Microsoft (2021): Bandbreitenanforderungen des Remotedesktopprotokolls; <https://docs.microsoft.com/de-de/azure/virtual-desktop/rdp-bandwidth>

¹⁹⁶ Siehe auch die Datengrundlage im Anhang.

¹⁹⁷ Bei dieser Anwendung sieht sich der Benutzer ein Video mit 30 Frames pro Sekunde an, das im Vollbildmodus wiedergegeben wird. Dies erfordert eine Datenübertragungsrate im Download von 3,1 Mbps. Im Anhang haben wir die Angaben von Microsoft zu Remote Desktop vollständig wiedergegeben.

auf der Standardqualität (bei Telefonie bzw. Audio wird hierfür der Codec G.711 herangezogen); sie finden Eingang in die Ableitung der Mindestanforderung.

Tabelle 3-23 Down- und Upstream-Anforderungen an Dienste mit kontinuierlichen Datenströmen: Anhang-V Dienste

Dienste/ Produkte	Down [Mbps]	Up [Mbps]
(11) Anrufe und Videoanrufe (Standardqualität: SD)	0,700	0,700
Audio (G.711)	0,092	0,092
Videoanrufe (1:1) über Skype	0,128	0,128
Videoanrufe (1:1) über Teams	0,200	0,200
Videoanrufe (1:1) über Whatsapp	0,700	0,700
Videoanrufe (1:1) über Zoom	0,600	0,600

Quelle: WIK

Tabelle 3-24 Down- und Upstream-Anforderungen an Dienste mit kontinuierlichen Datenströmen: Teleheimarbeit

Dienste/ Produkte	Down [Mbps]	Up [Mbps]
Remote-Desktop	1,908	-
Microsoft Remote Desktop	1,908	-
Anrufe und Videoanrufe (SD) [beruflich]	0,742	0,742
Audio (G.711)	0,138	0,138
Videoanrufe (1:1) über Skype	0,136	0,136
Videoanrufe (1:1) über Teams	0,212	0,212
Videoanrufe (1:1) über Whatsapp	0,742	0,742
Videoanrufe (1:1) über Zoom	0,636	0,636
(Gruppen-) Videokonferenzen (SD)	0,742	1,060
Videokonferenz über Skype	0,543	0,136
Videokonferenz über Teams	0,265	0,265
Videokonferenz über Whatsapp	0,742	0,742
Videokonferenz über Zoom	0,636	1,060

Quelle: WIK

Tabelle 3-25 Down- und Upstream-Anforderungen an Dienste mit kontinuierlichen Datenströmen: Online-Inhalte-Dienste

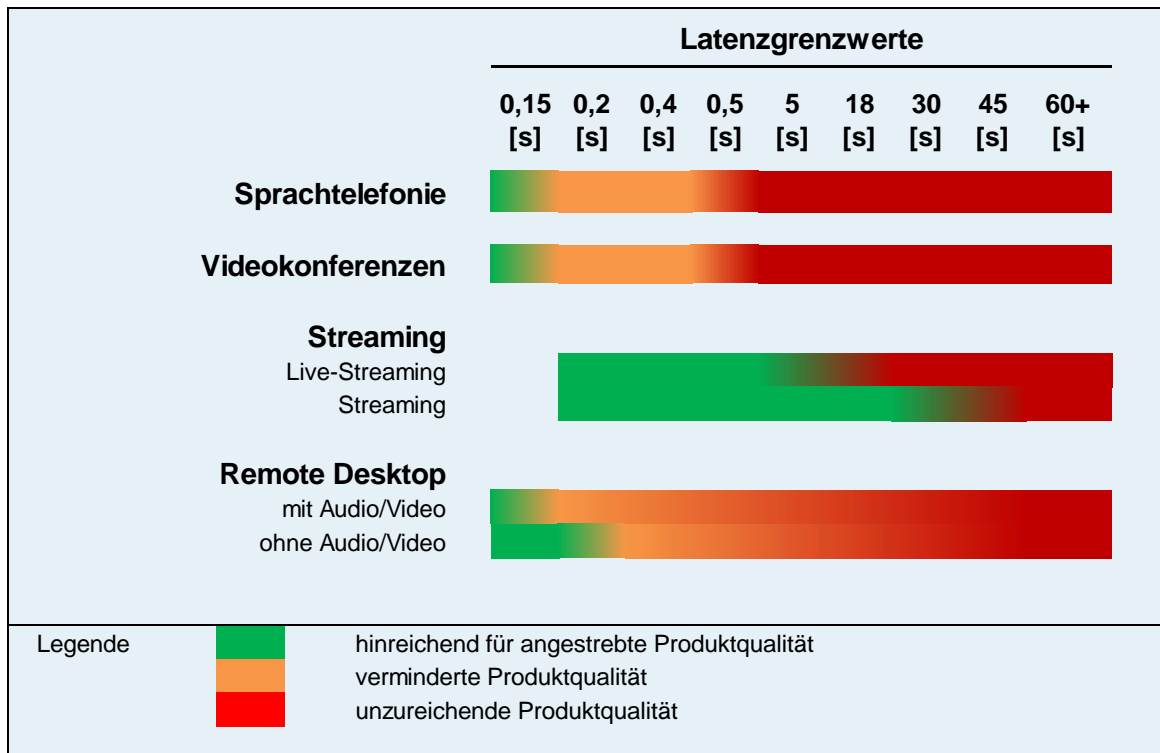
Dienste/ Produkte	Down [Mbps]	Up [Mbps]
Video-Streaming	3,000	-
SD Streaming (480p)	3,000	0,000
HD Streaming (1080p)	5,000	0,000
Ultra HD Streaming	25,000	0,000
Musik-Streaming	0,320	-
Standard (320 kBit/s)	0,320	0,000
HD (44.1kHz / 16bit)	0,850	0,000
Ultra HD (bis 192kHz / 24 bit)	3,730	0,000

Quelle: WIK

Die abgeleiteten Erkenntnisse in Bezug auf die kritischen Latenzwerte für die untersuchten Dienste und Produkte sind in der nachfolgenden Abbildung 3-13 zusammengefasst. Sie verdeutlichen anhand der grün dargestellten Bereiche, dass die für den Sprachtelefondienst etablierte Obergrenze von 150 ms (One-Way-Delay) auch bei anderen Diensten relevant ist. Die damit einhergehende Qualität etabliert den Maßstab für die technischen Anforderungen auch für Videokonferenzen und Remote Desktop. Die orange gefärbten Bereiche bringen zum Ausdruck, dass mit steigenden Latenzwerten die Qualität zunehmend beeinträchtigt wird und wie sich die Produkte dahingehend unterscheiden. Im roten Bereich kann nicht mehr von einer Funktionsfähigkeit – selbst bei verminderter Qualität – gesprochen werden.¹⁹⁸

¹⁹⁸ Eine numerische Darstellung der je Produkt empfohlenen Obergrenzen findet sich im Anhang.

Abbildung 3-13: Obergrenzen für die zulässige Latenz der Produkte und Graubereiche ihrer Funktionsfähigkeit



Quelle: WIK auf Basis von Latenzgrenzwerten von ITU-G. 1010 (150ms und 400ms), Theo Technologies (2018): The importance of low latency in video streaming; <https://www.theoplayer.com/blog/the-importance-of-low-latency-in-video-streaming> (200ms, 500ms, 5s, 18s, 30s, 45s, 60+) und Microsoft (2021): Determine user connection latency in Azure Virtual Desktop; <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/virtual-desktop/connection-latency> (150ms und 200ms).

3.4 Mindestanforderungen der Dienste mit diskreten Datenvolumina

3.4.1 Ergebnisse webbrowserbasierter Messungen – Download

3.4.1.1 Messergebnisse der Anhang V-Dienste

3.4.1.1.1 Messergebnisse und abgeleitete Datenübertragungsraten für webbrowserbasierte Produkte auf Basis der Nutzungsvorgänge

Aus den Messungen der identifizierten, typischen Produkte von webbrowserbasierten Anwendungen sind insgesamt 663 Einzelmesswerte entstanden.¹⁹⁹ Die nachfolgende Tabelle 3-26 zeigt die Ergebnisse der Messungen für das Produkt google.de, wobei in der Tabelle neben dem für unsere Methodik relevanten Wert „Daten @ Load [MB]“ auch die bei unserer Messung beobachtete Ladezeit („Load [s]“) sowie das „Datenvolumen Gesamt [MB]“ ausgewiesen sind.

¹⁹⁹ Eine vollständige Darstellung der Messwerte findet sich im Anhang zu dieser Studie.

Tabelle 3-26: Gemessenes initiales sowie gesamtes Datenvolumen [MB] und Kategorisierung anhand von ITU G.1010 illustriert anhand der Messungen für Google.de

(2) Suchmaschinen, die das Suchen und Auffinden aller Arten von Informationen ermöglichen
Allgemeine Informationssuche
Google

0,60 Median
0,75 Mittelwert
1,20 Max

							Kategorisierung ITU G.1010				
Wiederholung	Alternatives Nutzerverhalten	Schritt	Nutzungsvorgang	Daten @ Load [MB]	Load [s]	Datenvolumen [MB], Gesamt (ohne Nachladen oder Werbung)	Error tolerant (ja/nein)	interactive	responsive	timely	non-critical
Messung A1											
1		1	Seite aufrufen	0,5	0,425	0,5	nein		X		
1	Fahrrad	2	Suchbegriff eingeben (Alles)	0,56	1	0,9	nein		X		
1		3	Rubrik Shopping	0,6	1,55	2,6	nein		X		
1		4	Rubrik Maps	1,1	2	2,8	nein		X		
1		5	Rubrik Bilder	1	1,27	1,2	nein		X		
Messung A2											
2		1	Seite aufrufen	0,5	0,43	0,5	nein		X		
2	Fahrrad	2	Suchbegriff eingeben (Alles)	0,6	1,9	0,9	nein		X		
2		3	Rubrik Shopping	0,58	1,6	2,5	nein		X		
2		4	Rubrik Maps	1	1,8	2,8	nein		X		
2		5	Rubrik Bilder	1	1,2	1,2	nein		X		
Messung A3											
3		1	Seite aufrufen	0,5	0,42	0,5	nein		X		
3	Fahrrad	2	Suchbegriff eingeben (Alles)	0,6	1,9	0,9	nein		X		
3		3	Rubrik Shopping	0,61	1,54	2,5	nein		X		
3		4	Rubrik Maps	1	1,9	2,8	nein		X		
3		5	Rubrik Bilder	1	1,3	1,2	nein		X		
Messung B1											
1		1	Seite aufrufen	0,5	0,43	0,5	nein		X		
1	Kaffeemaschine	2	Suchbegriff eingeben (Alles)	0,50	1,85	0,9	nein		X		
1		3	Rubrik Shopping	0,50	2	1,9	nein		X		
1		4	Rubrik Maps	1,2	1,7	2,8	nein		X		
1		5	Rubrik Bilder	1,1	1,84	1,2	nein		X		
Messung B2											
2		1	Seite aufrufen	0,5	0,42	0,5	nein		X		
2	Kaffeemaschine	2	Suchbegriff eingeben (Alles)	0,53	1,8	0,9	nein		X		
2		3	Rubrik Shopping	0,55	1,95	1,9	nein		X		
2		4	Rubrik Maps	1,1	1,6	2,8	nein		X		
2		5	Rubrik Bilder	1	1,9	1,2	nein		X		
Messung B3											
3		1	Seite aufrufen	0,5	0,44	0,5	nein		X		
3	Kaffeemaschine	2	Suchbegriff eingeben (Alles)	0,6	1,9	0,9	nein		X		
3		3	Rubrik Shopping	0,6	2	1,9	nein		X		
3		4	Rubrik Maps	1,2	1,7	3	nein		X		
3		5	Rubrik Bilder	1	2	1,2	nein		X		

Quelle: WIK

Die Spannweite der erfassten, initial geladenen Datenvolumina (Daten @ Load [MB]) über alle Produkte reicht von 0,005 bis 9,6 MB.

Tabelle 3-27: Datenvolumina webbrowserbasierter Nutzungsvorgänge der identifizierten Produkte

	Daten @Load [MB]	Daten Gesamtvolum [MB]
Mittelwert	1,43	1,95
Median	1,20	1,40
Maximum	9,60**	15,8***
Minimum	0,005*	0,005*

* Fahrschule.de; ** eBay-Kleinanzeige; *** Bild.de

Quelle: WIK

Bei der Transformation der gemessenen, initial geladenen Datenvolumina haben wir, wie in Tabelle 3-28 dargestellt, für die webbrowserbasierten Anwendungen die Zuordnung der Kategorien für die akzeptierte Übertragungsdauer angewendet. Dabei findet für die hier relevante Kategorie „responsive“ die tolerierte Übertragungsdauer von vier Sekunden Anwendung.²⁰⁰

Tabelle 3-28: Webbrowserbasierte Datenübertragungsrate [Mbps] – Ermittelt auf Basis der Nutzungsvorgänge (Kategorie „responsive“)

	Mbps bei tolerierter Übertragungsdauer (tolerante Variante: 4 Sekunden) [Mbps]
Mittelwert	2,85
Median	2,40
Maximum	19,20
Minimum	0,01

Quelle WIK

Die auf Basis der Nutzungsvorgänge abgeleiteten Mindestanforderungen an die Datenübertragungsrate bringen mit ihrem Maximalwert in Höhe von 19,2 Mbps im Vergleich zum Mittelwert und Median einen auffällig hohen Wert hervor. Für diesen hohen Wert ist die Startseite von Ebay-Kleinanzeigen verantwortlich. Eine tiefergehende Betrachtung dieses Anwendungsfalls hat gezeigt, dass

- das Datenvolumen der Startseite unwesentlich größer ist als das initial geladene Datenvolumen und auch
- die weiteren Aufrufe auf der Website von Ebay-Kleinanzeigen mit deutlich geringeren Datenanforderungen einhergehen.

Hier kommen offenbar mehrere Aspekte zum Tragen. Zum einen werden die Inhalte der Seite Ebay-Kleinanzeigen nicht vom Anbieter der Webseite kontrolliert. Dieser setzt lediglich die Rahmenbedingungen, bis zu welchen Obergrenzen (Dateivolumen) Daten und Bilder eingestellt werden dürfen. Zum anderen ist das Design der Webseite dafür verantwortlich, welchen Umfang das initial zu ladende Datenvolumen beträgt.

Um die technischen Mindestanforderungen der untersuchten Produkte zu quantifizieren, ist es daher nicht sinnvoll, den Nutzungsschritt mit den maximalen Anforderungen an die Datenübertragungsrate heranzuziehen, da dieser nicht hinreichend die Nutzung des Produkts charakterisiert: Während mit unseren Vorgaben von vier Sekunden ein sehr reduzierter Zeitraum beschrieben wird, umfasst die Nutzung eines Produkts eine produktbezogene Session-Dauer, die deutlich darüber liegt. Dabei beträgt die Reaktionszeit des Nutzers, die er benötigt, um auf die aktualisierten Seiteninhalte zu reagieren.

²⁰⁰ Die Begründung für diese Vorgehensweise wurde in Abschnitt 3.2.3.2 erläutert.

ren, oft ein Vielfaches der von uns angesetzten vier Sekunden. Letztlich bewertet der Nutzer die Qualität des Dienstes auf Basis der Summe der Nutzungsvorgänge, für die wir eine maximale Toleranz von vier Sekunden unterstellt haben (responsive). Dies bestätigen auch Analysen zum Nutzerverhalten, wonach die Bereitschaft von Nutzern, längere Übertragungsdauern zu tolerieren, eng mit dem Inhalt der Webseiten korreliert.²⁰¹ Daher erachten wir es als sinnvoll, auf die Gesamtheit der Nutzungsvorgänge zurückzugreifen, um die produktbezogenen technischen Mindestanforderungen bestimmen zu können.

Die in Tabelle 3-28 gezeigten Anforderungen an die Datenübertragungsrate auf Ebene der Nutzungsvorgänge unterstützt die Entscheidung, Mindestanforderungen auf Produktebene anstelle auf Ebene der Nutzungsvorgänge abzuleiten. Die maximale Anforderung liegt mit 19,2 Mbps deutlich über dem Mittelwert (2,85 Mbps) und auch Median (2,4 Mbps). Dies macht deutlich, dass eine Vielzahl von Nutzungsvorgänge mit eher niedrigen Anforderungen an den Download einhergehen und ein Zurückgreifen auf isolierte Nutzungsvorgänge die Nutzung des Produkts nicht angemessen repräsentiert.

3.4.1.1.2 Produktbezogene Bestimmung von Mindestanforderungen der Dienste

Für die produktbezogene Bestimmung der Mindestanforderungen werden die einzelnen Messwerte auf Ebene der Nutzungsvorgänge zu einem, das jeweilige Produkt repräsentierenden Wert zusammengefasst. Dabei kommen für die produktbezogene²⁰² Verdichtung der Messwerte zu einem aggregierten Wert der arithmetische Mittelwert und der Median als Maßstab in Frage.

Das arithmetische Mittel ist durch den statistischen Durchschnittswert definiert. Hierbei wird die Summe des Datenvolumens aller Nutzungsvorgänge durch die Anzahl der Nutzungsvorgänge geteilt. Nach dieser Methodik liegt ein direkter Zusammenhang zwischen der Höhe des Datenvolumens und des berechneten Mittelwerts vor: Je höher das Datenvolumen einzelner Messwerte (egal welches), desto höher fällt der Durch-

²⁰¹ Siehe Google-Empfehlungen zu Ladezeiten von Webseiten (SEO News (2020): Google gibt neue Empfehlungen zur Ladezeit von Webseiten; <https://www.seo-suedwest.de/5846-google-gibt-neue-empfehlungen-zur-ladezeit-von-webseiten.html>), An, Daniel (2018): Find out how you stack up to new industry benchmarks for mobile page speed (<https://www.thinkwithgoogle.com/marketing-strategies/app-and-mobile/mobile-page-speed-new-industry-benchmarks/>). Die Core Web Vitals von Google, (<https://blog.chromium.org/2020/05/introducing-web-vitals-essential-metrics.html>).)

²⁰² Alternativ wäre es auch denkbar, die erhobenen Einzelwerte (Messwerte der Nutzungsvorgänge) **von sämtlichen Produkten eines Dienstes** für die Mittelwert- bzw. Medianwertbildung pro Dienst heranzuziehen. Ein auf diese Weise ermittelter Wert repräsentiert damit quasi ein synthetisches, den jeweiligen Dienst vertretendes Produkt. (Der methodische Ansatz, eine Aggregation auf Dienstebene vorzunehmen, ist letztlich so zu interpretieren, dass der auf Ebene des Dienstes ermittelte Wert repräsentativ für jedes einzelne Produkt steht.) Da § 157 (3) Satz 3 sich jedoch auf die Ermöglichung („stets mindestens“) der Dienste bezieht, welche nur anhand konkreter Produkte überprüft werden kann, erachten wir diesen Ansatz als nicht zielführend. Letztlich liegen die auf diese Art und Weise ermittelten Mindestanforderungen immer unterhalb der Werte, die mit dem Ansatz der produktbezogenen Ermittlung abgeleitet werden. Dies gilt unter der Annahme, dass (a) mehr als ein Produkt je Dienst berücksichtigt wird und (b) die Produkte heterogene Messwerte aufweisen. Letzteres ist bei den vorliegenden Daten uneingeschränkt gegeben.

schnittswert aus. Da die gemessene Höhe des Datenvolumens ein maßgeblicher Faktor für die Bestimmung der Mindestanforderung ist, ist die Anwendung des arithmetischen Mittels grundsätzlich sinnvoll.

Demgegenüber gibt der Median die zentrale Lage einer Datenverteilung an, d.h. wie die Datenvolumina über die Nutzungsvorgänge verteilt sind. Hier führt eine Erhöhung oder Senkung einzelner Datenvolumina nicht zwingend zu einem höheren bzw. niedrigeren Median, sofern diese Änderungen nicht die mittlere(n) Beobachtung(en) betreffen. Daher ist der Median weniger sensitiv gegenüber Extremwerten oder möglichen Ausreißern. Die Anwendung des Medians ist i.d.R. sinnvoll, wenn der verdichtete Wert nicht von der Höhe extremer oder außergewöhnlicher Messwerte abhängen soll. Bei weitestgehend homogenen Verteilungen (wenig variierende Datenvolumina zwischen den Nutzungsvorgängen) lassen sich nur geringe Unterschiede zwischen dem arithmetischen Mittelwert und dem Median feststellen.

Für sämtliche Produkte wurden beide Kennziffern ermittelt und die Ergebnisse verglichen. Auf dieser Basis wurde dann darüber entschieden, ob das arithmetische Mittel oder der Median Anwendung finden soll.

Die für die Produkte ermittelten Werte sind in der nachfolgenden Tabelle 3-29 dargestellt.

Für die Ableitung der Mindestanforderung auf Ebene der Dienste haben wir für jeden Dienst (in der Tabelle 3-29 gelb hinterlegt) sämtliche erfassten Produkte dargestellt. Dabei determiniert das Produkt mit den kritischsten Anforderungen an die Datenübertragungsrate die Anforderungen für den jeweiligen Dienst.

Ob man den Downstream-Wert unter Anwendung des Medians oder des arithmetischen Mittels bestimmt hat, führt auf Produktebene nicht zu wesentlichen Unterschieden im Ergebnis. In drei von neun Fällen übersteigt der Median leicht den Mittelwert. Lediglich bei dem Dienst „Soziale Medien und Sofortnachrichten“ erscheint die Abweichung mit knapp 1 Mbps nennenswert. Die Mittelwerte der Produkte übersteigen in zwei Fällen den Median um diesen Betrag („Online-Nachrichten“ und „Nutzung elektronischer Behördenendienste“).

Unter Anwendung der Mittelwertbildung ist der Dienst „Online-Einkauf oder Online-Bestellung von Waren und Dienstleistungen“ mit dem Produkt Ebay-Kleinanzeigen (7,5 Mbps) der Dienst mit den höchsten technischen Anforderungen im Downstream.

Tabelle 3-29: Mindestanforderungen [Mbps] auf Produktebene

	Ø-Produkt		Median-Produkt	
	Down [Mbps]	Up [Mbps]	Down [Mbps]	Up [Mbps]
(2) Suchmaschinen, die das Suchen und Auffinden aller Arten von Informationen ermöglichen	3,548		3,708	
https://www.google.com/?hl=de	1,547		1,236	
https://www.ideal.de/	2,432		2,472	
https://www.bahn.de/p/view/index.shtml	3,033		3,502	
https://www.booking.com/	3,548		3,708	
https://kursnet-finden.arbeitsagentur.de/kurs/portal	1,030		0,721	
https://www.tk.de/techniker	1,511		1,339	
https://service.berlin.de/	1,435		1,236	
https://verwaltung.bund.de/portal/	2,966		2,884	
(3) grundlegende Online-Werkzeuge für die Aus- und Weiterbildung	2,541		1,854	
https://de.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Hauptseite	0,930		0,824	
https://scholar.google.de/schhp?hl=de	0,127		0,103	
https://www.fahrschule.de/	1,188		1,030	
https://anton.app.de/	2,541		1,854	
(4) Online-Zeitungen oder Online-Nachrichten	6,997		5,768	
https://www.bild.de/	6,997		5,768	
https://www.spiegel.de/	4,017		3,708	
https://www.tagesschau.de/	2,390		2,266	
(5) Online-Einkauf oder Online-Bestellung von Waren und Dienstleistungen	7,681		5,562	
https://www.amazon.de/	3,891		3,296	
https://www.ebay-kleinanzeigen.de/	7,681		5,562	
(6) Arbeitssuche und Werkzeuge für die Arbeitssuche	3,643		3,399	
https://www.arbeitsagentur.de/	3,643		3,399	
https://www.stepstone.de/	3,399		2,678	
(7) Berufliche Vernetzung	4,413		4,120	
https://www.xing.com/de	4,413		4,120	
(8) Online-Banking	2,858		3,296	
https://www.vvr-bank.de	2,627		2,472	
https://www.deutsche-bank.de	2,858		3,296	
(9) Nutzung elektronischer Behördendienste	2,685		1,648	
https://www.stadt-koeln.de/service/onlinedienste/geburtsurkunde	2,685		1,648	
(10) soziale Medien und Sofortnachrichtenübermittlung	6,558		7,519	
https://www.facebook.com/	6,558	-	7,519	-

Datenaustausch: 1,236 Mbps (webbasierte Anhang V-Dienste)

Datenaustausch: 1,236 Mbps (webbasierte Anhang V-Dienste) = Ø-Produkt

Quelle WIK

Unter Anwendung des Medians rückt hier ein anderer Dienst an die oberste Stelle: Hier zeigt der Dienst „soziale Medien und Sofortnachrichtenübermittlung“ mit dem Produkt Facebook (7,3 Mbps) die höchsten Downstream-Werte für die Mindestanforderung.

Die Anwendung der Durchschnittswertbildung erachten wir – in Abgrenzung gegenüber dem Median – als sinnvoll, da er auch die Beobachtungen insbesondere am oberen Rand wertmäßig berücksichtigt.²⁰³ In seiner Größenordnung liegt der Wert nur gering-

²⁰³ Diese Abwägung zwischen Mittelwert- und Medianbildung hat auch bei den sonstigen Kategorien der in dieser Studie betrachteten Dienste Relevanz.

fällig oberhalb des mit der Median-Methode abgeleiteten Wertes (Differenz ca. 200 kbps).

Für den Upstream-Wert wird die durchschnittliche Dateigröße des Dienstes Datenaustausch stellvertretend für die webbasierten Anhang V-Dienste ausgewiesen und auf eine Zuordnung zu den einzelnen Dienstekategorien verzichtet. Da lediglich die Information über das arithmetische Mittel vorliegt, konnten wir für die Median-Betrachtung keine spezifische Aussagen machen.

3.4.1.2 Messergebnisse cloudbasierter Anwendungen

Zur Messung der übertragenen Datenmengen beim Cloud-Dienst „Microsoft Online“ wurden die drei hauptsächlich genutzten Anwendungen Word, Excel und PowerPoint betrachtet. Im Gegensatz zu den Messungen der webbasierten Dienste wurde bei dieser Messung nur teilweise auf den Cache des Nutzers verzichtet. Wir sind davon ausgegangen, dass in der Regel ein Nutzer diese Anwendungen regelmäßig nutzt und daher die Cache-Funktion des verwendeten Browsers wirksam ist. Dennoch besteht die Möglichkeit, dass manchmal die benötigten Daten nicht im Cache vorhanden sind und daher alle benötigten Daten geladen werden müssen. Bei den Messungen wurde das insofern berücksichtigt, als dass das Laden der Office-Startseite und das Öffnen der Applikation ohne Cache gemessen wurde. In weiteren Messungen wurde dann der Cache für die Nutzungsvorgänge des Öffnens der Applikation, das Anlegen eines neuen Dokumentes und das Öffnen eines bereits in der Cloud vorhandenen Dokumentes genutzt.

Für cloudbasierte Anwendungen fand die Kategorie „timely“ Anwendung.

Tabelle 3-30: Mindestanforderungen cloudbasierter Anwendungen

	Ø-Produkt		Median-Produkt	
	Down [Mbps]	Up [Mbps]	Down [Mbps]	Up [Mbps]
Cloudbasierte Dienste	2,210	-	0,188	-
MS Word	1,531	-	0,127	-
MS Excel	0,614	-	0,131	-
MS PowerPoint	2,210	-	0,188	-

Quelle WIK

3.4.2 Ergebnisse diskretionärer Daten: upload- und downloadbezogene Ergebnisse (E-Mail, Dateigrößen inkl. Teleheimarbeit)

3.4.2.1 E-Mail

Bei der Anwendung von Webmailer oder E-Mail-Client ergeben sich ggf. Unterschiede für den Nutzer, die sich auch in unterschiedlichen Anforderungen an die erforderliche Datenübertragungsrate niederschlagen können. Während im Client die E-Mail zunächst vollständig (einschließlich Hinzufügen von Anhängen) erstellt wird und in der Regel erst dann der Versand im Hintergrund erfolgt, funktionieren manche Webmailer derart, dass bereits nach Auswahl eines Anhangs dieser auf den Server übertragen wird. Dies führt dazu, dass nutzerseitig die Übertragung des Anhangs zum Server abgewartet werden muss, bevor weitere Aktionen folgen können. Nähere Informationen seitens der Anbieter wurden uns jedoch nicht zur Verfügung gestellt, um daraus Unterschiede bei den Größen der E-Mails konkretisieren zu können. Daher sind wir bei unserer Ermittlung der Mindestanforderungen von der E-Mail-Client-Variante und der zu Grunde liegenden E-Mail-Dateigröße ausgegangen.

Der Rücklauf zu unserer Datenerhebung zu E-Mails brachte folgende Ergebnisse hervor: Das durchschnittliche Datenvolumen liegt bei 0,90 MB für E-Mails mit Attachment und 0,06 MB für E-Mails ohne Attachment.

Auf Basis der durchschnittlichen Datenvolumina von E-Mails wurde unter Rückgriff auf eine tolerierte Übertragungsdauer im Umfang von zehn Sekunden (Kategorie „timely“) die gesuchte Datenübertragungsrate abgeleitet. Da E-Mails sowohl empfangen als auch versendet werden, wurde eine Symmetrie für Up- und Download angesetzt.

Die Mindestanforderungen für beruflich veranlasste E-Mail berücksichtigen dabei den VPN-bedingten Aufschlag von 6%.²⁰⁴

204 Die dargestellten Ergebnisse sind für die Mittelwert- und Medianwert-Methode identisch, da nur zwei Rückläufe in die Berechnung eingeflossen sind.

Tabelle 3-31: E-Mail-Mindestanforderungen (privat und Teleheimarbeit)

	Ø-Produkt		Median-Produkt	
	Down [Mbps]	Up [Mbps]	Down [Mbps]	Up [Mbps]
(1) eMail [privat]	0,744	0,744	0,744	0,744
mit Attachment	0,744	0,744	0,744	0,744
ohne Attachment	0,047	0,047	0,047	0,047
eMail [beruflich]	0,788	0,788	0,788	0,788
mit Attachment	0,788	0,788	0,788	0,788
ohne Attachment	0,050	0,050	0,050	0,050

Quelle WIK

3.4.2.2 Datenupload im Kontext webbasierter Dienste

Im Rahmen der Identifizierung der repräsentativen Produkte haben wir herausgearbeitet, dass die webbasierten Dienste asymmetrischen Charakter hinsichtlich der Down- und Upload-Anforderungen haben und vom Downstream dominiert werden. In Tabelle 2-20 haben wir eine Übersicht zusammengestellt, bei welchen Produkten der Upload über das Aufrufen weiterer Seiten hinausgeht und entweder den Upload von Dateien oder die Texteingabe in Formularen erfordert, wobei letzteres vernachlässigbar ist.

Die aus dem Up- und Download von Dateien im Zusammenhang mit webbrowserbasierten Anhang V-Diensten entstehenden Anforderungen an die Datenübertragungsrate haben wir jedoch nicht im Einzelnen ermittelt und ausgewertet.²⁰⁵ Daher verzichten wir auf einen Ausweis von Upload-Anforderungen für die Kategorie webbrowserbasierter Dienste und verweisen stattdessen auf den Dienst „Datenaustausch“ (Abschnitt 3.4.2.3). Das für den Dienst Datenaustausch angesetzte Datenvolumen repräsentiert dabei stellvertretend die produktspezifischen Anforderungen für den Datei-Upload bzw. –Download der webbrowserbasierten Dienste.

Ein weiterer Grund für diese Vorgehensweise ist eine fehlende belastbare Datenbasis für die Gesamtheit der zu betrachtenden webbrowserbasierten Produkte. Vor dem Hintergrund, dass die Größen von hoch- oder heruntergeladenen Dateien sehr einzelfallabhängig sind, erachten wir die Anwendung eines möglichst global abgeleiteten Durchschnittswertes als angemessen.

²⁰⁵ Auch war methodisch der Ansatz der webbasierten Messung unter Einsatz der Developer-Tools nicht möglich und hätte zudem das Vorliegen entsprechender, repräsentativer Dateien erfordert.

Tabelle 3-32: Mindestanforderungen von Datenaustausch im Kontext von webbasierten Anhang V-Diensten

Dienst	Down [Mbps]	Up [Mbps]	Quelle
Datenaustausch [privat]	1,24	1,24	Ø-Dateigröße: 1,5 MB (arithmetisches Mittel). Dinneen and Nguyen (2021). How Big Are Peoples' Computer Files? File Size. In ASIS&T '21: Proceedings of the 84th Annual Meeting of the Association for Information Science & Technology, 58.

Quelle WIK, auf Basis von Dinneen and Nguyen (2021)

Ergänzend haben wir dennoch eine Bestandsaufnahme zu typischen Dateigrößen einzelner, von uns untersuchter Dienste und Produkte vorgenommen, um unsere Ergebnisse in Bezug auf die Nutzerzufriedenheit abzusichern zu können.²⁰⁶

3.4.2.3 Datenaustausch (inkl. Cloud-Speicher)

Den Dienst „Datenaustausch“ haben wir unabhängig vom tatsächlich verwendeten Speicherort (z.B. zum/vom Unternehmensserver, mittels E-Mail-Anhang oder zum/vom Cloud-Speicher) untersucht und auf die Dateigröße abgestellt. Für die tolerierte Übertragungsdauer kam die Kategorie „timely“ mit zehn Sekunden zur Anwendung.

Die seltener notwendigen Datentransfers, die sich z.B. aus Software-Updates ergeben, wurden bei der Transformation der Datenvolumina nicht berücksichtigt; diese Dienste haben einen unidirektionalen Charakter und erfordern Interaktion zwischen Server und Nutzer (nachdem der Datentransfer initiiert wurde). Der Nutzer kann diesen Dienst zu einem Zeitpunkt starten, bei dem er davon ausgehen kann, dass er diesen bis zur Fertigstellung des Downloads nicht mehr benötigt (siehe dazu auch unsere Ausführungen in Abschnitt 3.2.3.2.3 sowie Tabelle 3-6 und den Ausweis > 60 s). Windows bietet hierzu entsprechende Einstellungen an. Herkömmlich werden derartig große Datenverkehre nachts übertragen. Die Übertragungsdauer haben wir als „unkritisch“ eingestuft. Die Vorgabe einer Obergrenze für die Übertragungsdauer ist im Kontext der Ableitung von Mindestanforderungen für den Internetzugang gemäß § 157 TKG-2021 nicht sinnvoll.²⁰⁷

Die Anforderungen des Datenaustauschs für Down- und Upload sind stark von der von Nutzer zu Nutzer variierende Dateigröße und damit einzelfallabhängig. Deshalb wird die Ermittlungsmethodik auf spezialisierte Studien abgestellt, die auf einer möglichst großen und aktuellen Datengrundlage basieren. Dinneen und Nguyen (2021) erheben eine

²⁰⁶ Siehe dazu die Darstellung im Anhang, Tabelle „Dateigrößen und Upload-Dauer bei Produkten der Anhang V-Dienste und einer Upload-Geschwindigkeit von 1,3 Mbps“.

²⁰⁷ Bei der weitergehenden Analyse von Upload-Anforderungen verschiedener Dateigrößen haben wir auch die zeitlichen Übertragungsdauern für maximale Dateigrößen untersucht. Auf diese Datenbasis haben wir auch im Kontext des Datenupload von webbasierten Diensten abgestellt (siehe Anhang). Die Berechnungen wurden lediglich für den Upload durchgeführt.

durchschnittliche Dateigröße von 1,5 MB (arithmetisches Mittel) auf Basis von 49 Millionen Dateien aus 348 Nutzern.

Tabelle 3-33: Datenaustausch Mindestanforderungen (inkl. VPN)

Dienst	Down [Mbps]	Up [Mbps]	Quelle
Datenaustausch [beruflich]	1,31	1,31	Ø-Dateigröße: 1,5 MB (arithmetisches Mittel). Dinneen and Nguyen (2021). How Big Are Peoples' Computer Files? File Size. In ASIS&T '21: Proceedings of the 84th Annual Meeting of the Association for Information Science & Technology, 58.

Quelle WIK, auf Basis von Dinneen and Nguyen (2021)

3.4.3 Einfluss der Dateigröße auf die zu tolerierende Übertragungsdauer – Bewertung anhand der abgeleiteten Datenübertragungsrate im Upload

Aufgrund der beschränkten Datenverfügbarkeit haben wir für webbrowserbasierten Dienste keine dienstespezifischen Untersuchungen angestellt, sondern vielmehr auf die für den Dienst Datenaustausch ermittelten Anforderungen verwiesen. Für diejenigen Anhang V-Dienste, für die wir Anhaltspunkte über das typische Datenvolumen²⁰⁸ der für den Upload relevanten Dateien finden können, haben wir ergänzend eine rückblickende Analyse durchgeführt: Und zwar haben wir in Abhängigkeit der Dateigröße und der zur Verfügung stehenden Datenübertragungsrate im Upload die zugehörige, erforderliche Übertragungsdauer ermittelt. Die so gewonnene Information über die erforderliche Übertragungsdauer erlaubt uns einen Vergleich mit der für „timely“ angesetzten Anforderung an die Übertragungsdauer von zehn Sekunden bzw. dem Ansatz für zeitunkritische Dienste in Höhe von 60 Sekunden, um auf dieser Basis eine Einschätzung über die zu erwartende Nutzerzufriedenheit gewinnen zu können.²⁰⁹

Dieser Ansatz soll unter Rückgriff auf ein Beispiel verdeutlicht werden. Für ein verbreitetes Produkt in der Dienste-Rubrik Soziale Medien, hier YouTube, weist ein hochgeladenes SD-Video in der Auflösung 480p mit einer Länge von etwa sechs bis acht Minuten, eine Größe von etwa 48 MB bzw. 64 MB auf. Bei einer verfügbaren Datenübertragungsrate im Upload von 1,3 Mbps würde die Dauer in diesem Fall etwa fünf bzw. sieben Minuten betragen. Demgegenüber erfordert ein typisches HD-Video in der Auflösung 1080p mit einer Länge von etwa sechs bis acht Minuten und damit einer Größe von etwa 180 MB bzw. 240 MB bereits eine Übertragungsdauer von etwa 18 bzw. 24 Minuten.

²⁰⁸ Ergänzend haben wir auch die zeitlichen Übertragungsdauern für maximale Dateigrößen auf Basis von Angaben des Herstellers untersucht. Allerdings sind diese für die Ableitung von Mindestanforderungen nicht geeignet, da es sich in der Regel um technische oder administrative Obergrenzen handelt und sie von uns für die Praxis als realitätsfremd eingeschätzt werden.

²⁰⁹ Zur Erinnerung: bei der Ableitung der Datenübertragungsrate waren wir unter Rückgriff auf die gemessenen Datenvolumina von einer vorgegebenen maximalen Zeitdauer ausgegangen. Diese Dauer ist hier nun die endogen bestimmte Größe.

In diesen YouTube-Beispielen sind die Dauern zwar deutlich oberhalb der Annahmen, welche zur Herleitung der Mindestanforderungen herangezogen wurden, zeigen aber, dass die grundsätzliche Funktion auch dieser Anwendungsfelder gegeben ist und auch die Dauern noch in einem erträglichen Umfang liegen.

Letztlich ist zu bedenken, dass der Upload – wie in diesem Fall eines Videos – ein ganz konkretes Transaktionsziel des Nutzers zum Gegenstand hat und nicht mit allgemeinem Webbrowsing vergleichbar ist. Letztlich differenzieren die angesetzten zehn Sekunden für die tolerierte Übertragungsdauer nicht nach dem jeweiligen Zweck des Dienstes. Tatsächlich stellen die Nutzer diensteabhängige Erwartungen an die Übertragungsdauern. Im Fall des YouTube-Videos entscheiden sie sich bewusst für die gewählte Auflösung und Qualität und sind für ein entsprechendes Ergebnis auch bereit, etwas länger zu warten.²¹⁰

Für den Großteil der webbasierten Anhang V-Produkte konnten wir für die typischen Dateigrößen Übertragungsdauern ermitteln, die unterhalb von zehn Sekunden oder nur geringfügig darüber lagen. Sofern von üblichen Dateigrößen für die Dienste ausgegangen wird, erfordern im wesentlichen bild- oder videolastige Dateien Übertragungsdauern von mehr als zehn Sekunden (bei unterstellter Upload-Geschwindigkeit von 1,3 Mbps). Beispielsweise besitzt ein typisches Digitalfoto mit einer Auflösung von 12 Megapixeln eine Größe von etwa 2 bis 4,5 MB. Der Upload würde in diesem Fall etwa bis zu 30 Sekunden dauern. Das Hochladen von sog. Stories bei Instagram (kleine Videos) verlangen bei üblicher Größe eine Übertragungsdauer von knapp 50 Sekunden.

Zusammenfassend können wir feststellen, dass insbesondere Foto- und Videodateien mit hohen Datenvolumina einhergehen. Die jeweiligen Größen sind einzelfallabhängig. Davon abgesehen, wird anhand der untersuchten Beispiele auch im Zusammenhang mit webbrowserbasierten Anhang V-Diensten deutlich, dass der Dateiupload eine angemessene Toleranz an die Übertragungsdauer erfordert, wie wir sie mit den Kategorien „timely“ in unserer Ableitung der Mindestanforderungen zum Ansatz gebracht haben.²¹¹

Eine vollständige, tabellarische Darstellung der von uns untersuchten Produkte findet sich im Anhang (Tabelle „Dateigrößen und Upload-Dauer bei Produkten der Anhang V-Dienste und einer Upload-Geschwindigkeit von 1,3 Mbps“).

210 Letztlich ist anzumerken, dass derartige Video-Uploads in hochauflösenden Formaten in der Praxis Anwendung finden. Dabei ist davon auszugehen, dass der Nutzer eine Abwägung vollzieht, ob die zusätzliche (Bild-)Qualität die längere Zeit, die die Datenübertragung beansprucht, für ihn persönlich rechtfertigt.

211 In diesem Zusammenhang ist auch zu berücksichtigen, dass die Nutzer in Abhängigkeit des jeweiligen Inhalts oder Dienstes auch bereit sind, eine längere Übertragungsdauer zu tolerieren. Siehe dazu Koop, Olaf (2020) und das dort verlinkte Video <https://www.youtube.com/watch?v=XUOD6pcvnso> und auch unsere Ausführungen in Abschnitt 3.1.2.

3.5 Parallelnutzungsszenarien und Erkenntnisse für die Ableitung von Mindestanforderungen für den Internetzugang gemäß § 157 TKG-2021

Die bisherige Ermittlung von Mindestanforderungen stellt darauf ab, dass der Internetzugang die in § 157 (3) spezifizierten Dienste ermöglichen kann. Die Analyse fokussierte sich dabei auf die einzelnen Dienste und die abgeleiteten Mindestanforderungen sollen sicherstellen, dass diese den Anforderungen der individuellen Dienste Rechnung tragen.

Die alltägliche Nutzung eines Internetzugangs ist jedoch nicht auf eine sequentielle Nutzung von einzelnen Diensten beschränkt. Dies gilt sowohl für die parallele Nutzung von Online-Diensten durch einen Nutzer als auch für die gleichzeitige Nutzung durch mehrere Haushaltsmitglieder, die sich einen gemeinsamen Internetzugang teilen. Bei einem Mehrpersonenhaushalt mit mehreren Endgeräten ist eine zeitgleiche Nutzung des Internetzugangs für mehrere Dienste noch ausgeprägter als im Fall des Einpersonenhaushalts. Entsprechend ist heutzutage beispielsweise ein zeitgleiches Telefonieren und Webbrowsering nichts Ungewöhnliches.

Sollen die technischen Mindestanforderungen für eine zeitgleiche Nutzung von Online-Inhaltendiensten quantifiziert werden, so ist eine belastbare Informationsbasis über die Parallelnutzung erforderlich. Eine solche liegt uns nicht vor; auch erscheint uns zweifelhaft, dass derartige Daten auf Haushaltsebene überhaupt erhoben wurden.

Unstrittig ist die Erwartung, dass sich bei einer zeitgleichen Nutzung von Diensten mit kontinuierlichen Datenströmen (Dienste MIT determinierten Mindestanforderungen) die Anforderungen an die Datenübertragungsrate für den Internetzugang mit der Zahl der Nutzer vervielfachen (additive Anforderungen sowohl im Down- als auch Upstream).

Die bisher in dieser Studie abgeleiteten technischen Leistungsmerkmale haben diese zeitgleiche Nutzung nicht beachtet. Unter der Annahme, dass die in den Abschnitten 3.3 und 3.4 technischen Leistungsmerkmale maßgeblich sind, haben diese insbesondere in Bezug auf den Upload einen beschränkenden Charakter: Bei einer bisher abgeleiteten Mindestdatenübertragungsrate für den Upload in Höhe von 1,3 Mbps ist es beispielsweise nicht möglich, zeitgleich zwei Videokonferenzen in Standardqualität (SD) durchzuführen. Dies gilt nicht nur für Gruppenvideokonferenzen (1,1 Mbps Upload-Anforderung), sondern auch bereits für bilaterale Videotelefonate (0,7 Mbps Upload-Anforderung). Demgegenüber ist ein zeitgleiches Videostreaming in SD-Qualität möglich ($2 \times 3,0 \text{ Mbps} < 7,7 \text{ Mbps}$ (Mindestanforderung Download)).

Die technische Anforderung in Bezug auf die **Latenz** bedarf im Parallelnutzungsfall keiner weiteren Betrachtung, da sich Latenzanforderungen nicht ändern, solange für die betrachteten, parallel genutzten Dienste eine hinreichende Datenübertragungsrate zur

Verfügung steht. Daher determiniert auch für den Fall der Parallelnutzung der bidirektionale Echtzeitdienst Sprache die maximal tolerierbare Latenz.²¹² Erst wenn es aufgrund von Kapazitätsengpässen bei der zur Verfügung stehenden Datenübertragungsrate kommt, bilden sich Warteschlangen und die Zustellung der Datenpakete verzögert sich. Damit verschlechtert sich die Latenz im Netz bzw. am Internetzugang, die Anforderungen der Dienste an das Netz bleiben davon unberührt.

Für Dienste OHNE determinierte Mindestanforderungen ist es uns jedoch nicht möglich eine Aussage zu den Anforderungen an die benötigte Datenübertragungsrate zu machen. Zwar ist die parallele Nutzung von webbrowserbasierten Produkten weniger kritisch anzusehen, da die freien Zeitfenster zwischen den einzelnen Nutzungsvorgängen bei der Inanspruchnahme eines Dienstes (welche durch die vom Nutzer benötigte Reaktionszeit entstehen) einen relevanten Spielraum für ein statistisches Multiplexen geben. Das für eine Ermittlung der erforderlichen Datenübertragungsrate notwendige und statistisch hinreichend belastbare Material liegt uns jedoch nicht vor.²¹³

In Bezug auf die Dienste OHNE determinierte Mindestanforderungen sind methodische und technische Aspekte zu beachten, die die Verwendung der von uns abgeleiteten Datenübertragungsraten für den Internetzugang nach § 157 (3) für die Fragestellung einer zeitgleichen Nutzung von Diensten beschränken. Dies wird anhand der nachfolgenden Überlegungen erläutert:

Die in Abschnitt 3.4 abgeleiteten Mindestanforderungen basieren auf dem methodischen Ansatz, demzufolge ein definiertes Datenvolumen innerhalb einer vorgegebenen Zeitspanne zu übertragen ist.

Diese Methodik ist adäquat, solange lediglich die Nutzung EINES Dienstes betrachtet wird. Mit der so abgeleiteten Datenübertragungsrate kann dann sichergestellt werden, dass der betrachtete Dienst innerhalb der vorgegebenen Übertragungsdauer realisiert werden kann.

Sobald jedoch ein zweiter Dienst parallel genutzt wird, entsteht eine Rivalität in der Nutzung der zur Verfügung stehenden Übertragungskapazität. Sofern im

212 Der zeitliche Verpackungsaufwand für das VPN liegt im vernachlässigbaren Bereich von Millisekunden, weswegen wir auf die Berücksichtigung des VPN im Kontext der Latenz nicht eingegangen sind.

213 Ein die Mindestanforderungen reduzierender, wenn auch weniger starker Effekt, müsste bei der Parallelnutzung von Streamingdiensten berücksichtigt werden: Die von uns getroffene Annahme, dass Streamingdienste einen kontinuierlichen Datenstrom auslösen, ist vereinfacht. Tatsächlich hat der Datenstrom einen sägezahnartigen Verlauf, der sich aus der schubweisen Befüllung des Streaming-Puffers erklärt. Mit dieser Eigenschaft unterstützt die Technik des Buffering beim Videostreaming die Möglichkeit einer zeitgleichen Übertragung anderer Dienste. Dies ist insbesondere immer dann der Fall, wenn auch andere Dienste auf die verfügbare Kapazität zugreifen und der Streamingdienst auf die Verknappung der Übertragungskapazität dynamisch reagiert: Bei Engpässen wird die Datenübertragungsrate reduziert, bei hinreichender Kapazität erhöht, um den Streamingbuffer wieder zu füllen. Diese Zusammenhänge haben u.a. Einfluss, wenn man (Mindest-)Anforderungen unter Berücksichtigung von Parallelnutzungsszenarien durch mehrere Haushaltsmitglieder an einem Anschluss analysieren will. – Bei bidirektionalen Echtzeitdiensten sind diese Zusammenhänge nicht gegeben.

Router des Nutzers keine Priorisierung der Dienste MIT determinierten Mindestanforderungen implementiert ist, kann es dazu kommen, dass der Dienst OHNE determinierte Mindestanforderungen den Dienst MIT determinierten Mindestanforderungen verdrängt. Denn in Abwesenheit von Priorisierung²¹⁴ gibt es daher keine Instanz, die dafür Sorge trägt, dass der Dienst OHNE determinierte Mindestanforderungen auf der Anschlussleitung die gesamte, in unserer Berechnung unterstellte, tolerierte Übertragungsdauer nutzt und somit die vom Echtzeit- oder Streamingdienst benötigte Kapazität tatsächlich zur Verfügung steht.²¹⁵ Daher müssten unter Berücksichtigung von Parallelnutzung und in Abwesenheit von Einstellungen zur Priorisierung die Mindestanforderungen deutlich höher angesetzt werden, sofern eine zeitgleiche Nutzung zulässig sein soll.

In Bezug auf die rechtsverbindliche Umsetzung von Mindestanforderungen sind Aspekte zu bedenken, die eine Berücksichtigung von Parallelnutzung für nicht zweckmäßig erscheinen lassen:

Da mit zunehmender Zahl von Haushaltsmitgliedern und unterstellter zeitgleicher Dienstenutzung die Mindestanforderungen an die Datenübertragungsrate steigen, müsste die Vorgabe der Datenübertragungsrate an die Anzahl Haushaltsmitglieder gekoppelt werden. Eine derartige Festlegung durch den Ordnungsgeber ist jedoch nicht praktikabel und nach unserer Interpretation des TKG-2021 nicht intendiert. Im Sinne von Grundversorgung und Mindestanforderungen sowie aus methodischen Gründen erachten wir lediglich eine Ableitung von Mindestanforderungen in Bezug auf die Datenübertragungsrate im Down- und Upstream für die isolierte Nutzung der im Gesetz spezifizierten, einzelnen Dienste für praktikabel. Die Formulierung in § 157 (3) Satz 3 TKG-2021 stützt mit der nachfolgenden Formulierung und der damit ausgedrückten Fokussierung auf die vorgegebenen Dienste diese Interpretation.

„Der Internetzugangsdienst **muss stets mindestens die in Anhang V der Richtlinie (EU) 2018/1972 in der jeweils gültigen Fassung aufgeführten Dienste, Teleheimarbeit** einschließlich Verschlüsselungsverfahren im üblichen Umfang und eine für Verbraucher marktübliche Nutzung von **Online-Inhaltediensten ermöglichen**.“ [Hervorhebungen d.V.]

²¹⁴ Prinzipiell hat der Nutzer die Möglichkeit, entsprechende Konfigurationen an seinem Router auch für andere Dienste vorzunehmen, der beispielsweise ausgewählte Dienste oder Dienste ausgewählter Nutzer priorisiert. Damit kann sichergestellt werden, dass die von uns abgeleiteten Datenübertragungsraten für die einzelnen Dienste in Summe auch hinreichend sind, um die unterstellte Dienstqualität und damit Nutzerzufriedenheit zu erreichen.

Um derartige Einstellungen vornehmen zu können, sind jedoch technische Kenntnisse erforderlich, die beim durchschnittlichen Verbraucher nicht vorausgesetzt werden können.

²¹⁵ Eine Priorisierung wird in der Praxis lediglich vom Anschlussnetzbetreiber für den Sprachtelefondienst standardmäßig implementiert, der jedoch hinsichtlich seiner Anforderungen an die Datenübertragungsrate vernachlässigbar ist.

3.6 Zwischenergebnis der dienstebezogenen Ableitung von Anforderungen an die technischen Parameter des Internetzugangs

3.6.1 Technische Anforderungen an die Datenübertragungsrate im Down- und Upstream im Sinne von § 157 (3) TKG-2021

In diesem Abschnitt sollen nun die Ergebnisse zu einer Gesamtschau zusammengeführt werden, um auf Basis der durchgeführten Untersuchungen der Dienste bzw. sie repräsentierenden Produkte die Mindestanforderungen für den Internetzugang in Bezug auf die Datenübertragungsrate im Down- und im Upstream zu ermitteln.

Der Zielsetzung des TKG-2021 § 157 (3) folgend richten sich die technischen Mindestanforderungen danach aus, dass jeder der Dienste ermöglicht werden muss. Bei unserem Ausweis der Ergebnisse weisen wir zusätzlich aus, wie sich die Mindestanforderungen für die drei im Gesetz vorgegebenen Unterkategorien von Universaldiensten darstellen:

- Anhang V-Dienste,
- Teleheimarbeit inkl. VPN sowie
- Online-Inhaltedienste.

Darüber hinaus weisen wir in den beiden letzten Zeilen der Tabelle 3-34 die Anforderungen von Telefonie und Videostreaming in Standardqualität (als Dienste MIT determinierten Mindestanforderungen) separat aus.

In der Zeile „Gesamt (max)“ finden sich die höchsten Anforderungen, die sich aus der produktbezogenen²¹⁶ Analyse zum einen für den Downstream und zum anderen für den Upstream ergeben haben. Eine vollständige Übersicht für jeden Dienst ist in der sich daran anschließenden Die abgeleiteten technischen Mindestanforderungen, die anhand der am weitesten verbreiteten Produkte abgeleitet wurden, belaufen sich auf 7,7 Mbps im Download und 1,3 Mbps im Upload.

Während die Anhang V-Dienste der Treiber für den Downstream sind, wird der Upstream von den Anforderungen der Teleheimarbeit getrieben. Die berücksichtigten Online-Inhaltedienste (Audio- und Videostreaming) und dienstübergreifenden Anwendungen mit determinierten Anforderungen wie Audio- und Videoanrufe – in Standard Qualität – liegen unterhalb der Mindestanforderungen, die sich aus den Diensten des Anhangs V und der Teleheimarbeit inkl. VPN für die Datenübertragungsrate ergeben.

²¹⁶ Eine Abwägung der Methoden zur Ableitung der Mindestanforderungen wurde bereits in Abschnitt 3.4.1.1.2 durchgeführt. Dabei haben wir uns für eine Anwendung der für die einzelnen Produkte abgeleiteten Mindestanforderungen (berechnet auf Basis des arithmetischen Mittels) ausgesprochen, wobei das Produkt mit den höchsten Anforderung an die Datenübertragungsrate die Mindestanforderungen für den zu konkretisierenden Internetzugang bestimmt (Download und Upload).

Tabelle 3-35 dargestellt.

Tabelle 3-34: Zusammenfassung: Höhe und Treiber der Mindestanforderungen an die Datenübertragungsrate

	Down [Mbps]	Up [Mbps]
Anhang V-Dienste (max)	7,7	1,2
Teleheimarbeit (max)	2,2	1,3
Online-Inhaltendienste (SD)	3,0	-
Gesamt (max)	7,7	1,3

	Down [Mbps]	Up [Mbps]
Video (SD)	3.0	1.1
Audio (G.711)	0.1	0.1

Quelle WIK

Die abgeleiteten technischen Mindestanforderungen, die anhand der am weitesten verbreiteten Produkte abgeleitet wurden, belaufen sich auf 7,7 Mbps im Download und 1,3 Mbps im Upload.

Während die Anhang V-Dienste der Treiber für den Downstream sind, wird der Upstream von den Anforderungen der Teleheimarbeit getrieben. Die berücksichtigten Online-Inhaltendienste (Audio- und Videostreaming) und dienstübergreifenden Anwendungen mit determinierten Anforderungen wie Audio- und Videoanrufe – in Standard Qualität – liegen unterhalb der Mindestanforderungen, die sich aus den Diensten des Anhangs V und der Teleheimarbeit inkl. VPN für die Datenübertragungsrate ergeben.

Tabelle 3-35: Gesamtschau: Mindestanforderungen an die Datenübertragungsrate je Dienst

	Down [Mbps]	Up [Mbps]
(1) eMail [privat]	0,744	0,744
(2) Suchmaschinen, die das Suchen und Auffinden aller Arten von Informationen ermöglichen	3,548	Datenaustausch: 1,236 Mbps (webbasierte Anhang V-Dienste)
(3) grundlegende Online-Werkzeuge für die Aus- und Weiterbildung	2,541	
(4) Online-Zeitungen oder Online-Nachrichten	6,997	
(5) Online-Einkauf oder Online-Bestellung von Waren und Dienstleistungen	7,681	
(6) Arbeitssuche und Werkzeuge für die Arbeitssuche	3,643	
(7) Berufliche Vernetzung	4,413	
(8) Online-Banking	2,858	
(9) Nutzung elektronischer Behördendienste	2,685	
(10) soziale Medien und Sofortnachrichtenübermittlung	6,558	
(11) Anrufe und Videoanrufe (Standardqualität: SD)	0,700	0,700
eMail [beruflich]	0,788	0,788
Datenaustausch [beruflich]	1,310	1,310
Cloudbasierte Dienste	2,210	-
Remote-Desktop	1,908	-
Anrufe und Videoanrufe (SD) [beruflich]	0,742	0,742
(Gruppen-) Videokonferenzen (SD)	0,742	1,060
Video-Streaming	3,000	-
Musik-Streaming	0,320	-

Quelle: WIK

Um spezifische **Aussagen über das Funktionieren der Dienste im Sinne von § 157 (3) Satz 4 TKG-2021** zu treffen finden lediglich Dienste mit kontinuierlichen Datenströmen Berücksichtigung.²¹⁷ Anhand der verwendeten Codices lassen sich die erforderlichen Datenübertragungsraten eindeutig festmachen:

Der bisherige Treiber der Mindestanforderungen an die Datenübertragungsrate im Upload – der Datenaustausch mit 1,3 Mbps – muss im Kontext des rein technischen Funktionierens jetzt nicht mehr berücksichtigt werden, da dieser aus den Diensten OHNE determinierte Mindestanforderungen abgeleitet worden war. Stattdessen sind nun die Gruppenvideokonferenzen maßgeblich, die mit ihrem Einsatz in der Rubrik der Teleheimarbeit auch einer VPN-Verschlüsselung bedürfen und eine Datenübertragungsrate im Upload in Höhe von 1,1 Mbps aufweisen. Zwar weisen die Videokonferenzanwendungen eine gewisse Anpassungsfähigkeit an die verfügbaren Übertragungskapazitäten

²¹⁷ Siehe hierzu die Ausführungen im methodischen Teil (Abschnitt 3.2.2), wo die Zusammenhänge zwischen QoE und dem technischen Funktionieren der Dienste analysiert wurden.

ten im Up- und Download auf, so dass die Anwendung auch bei geringeren Datenübertragungsraten noch technisch funktioniert. Für die Einhaltung der SD-Qualität sollte diese jedoch nicht dauerhaft unterschritten werden, da ansonsten die angestrebte Qualität des betrachteten Produktes nicht mehr erreicht werden kann.

3.6.2 Technische Anforderungen an die tolerierte Latenz im Sinne von § 157 (3) TKG-2021

Für die Dienste mit kontinuierlichen Datenströmen haben wir die Anforderungen an die tolerierte Latenz untersucht. Ein Vergleich der tolerierten mittleren Laufzeitverzögerungen über die verschiedenen Dienste und Produkte hat gezeigt, dass die bidirektionalen Echtzeitanwendungen die strengsten Anforderungen stellen. Dabei ist die Telefonie mit der Produktqualität des PSTN/ISDN der maßgeblich Treiber für den hier abzuleitenden technischen Parameter, die sich auch in den Anforderungen von Videokonferenz- und Remote Desktop Produkten wiederfinden. Streamingdienste, aber auch Livestreamingdienste, welche mit linearen Rundfunkdiensten gleichgesetzt werden können, reichen nicht an die strengen Anforderungen des klassischen Sprachtelefondienstes heran.

Tabelle 3-36: Maximal Latenz für den Internetzugang nach § 157 TKG-2021

<p style="text-align: center;">Latenz (maximal)</p> <div style="text-align: right; margin-right: 100px;"> <p>< 150 ms</p> </div>

Quelle WIK

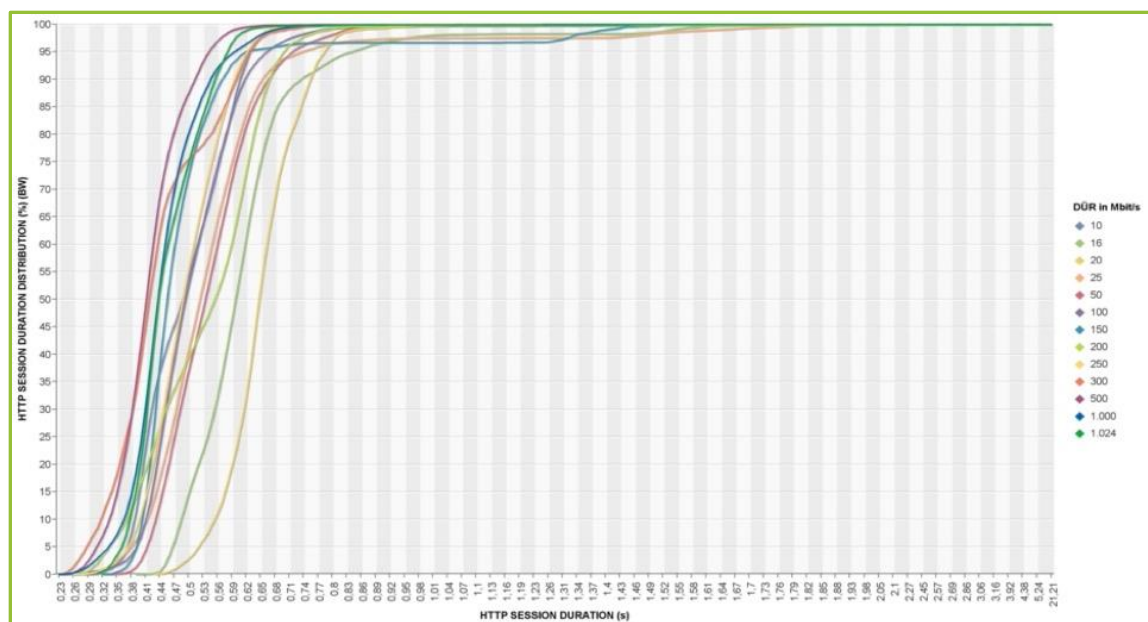
In Bezug auf § 157 (3) Satz 4 TKG-2021 ist festzustellen, dass nur unter dem Zugeständnis von Qualitätsverschlechterungen bei den Produkten mit „determinierten“ Mindestanforderungen trotz Verletzung der abgeleiteten Grenzwerte noch von einem Funktionieren der Produkte gesprochen werden kann: Mit jeder Erhöhung der Latenz sinkt die Qualität des Dienstes und damit die Nutzerzufriedenheit.

3.7 Ergebnisse der unterstützenden Messungen einer Messplattform

3.7.1 Auswertung Messergebnisse Webhosting

Nachfolgend werden die Messergebnisse der kyago Benchmarking Plattform für den vollständigen Download der standardisierten Testseite in Sekunden dargestellt. Die Messdaten sind hierbei je verfügbarer Anschluss-Datenübertragungsrate (in Mbps) aggregiert.

Abbildung 3-14: Verteilungsgrafik der HTTP Session Duration über die Datenübertragungsraten



Quelle zafaco

Tabelle 3-37: Tabellarische Übersicht der HTTP Session Duration über die Datenübertragungsraten und Anbieter

DÜR in Mbit/s	10	16	20	25	50	100	150	200	250	300	500	1000	1024
	0,61	0,74	0,76	0,66	0,67	0,62	0,58	0,67	0,60	0,61	0,52	0,55	0,56
DÜR in Mbit/s	10	16	20	25	50	100	150	200	250	300	500	1000	1024
1&1 IONOS	0,59	0,61	0,67	0,59	0,63	0,59	0,52	0,68	0,58	0,45	0,48	0,50	0,47
Alfahosting	0,64	0,66	0,72	0,65	0,69	0,65	0,60	0,60	0,64	0,52	0,56	0,56	0,55
DomainFactory	0,60	0,77	0,81	0,70	0,67	0,61	0,49	0,68	0,57	0,45	0,48	0,50	0,47
Hetzner	0,60	0,82	0,65	0,65	0,65	0,59	0,53	0,67	0,57	0,41	0,46	0,52	0,47
Strato	0,61	0,93	0,72	1,46	0,69	0,64	1,34	0,70	0,61	0,66	0,54	0,63	0,60
DÜR in Mbit/s	10	16	20	25	50	100	150	200	250	300	500	1000	1024
1&1		0,77			0,74	0,70			0,60		0,49	0,57	
EWE				1,50		0,62	0,58					0,56	
M-net				0,64		0,62				0,61		0,64	
NetCologne				0,52		0,56			0,50			0,55	
Tele Columbus			0,76					0,67					0,56
Telefonica	0,61			0,62	0,64	0,65			0,63			0,53	
Telekom		0,70			0,64	0,56			0,56		0,54	0,47	

Quelle zafaco

Aus diesen Ergebnissen ist ersichtlich, dass keine eindeutigen Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Datenübertragungsraten von 10 Mbps bis zu 1024 Mbps abgeleitet werden können.

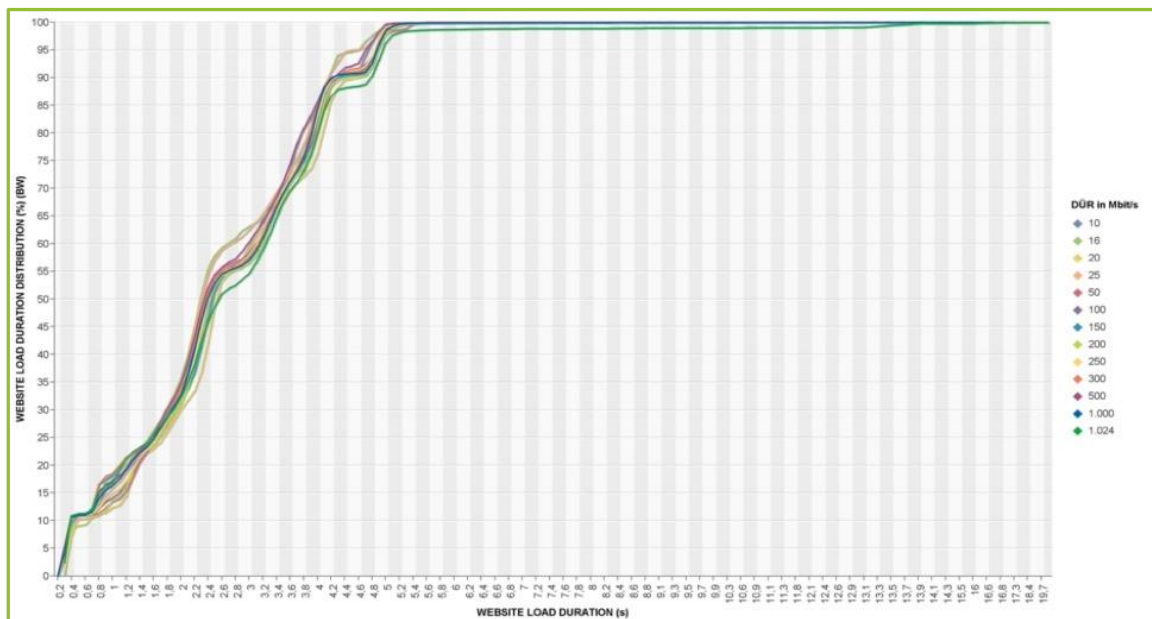
Bei den für diese Auswertung genutzten Anschlüssen erzielen Anschlüsse mit geringer Datenübertragungsrate eine gleich gute Performance wie Anschlüsse mit einer höheren Datenübertragungsrate.

Bei der Betrachtung nach Anbietern sind nur geringe Abweichungen für den vollständigen Download der standardisierten Testseite in Sekunden bei steigender Datenübertragungsrate der Anschlussleitung zu erkennen.

3.7.2 Auswertung Messergebnisse Websites

Nachfolgend werden die Messergebnisse für den Download und die Verarbeitung aller Elemente in Sekunden dargestellt. Die Messdaten sind hierbei je verfügbarer Anschluss-Datenübertragungsrate (in Mbps) aggregiert.

Abbildung 3-15: Verteilungsgrafik der Website Load Duration über die Datenübertragungsraten



Quelle zafaco

Tabelle 3-38: Tabellarische Übersicht der Website Load Duration über die Datenübertragungsraten und Anbieter

DÜR in Mbit/s	10	16	20	25	50	100	150	200	250	300	500	1000	1024
	4,36	4,23	4,63	4,21	4,35	4,31	4,32	4,47	4,31	4,26	4,30	4,26	4,84
DÜR in Mbit/s	10	16	20	25	50	100	150	200	250	300	500	1000	1024
bing.com	0,40	0,47	0,53	0,52	0,42	0,41	0,48	0,70	0,42	0,39	0,42	0,41	0,43
facebook.com	2,62	2,42	2,63	2,52	2,48	2,56	2,65	2,53	2,54	2,39	2,46	2,55	2,72
fussball.de	4,17	4,21	4,31	4,16	4,27	4,22	4,18	4,26	4,21	4,18	4,18	4,18	4,27
google.de	1,45	1,36	1,46	1,39	1,51	1,47	1,24	1,44	1,46	1,24	1,37	1,37	1,26
netflix.com	3,47	3,66	3,47	3,42	3,67	3,58	3,52	3,55	3,57	3,51	3,54	3,60	3,57
paypal.com	2,14	2,12	2,26	2,15	2,19	2,17	2,09	2,20	2,17	2,08	2,09	2,12	2,10
twitter.com	2,56	2,51	2,70	2,49	2,56	2,60	2,57	2,64	2,61	2,60	2,54	2,60	3,17
wikipedia.org	4,96	4,95	5,12	5,01	5,32	5,04	5,09	5,13	5,02	5,08	4,98	5,07	5,11
zalando.de	4,13	4,20	4,35	4,07	4,17	4,15	4,04	4,14	4,14	4,01	4,02	4,08	4,17
DÜR in Mbit/s	10	16	20	25	50	100	150	200	250	300	500	1000	1024
1&1		4,24			4,47	4,35			4,25		4,24	4,26	
EWE				4,33		4,31	4,32					4,26	
Netnet				4,29		4,22				4,26		4,28	
NetCologne				4,34		4,34			4,18			4,24	
Tale Columbus			4,63					4,47					4,84
Telefonica	4,36			4,19	4,41	4,32			4,33			4,19	
Telkom		4,22			4,29	4,28			4,32		4,31	4,29	

Quelle zafaco

Aus diesen Ergebnissen ist ersichtlich, dass keine eindeutigen Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Datenübertragungsraten von zwischen 10 Mbps bis zu 1024 Mbps abgeleitet werden können.

Bei den für diese Auswertung genutzten Anschlüssen erzielen Anschlüsse mit geringer Datenübertragungsrate eine gleich gute Performance wie Anschlüsse mit einer höheren Datenübertragungsrate.

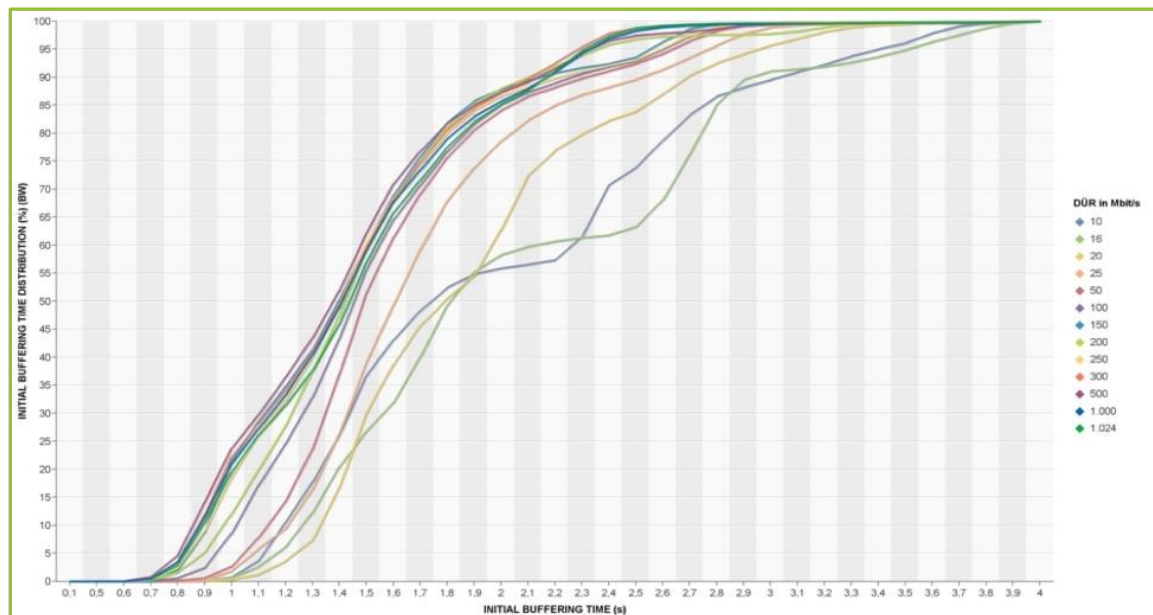
Bei der Betrachtung nach Webseiten sind deutliche Abweichungen für den Download und die Verarbeitung aller Elemente in Sekunden ersichtlich. Diese sind unabhängig von den unterschiedlichen Datenübertragungsraten der einzelnen Anschlüsse. So zeigt beispielsweise die Suchmaschine bing.com über alle Anschlussgeschwindigkeiten hinweg eine sehr geringe Load Duration von 0,39 bis 0,53 Sekunden. Hingegen benötigt die Webseite facebook.com in dem vorliegenden Datensatz 2,39 bis 2,72 Sekunden zum Laden der Seite. Dieses resultiert primär aus den sehr unterschiedlichen Seitenstrukturen der gemessenen Webseiten.

3.7.3 Auswertung Messergebnisse WebTV

Nachfolgend werden die Messergebnisse für die Zeit in Sekunden dargestellt, die zwischen dem initialen Buffering Signal des Videoplayers bis zum Starten der Videowiedergabe (First Playout) vergeht.

Die Messdaten sind hierbei je verfügbarer Anschluss-Datenübertragungsrate (in Mbps) aggregiert.

Abbildung 3-16: Tabellarische Übersicht der Initial Buffering Time über die Datenübertragungsraten und Anbieter



Quelle zafaco

Tabelle 3-39: Tabellarische Übersicht der Initial Buffering Time über die Datenübertragungsraten und Anbieter

DÜR in Mbit/s	10	16	20	25	50	100	150	200	250	300	500	1000	1024
	3,08	2,97	2,74	2,58	2,36	2,32	2,20	2,15	2,26	2,16	2,19	2,22	2,22
DÜR in Mbit/s	10	16	20	25	50	100	150	200	250	300	500	1000	1024
Amazon	2,92	2,93	2,47	2,26	1,80	1,60	1,33	1,50	1,41	1,37	1,37	1,38	1,39
ARD	1,78	2,13	1,85	1,93	1,91	1,99	1,92	1,83	1,92	2,03	1,99	2,06	2,06
Joyn	1,78	1,89	2,10	1,84	1,87	1,89	1,80	1,92	1,80	1,76	1,74	1,75	1,78
Netflix	2,04	1,94	2,08	2,00	2,13	2,19	2,13	2,09	2,18	2,14	2,12	2,16	2,18
Rakuten	1,57	1,47	1,55	1,57	1,58	1,58	1,61	1,57	1,59	1,59	1,60	1,59	1,59
SKY	3,71	3,88	3,27	2,90	2,50	2,34	2,12	2,30	2,22	2,15	2,09	2,18	2,17
YouTube	2,82	2,85	2,77	2,95	2,91	2,87	2,76	3,25	2,85	2,55	2,86	2,55	2,53
zattoo	1,38	2,05	1,82	1,62	1,35	1,25	1,15	1,16	1,13	1,05	1,03	1,05	1,04
ZDF	2,44	2,91	2,15	2,09	1,53	1,33	1,08	1,36	1,15	1,09	1,08	1,18	1,11
DÜR in Mbit/s	10	16	20	25	50	100	150	200	250	300	500	1000	1024
1&1		3,01			2,45	2,36			2,22		2,19	2,25	
EWE				2,81		2,40	2,20					2,22	
M-net				2,58		2,21				2,16		2,17	
NetCologne				2,54		2,42			2,21			2,20	
Tele Columbus			2,74					2,15					2,22
Telefonica	3,08			2,12	2,26	2,20			2,24			2,22	
Telekom		2,89			2,41	2,33			2,32		2,18	2,23	

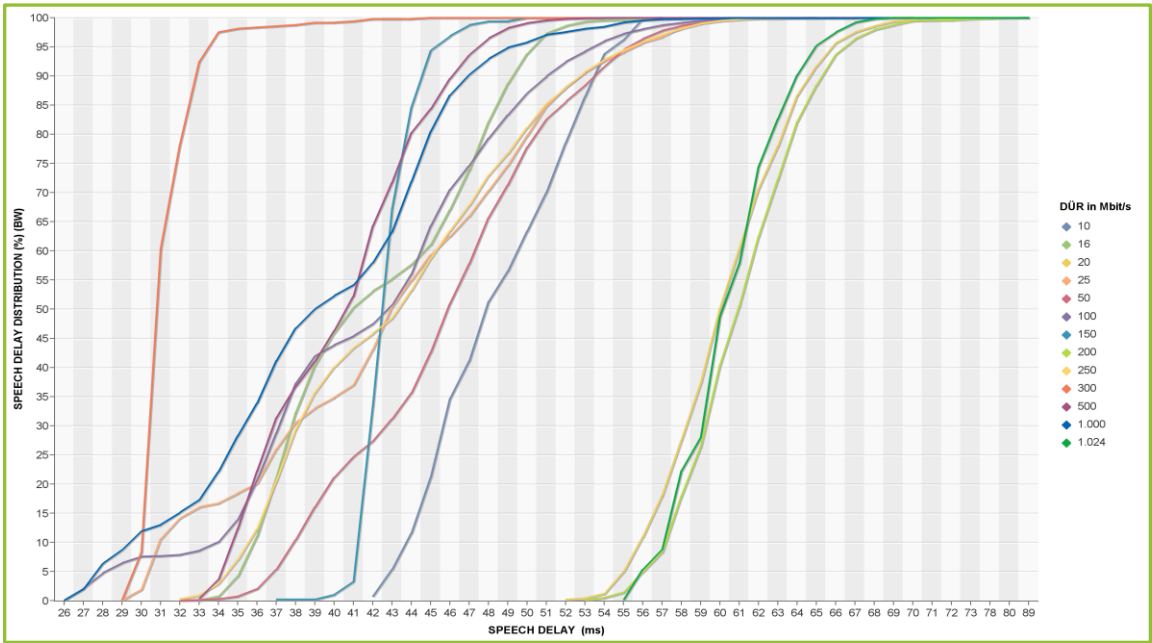
Quelle zafaco

Bei diesen Ergebnissen sind Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Datenübertragungsraten zu erkennen. So starten Videos über die unterschiedlichen Portale an Anschlüssen < 50 Mbps in Abhängigkeit ihrer Datenübertragungsrate später mit der Wiedergabe des Videos. Diese Anschlüsse benötigen dementsprechend länger, um den Video-Player Buffer mit ausreichendem Videomaterial zu füllen. Bei den höheren Datenübertragungsraten zeigen sich kaum noch Unterschiede hinsichtlich der Initial Buffering Time.

3.7.4 Auswertung Messergebnisse Ende-zu-Ende Sprachqualitätsmessungen

Nachfolgend werden die Messergebnisse der Sprachlaufzeiten zwischen zwei Anschlüssen dargestellt. Die Messungen werden innerhalb eines Telekommunikationsanbieters (OnNet-Call) durchgeführt.

Abbildung 3-17: Verteilungsgrafik der Sprachlaufzeiten bei Verbindungen im eigenen All-IP-Netz eines Anbieters (OnNet) über die Datenübertragungsraten



Quelle zafaco

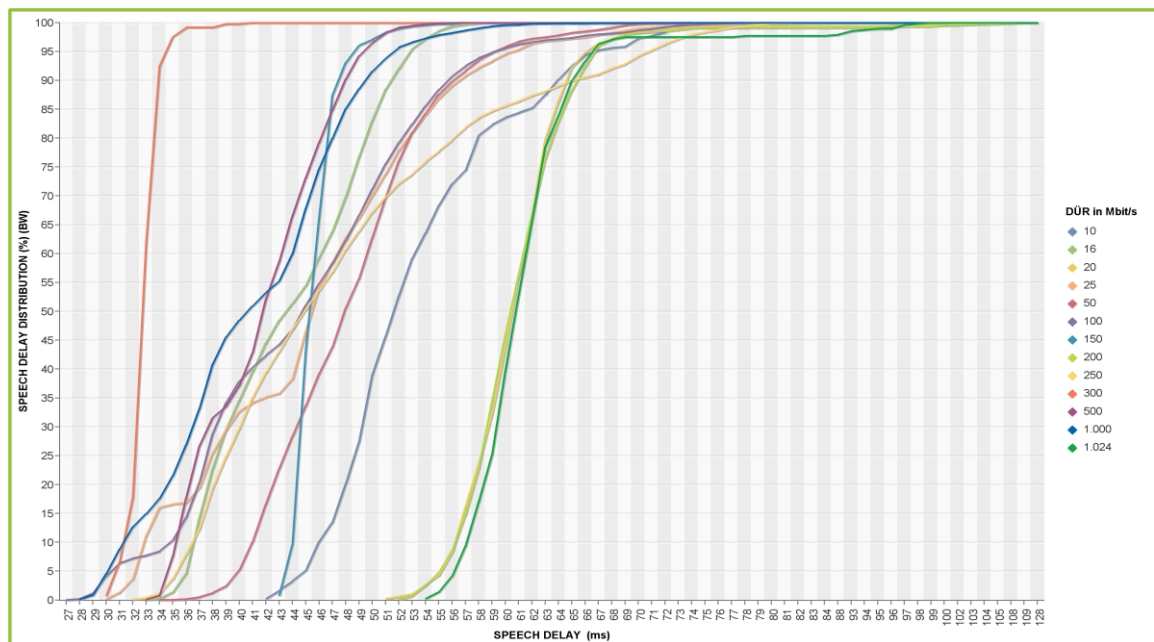
Tabelle 3-40: Tabellarische Übersicht der Sprachlaufzeiten bei Verbindungen im eigenen All-IP-Netz eines Anbieters (OnNet) über die Datenübertragungsraten

DÜR in Mbit/s	10	16	20	25	50	100	150	200	250	300	500	1000	1024
Speech Delay in ms	54	50	65	53	54	52	45	66	53	33	47	47	64
DÜR in Mbit/s	10	16	20	25	50	100	150	200	250	300	500	1000	1024
1&1		51			50	49			49		48		48
EWE				45		46	45						46
M-net				33		30				33			30
NetCologne				41		41			40			41	
Tele Columbus			65					66					64
Telefonica	54			56	56	56			57			55	
Telekom		40			41	39			40		38	38	

Quelle zafaco

Nachfolgend werden die Messergebnisse der Sprachlaufzeiten zwischen zwei Anschlüssen dargestellt. Die Messungen werden innerhalb eines Telekommunikationsanbieters (OnNet-Call) durchgeführt. Vor dem Verbindungsaufbau und während der gesamten Call-Dauer wird zusätzlich eine maximale Datenlast an den Anschlüssen in Up- und Downloadrichtung generiert.

Abbildung 3-18: Verteilungsgrafik der Sprachlaufzeiten bei Verbindungen im eigenen All-IP-Netz eines Anbieters (OnNet) über die Datenübertragungsraten



Quelle zafaco

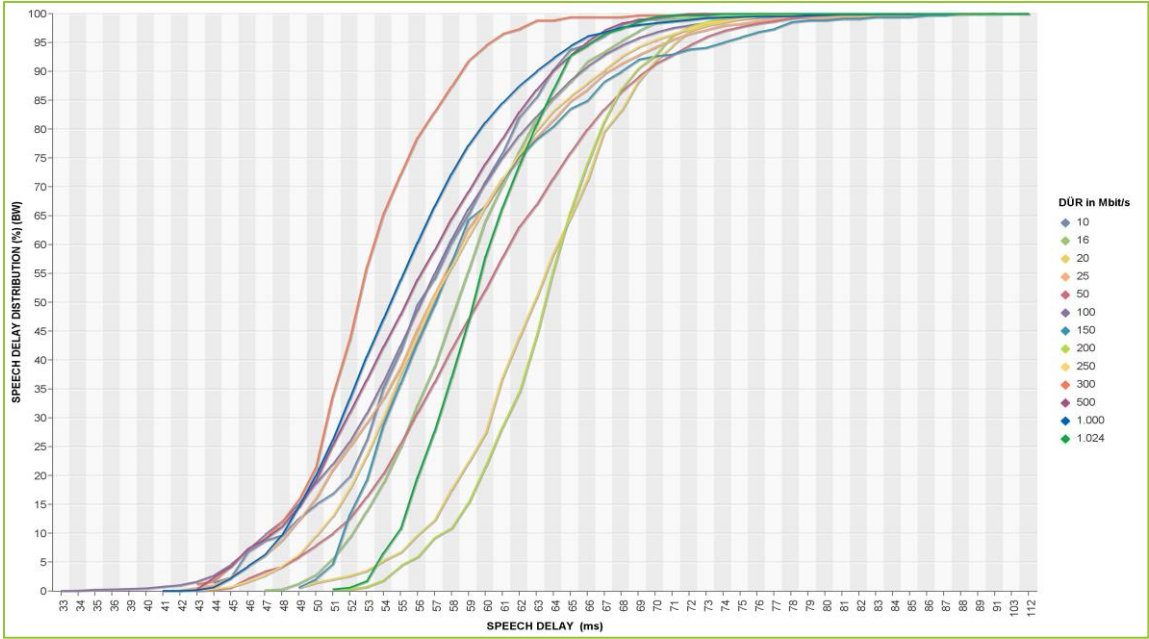
Tabelle 3-41: Tabellarische Übersicht der Sprachlaufzeiten bei Verbindungen im eigenen All-IP-Netz eines Anbieters mit paralleler Datenlast (OnNet with Dataload) über die Datenübertragungsraten

DÜR in Mbit/s	10	16	20	25	50	100	150	200	250	300	500	1000	1024
Speech Delay in ms	64	52	65	57	57	56	48	66	66	34	48	50	65
DÜR in Mbit/s	10	16	20	25	50	100	150	200	250	300	500	1000	1024
1&1		53			52	54			51		49	50	
EWE				48		47	48					47	
M-net				34		32				34		33	
NetCologne				42		42			41			41	
Tele Columbus			65					66					65
Telefonica	64			61	60	66			73			58	
Telekom		43			44	42			43		41	39	

Quelle zafaco

Nachfolgend werden die Messergebnisse der Sprachlaufzeiten zwischen zwei Anschlüssen dargestellt. Die Messungen werden zwischen zwei Telekommunikationsanbietern (OffNet-Call bzw. Crossover) durchgeführt.

Abbildung 3-19: Verteilungsgrafik der Sprachlaufzeiten bei abgehenden und ankommenden Verbindungen aus anderen All-IP-Netzen (OffNet bzw. Crossover) über die Datenübertragungsraten



Quelle zafaco

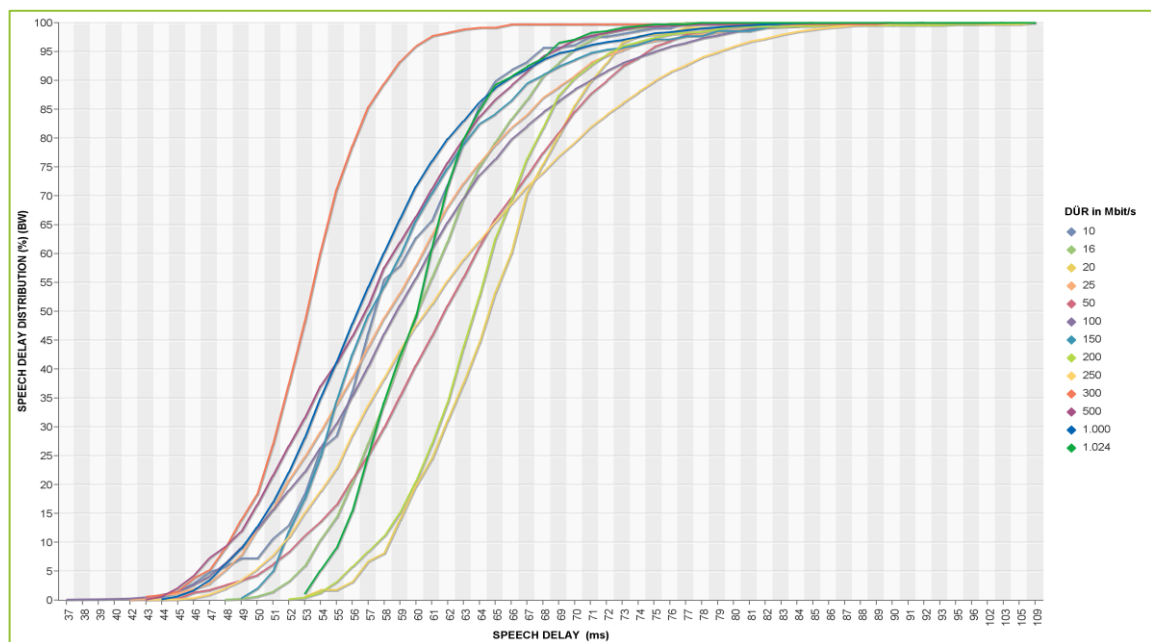
Tabelle 3-42: Tabellarische Übersicht der Sprachlaufzeiten bei abgehenden und ankommenden Verbindungen aus anderen All-IP-Netzen (OffNet bzw. Crossover) über die Datenübertragungsraten

DÜR in Mbit/s	10	16	20	25	50	100	150	200	250	300	500	1000	1024
Speech Delay	64	66	70	68	70	66	68	69	67	59	64	63	65
DÜR in Mbit/s	10	16	20	25	50	100	150	200	250	300	500	1000	1024
1&1		68			68	66			68		64	62	
EWE				71		70	68					69	
M-net				58		58				59		58	
NetCologne				62		63			62			64	
Tele Columbus			70					69					65
Telefonica	64			69	72	70			70			65	
Telekom		65			66	63			64		65	62	

Quelle zafaco

Nachfolgend werden die Messergebnisse der Sprachlaufzeiten zwischen zwei Anschlüssen dargestellt. Die Messungen werden zwischen zwei Telekommunikationsanbietern (OffNet-Call bzw. Crossover) durchgeführt. Vor dem Verbindungsaufbau und während der gesamten Call-Dauer wird zusätzlich eine maximale Datenlast an den Anschlüssen in Up- und Downloadrichtung generiert.

Abbildung 3-20: Verteilungsgrafik der Sprachlaufzeiten bei abgehenden und ankommenden Verbindungen aus anderen All-IP-Netzen mit paralleler Datenlast (OffNet bzw. Crossover with Dataload) über die Datenübertragungsraten



Quelle zafaco

Tabelle 3-43: Tabellarische Übersicht der Sprachlaufzeiten bei abgehenden und ankommenden Verbindungen aus anderen All-IP-Netzen mit paralleler Datenlast (OffNet bzw. Crossover with Dataload) über die Datenübertragungsraten

DÜR in Mbit/s	10	16	20	25	50	100	150	200	250	300	500	1000	1024
Speech Delay in ms	65	68	72	70	73	71	68	70	76	59	67	66	66
DÜR in Mbit/s	10	16	20	25	50	100	150	200	250	300	500	1000	1024
1&1		69			70	71			74		66	65	
EWE				73		80	68					69	
M-net				60		60				59		61	
NetCologne				65		65			63			64	
Tele Columbus			72					70					66
Telefonica	65			71	75	74			80			67	
Telekom		68			70	67			69		67	70	

Quelle zafaco

Aus diesen Ergebnissen ist ersichtlich, dass sich unterschiedliche Laufzeiten zwischen den vier Szenarien (OnNet und Crossover, jeweils mit/ohne Datenlast) ergeben. Auch

sind die Laufzeiten zwischen den verwendeten Anschlussgeschwindigkeiten unterschiedlich. Diese Unterschiede sind aber primär auf die individuellen Laufzeiten der Anschlüsse und nicht auf deren Datenübertragungsrate zurückzuführen.

Anhand der Daten ist auch ersichtlich, dass mit einer Ende-zu-Ende-Laufzeit von zwei ISDN Geräten über eine VoIP-Verbindung, auch mit paralleler Datenlast und zwischen zwei Netzen, sich Laufzeiten von typischerweise unter 80 ms einstellen. Diese Ergebnisse liegen somit noch deutlich unter den Empfehlungen der ETSI von maximal 150 ms.

4 Zusammenfassung der abgeleiteten Erkenntnisse in Bezug auf die technischen Anforderungen an den Internetzugang

Mit dem TKG-2021 wurden in Deutschland erstmalig die rechtlichen Rahmenbedingungen für die Sicherstellung der Verfügbarkeit eines Mindestangebots für einen Internetzugangsdienst an einem festen Standort festgelegt. Er soll eine angemessene wirtschaftliche und soziale Teilhabe ermöglichen.

Die mit dem vorliegenden Bericht abgeleiteten Erkenntnisse sollen der BNetzA bzw. dem BMVI als Basis dienen, um die technischen Merkmale für einen auf Grundversorgung ausgelegten Internetzugang festzulegen. Dazu sind in einem ersten Schritt die repräsentativen Produkte und ihre relevantesten Nutzungsformen identifiziert worden; in einem zweiten Schritt wurden die zugehörigen Mindestanforderungen für diese Produkte quantifiziert. Diese abgeleiteten technischen Parameter dienen als Grundlage, die für den Internetzugang nach § 157 (3) TKG-2021 verbindlichen technischen Anforderungen festzulegen. Die hier erstellte und verwendete methodische Vorgehensweise ist so gewählt worden, dass sie sich für eine regelmäßige Aktualisierung der Ergebnisse eignet.

Gegenstand des Internetzugangs nach § 157 (3) TKG-2021

Die mit dem TKG-2021 vorgegebenen Dienstekategorien gehen über die Vorgaben des Europäischen Kodes für Elektronische Kommunikation (EKEK) (Anhang V) hinaus und umfassen zusätzlich Teleheimarbeit einschließlich Verschlüsselungsverfahren im üblichen Umfang und eine für Verbraucher marktübliche Nutzung von Online-Inhaltediensten.

Identifikation von Top-Produkten für die Dienstekategorien des Internetzugangs nach § 157 (3) TKG-2021

Gemäß § 157 (3) TKG-2021 muss mit den vorzugebenden technischen Parametern für die Datenübertragungsrate im Down- und Upload sowie der Latenz sichergestellt werden, dass der Internetzugang die vorgegebenen Dienste „stets mindestens [...] ermöglicht[en]“. Aus dieser Vorgabe ergibt sich für die Untersuchung, dass für jeden einzelnen Dienst die technischen Anforderungen zu untersuchen sind, wobei die strengsten Anforderungen für die Festlegung der technischen Leistungsmerkmale des Internetzugangs maßgeblich sein werden.

Die Dienste werden anhand von verbreiteten, typischen Top-Produkten konkretisiert. Dies geschieht auf Basis statistischer Quellen sowie branchenspezifischer Studien und Informationen. Rankings der Top-Produkte in den Dienstekategorien werden u.a. aus Web-Analytics wie Alexa und Simelarweb abgeleitet.

Aus der Analyse der Dienste konnten die Erkenntnis abgeleitet werden, dass

- Anhang V-Dienste nahezu vollständig als webbrowserbasierte Dienste realisiert werden (Web-Integration), was auch für Teleheimarbeit bei der Nutzung cloud-basierter Anwendungen von Relevanz ist.
- Produkte und Webseiten sich hinsichtlich ihrer Funktionsmerkmale und den damit einhergehenden Kommunikationsobjekten (Video, Audio, Bilder, Text / Daten) kaum noch unterscheiden lassen.

Anhand der Funktionsmerkmale erfolgt eine Selektion derjenigen Produkte, von denen relevante technische Anforderungen für den Internetzugang nach § 157 (3) erwartet werden. Diese Produkte werden in der weiteren Analyse stellvertretend herangezogen, um die technischen Anforderungen zu konkretisieren, die der Internetzugang nach § 157 (3) TKG-2021 ermöglichen soll.

QoS, QoE und konzeptionelle Unterscheidung in Dienste MIT und Dienste OHNE determinierte Mindestanforderungen

Quality of Service (QoS) Parameter beschreiben konkrete Leistungsmerkmale von Netzen. Dienste können ihrerseits konkrete, objektive Anforderungen an diese Parameter haben, damit die gewünschte Dienstqualität erreicht werden kann (QoS-Anforderungen). Liegen subjektive Erwartungen an die Dienstqualität vor, so spricht man von Quality of Experience (QoE). Dabei kann die Dienstqualität im Sinne der QoE auch durch netztechnische QoS-Parameter beeinflusst werden.

Tabelle 4-1: Dienstekategorien und Erhebungsmethoden

	determinierten Mindestanforderungen			
Dienste- kategorie	MIT		OHNE	
EKEK Anhang V Richtlinie (EU) 2018/1972	Produktinfos / Standards / Formate	Anrufe (Standardqualität: SD) Videoanrufe (Standardqualität: SD)	Suchmaschinen Online-Werkzeuge für die Aus- und Weiterbildung Online-Zeitungen oder Online-Nachrichten Online-Einkauf oder Online-Bestellung Arbeitssuche und Werkzeuge für die Arbeitssuche berufliche Vernetzung Online-Banking Nutzung elektronischer Behördendienste soziale Medien und Sofortnachrichtenübermittlung E-Mail	webbrowserbasierte Messungen
Teleheimarbeit inkl. VPN		Anrufe beruflich (Standardqualität: SD) Videoanrufe (Standardqualität: SD) Gruppenvideokonferenzen (Standardqualität: SD) Remote Desktop	E-Mail Datenaustausch Cloudbasierte Dienste	erhobene Daten- volumina web. Messun- gen
Online- Inhaltedienste		Videostreaming (Standardqualität SD) Audiostreaming (Standardqualität SD)		

Quelle WIK

Die in dieser Studie angewendeten methodischen Verfahren richten sich nach den spezifischen Anforderungen der nach § 157 (3) TKG-2021 zu berücksichtigenden Dienste. Sie werden für die Untersuchung in Dienste MIT determinierten Mindestanforderungen (sog. Dienste mit kontinuierlichen Datenströmen) und Dienste OHNE determinierte Mindestanforderungen (sog. Dienste mit diskreten Datenvolumina) unterschieden. Die verwendeten Erhebungsmethoden sind in Tabelle 4-1 in den Vertikalen Spalten links und rechts neben den Diensten aufgeführt.

(A) Anforderungen an die Datenübertragungsrate im Down- und Upload

Dienste MIT determinierten Mindestanforderungen (Dienste mit kontinuierlichen Datenströmen)

Die Kategorie der Dienste mit kontinuierlichen Datenströmen umfasst die Echtzeit- und Streamingdienste (Sprache und Video in verschiedenen Anwendungsformen), die als Dienste MIT determinierten Mindestanforderungen charakterisiert werden.

Die Beurteilung der Qualität eines Produktes mit kontinuierlichem Datenstrom lässt sich objektiv an der Qualität der übermittelten Audio- oder Videosignale ableiten. Am Beispiel des Videostreamings kommt diese Qualität unter anderem mit der dem Video zu Grunde liegenden Auflösung und Bildwiederholfrequenz zum Ausdruck. Der kontinuierliche Datenstrom für die Audio- oder Videosignale bedarf daher einer hinreichenden Datenübertragungsrate, damit die mit dem jeweiligen Produkt angestrebte Qualität erreicht bzw. eingehalten werden kann. Daher können für Produkte mit kontinuierlichen Datenströmen die technischen Anforderungen an die erforderliche Datenübertragungsrate eindeutig bestimmt werden.

Dienste OHNE determinierte Mindestanforderungen (Dienste mit diskreten Datenströmen)

Bei Diensten OHNE determinierte Mindestanforderungen wie beispielsweise webbrowsersbasierten Diensten, E-Mail oder Datenaustausch gibt es keine zwingenden Anforderungen an die Datenübertragungsrate. Zwar implementieren Anbieter sog. Timeout-Routinen, diese sind jedoch für die Bestimmung von Mindestanforderungen unbedeutend. Bei dieser Dienstekategorie spielt vielmehr (a) das zu übertragende Datenvolumen (bestimmt durch den Inhalt des Produkts) und (b) die vom Nutzer tolerierte Übertragungsdauer als zentraler QoE-Parameter eine wesentliche Rolle.

Die Beurteilung der Qualität eines Produktes lässt sich für diese Dienste methodisch unterteilen in (a) den Nutzen aus der Qualität des Inhalt des jeweiligen Produkts (bspw. die Qualität übersendeten Fotos in einer hochauflösenden Qualität) und (b) den Komfort, mit welcher Geschwindigkeit die jeweiligen Inhalte übertragen werden (tolerierter Übertragungsdauer). Dabei kann i.d.R. mit einer Erhöhung der Datenübertragungsrate (QoS-Parameter) die benötigte Übertragungsdauer (QoE-Parameter) reduziert werden.

Präzisierung von QoE anhand der tolerierten Übertragungsdauer

Um für die Dienste OHNE determinierte Mindestanforderungen die gesuchten netztechnischen QoS-Parameter bestimmen zu können, wird auf etablierte QoE-Konzepte von Standardisierungsorganisationen und Marktakteuren zurückgegriffen, die die Objektivierung der Nutzereinschätzung (QoE) zum Gegenstand haben. Auf dieser Basis werden Anhaltspunkte für die Anwendung von tolerierten Übertragungsdauern (QoE) im Sinne einer Grundversorgung abgeleitet, die eine Zuordnung von Produkten zu den folgenden Kategorien erlauben:

- Responsive: 4 Sekunden
- Timely: 10 Sekunden
- Non-critical: 60 Sekunden und mehr

Erhebung von Dateigrößen und Datenvolumina

Für die Dienste OHNE determinierte Mindestanforderungen erfordert die Ableitung von produktspezifischen Anforderungen an die Datenübertragungsrate die Bestimmung des zugehörigen Datenvolumens. Die dafür angewendeten Erhebungsmethoden unterscheiden sich danach, ob es sich (i) um eine Datenübertragung, wie beispielsweise in Form von hoch- oder heruntergeladenen Dateien (Datenaustausch) oder E-Mail bzw. (ii) um einen interaktiven, webbrowserbasierten Dienst handelt.

Für die erste Kategorie (i) werden die zugehörigen Daten mittels Desk Research anhand von Studien bzw. im Fall von E-Mail durch von uns durchgeführte Befragungen bedeutender Anbieter ermittelt. Die für diese Dienste ermittelten durchschnittlichen Datenvolumina finden sowohl für die Ableitung der Datenübertragungsrate im Down- als auch im Upload Berücksichtigung.

Die Datenvolumina für webbrowserbasierte Dienste (Kategorie (ii)) werden von uns mit Network Developer Tools gemessen. Dazu werden je Produkt mehrere Nutzungsvorgänge (Klicks auf einer Webseite) ausgewählt und erfasst. Gegenstand der durchgeführten Messungen ist das initial geladene Datenvolumen (Download).

Upload und Download von Dateien im Kontext webbrowserbasierter Dienste

Die webbrowserbasierten Dienste umfassen oftmals auch die Möglichkeit, Dateien sowohl herunter- als auch hochzuladen. Diese Leistungsmerkmale wurden bei den webbrowserbasierten Anhang V-Dienste jedoch nicht im Einzelnen ermittelt und ausgewertet. Grund dafür ist eine fehlende belastbare Datenbasis für die Gesamtheit der zu betrachtenden webbrowserbasierten Produkte. Durch die Berücksichtigung des Dienstes „Datenaustausch“ und der hierbei berücksichtigten durchschnittlichen Dateigröße wird bereits das Spektrum an hochladbaren Dateien, die auch im Kontext der webbrowserbasierten Dienste von Relevanz sind, abgedeckt. Der Umstand, dass die Größen von hoch- oder heruntergeladenen Dateien sehr einzelfallabhängig sind, be-

gründet letztlich auch die Anwendung eines möglichst global abgeleiteten Durchschnittswertes. Das für den Dienst Datenaustausch angesetzte Datenvolumen repräsentiert daher auch stellvertretend die produktspezifischen Anforderungen für den Datei-Upload bzw. –Download der webbrowerbasierten Dienste.

Berücksichtigung von Overheads und eines VPN-Aufschlags für die Bandbreitenanforderungen an Teleheimarbeitsdienste

Die für die Analyse erhobenen Datenvolumina reflektieren die Größe auf Anwendungsebene. Die für die Übermittlung der Daten notwendigen Protokolloverheads für das TCP/IP wurden für die Ableitung der erforderlichen Datenübertragungsrate mit Hilfe eines pauschalen Aufschlags von 3% berücksichtigt. Bei der Festlegung der Höhe wurde auf Empfehlungen des BEREC zurückgegriffen.

Für die aus der Verschlüsselung von Teleheimarbeitsdiensten entstehenden Bandbreitenanforderungen im Upstream und Downstream wurde ebenfalls ein Aufschlag auf das dem Produkt zu Grunde gelegte Datenvolumen berücksichtigt. Die Höhe des Aufschlags erfolgt dabei nach Maßgabe der Größe des VPN-Overhead in Höhe von 80 Byte in Relation zu der erwarteten Paketgröße des betrachteten Dienstes. Dieser VPN-Zuschlagssatz wurde für die meisten Dienste mit 6%, für Telefonie mit 50% festgelegt.

Die Aufschläge für Overheads kommen sowohl für den Downstream als auch den Upstream zum Ansatz.

Anforderungen an die Datenübertragungsrate für den Internetzugang nach § 157 (3) TKG-2021

Ergebnis der Produktidentifikation, Quantifizierung und der zum Teil erforderlichen Transformation ist eine Darstellung der technischen Mindestanforderungen in Bezug auf die Datenübertragungsraten im Down- und Upstream **je Produkt**. Die für den Internetzugang nach § 157 (3) Satz 3 TKG-2021 verlangten technischen Anforderungen werden abgeleitet, in dem **über sämtliche Produkte hinweg** zur Konkretisierung der technischen Parameter jeweils die strengsten Werte identifiziert werden:

- Max. aus sämtlichen Datenübertragungsraten im Download: 7,7 [Mbps]
- Max. aus sämtlichen Datenübertragungsraten im Upload 1,3 [Mbps]

Treiber für den Download sind die webbrowerbasierten Anhang V-Dienste. Der Upload wird von dem Dienst Datenaustausch getrieben, welcher sowohl im Kontext webbasierter Anhang V-Dienste als auch der Teleheimarbeit zur Anwendung kommt. Der Wert von 1,3 Mbps beinhaltet dabei auch die VPN-Erfordernisse zur Verschlüsselung von Tunnels, die jedoch aufgrund des relativ geringen Bandbreiten-Aufschlags in Höhe von 6% eine untergeordnete Rolle spielen.

(B) Anforderungen an die Latenz

Dienste MIT determinierten Mindestanforderungen (Dienste mit kontinuierlichen Datenströmen)

Latenz ist eine den Netzen inhärente Eigenschaft, die sich bei der Übertragung von Daten allein schon aufgrund der physischen Beschaffenheit der Verbindung ergibt. Auch können die im Netz eingesetzten technischen Einrichtungen und – in Warteschlangensystemen – auch das Verkehrsaufkommen weitere Verzögerungen auslösen. Die Latenz stellt einen zentralen QoS-Parameter zur Beschreibung der Leistungsfähigkeit von Netzen dar.

Die Qualität von Diensten mit kontinuierlichen Datenströmen (insbesondere Echtzeitsdienste wie Sprache) hängt maßgeblich von der Latenz ab. Dies erschließt sich durch die Eigenschaft des Datenstroms und der damit einhergehenden Bedeutung der Reihenfolge der übersendeten Datenpakete. Aus diesem Grund machen Produktanbieter Angaben zur Latenz, in dem sie Empfehlungen zu Obergrenzen aussprechen. Diese Obergrenzen zielen auf die Einhaltung einer vom Produktanbieter angestrebten Produktqualität ab und bieten sich zur Bestimmung der produktspezifischen Latenzanforderungen im Sinne des § 157 (3) TKG-2021 an.

Allerdings besteht in Bezug auf die Latenz kein deterministischer Zusammenhang, wie er für Dienste MIT determinierten Mindestanforderungen für die Datenübertragungsrate abgeleitet wurde. Standardisierungsorganisationen geben Spannbreiten für die einzuhaltende Latenz an und dokumentieren, z.B. anhand des MOS zur Beurteilung der Sprachqualität, wie sich diese mit steigender Latenz verschlechtert. Empfehlungen für die Implementierung von VoIP variieren entsprechend und zeigen ein Spektrum von Obergrenzen von 100 bis 150 ms für die Einhaltung einer PSTN/ISDN-Qualität.

Technisch funktioniert die Anwendung auch noch, wenn die Latenz die empfohlene Obergrenze überschreitet; jedoch nur unter Zugeständnissen von Qualitätsverschlechterungen. Mit jeder Erhöhung der Latenz sinkt die Qualität des Dienstes und verschlechtert damit zunehmend die Nutzerzufriedenheit. Für die Deckung der Ansprüche im Sinne einer Grundversorgung haben wir uns dazu entschieden, die von den Produktanbietern ausgesprochenen Empfehlungen in Form von konkreten Obergrenzen heranzuziehen, mit denen die angestrebte Produktqualität sicher gestellt werden kann.

Dienste OHNE determinierte Mindestanforderungen (Dienste mit diskreten Datenvolumina)

Im Fall von Diensten OHNE determinierte Mindestanforderungen hängt die Qualität des Dienstes zunächst vom Inhalt ab. Da sich der Inhalt dem Nutzer erst nach erfolgreicher, vollständiger Übertragung darstellt, ist die Verzögerung von Paketen – insbesondere im Rahmen der tolerierten Übertragungsdauern im ein oder mehrstelligen Sekundenbereich – im Vergleich zu den Anforderungen von bidirektionalen Echtzeitsdiensten (die im

Bereich von Millisekunden liegen) und kontinuierlichen Datenströmen vernachlässigbar. Dienste OHNE determinierte Mindestanforderungen werden daher bei der Ableitung der Latenzanforderungen nicht weitergehend analysiert.

Anforderungen an die Latenz für den Internetzugang nach § 157 (3) TKG-2021

Ergebnis der produktbezogenen Analyse der Latenzanforderungen (je Richtung (One-Way-Delay) der für die Grundversorgung zu berücksichtigen Dienste ist der Ausweis einer maximal tolerierten Latenz **je Produkt**. Der strengste Wert leitet sich dabei aus den Echtzeitanforderungen von bidirektionalen Diensten mit Sprachübertragung ab, der in dieser Höhe nicht nur bei Sprachtelefonie, sondern auch bei anderen Produkten zu finden ist.

- Oberer Grenzwert Latenz 150 [ms]

Reduzierte Anforderungen an das Funktionieren der Dienste für den Internetzugang gemäß § 157 (3) Satz 4 TKG-2021

Das TKG-2021 erlaubt in § 157 (3) Satz 4 TKG-2021 hinsichtlich der Uploadrate und der Latenz eine Abschwächung der technischen Anforderungen, sofern die Dienste auch bei weniger anspruchsvollen Vorgaben für Upload und Latenz beim Endnutzer **funktionieren**.

Für die Beurteilung der technischen Funktionsfähigkeit ist ebenfalls zwischen Diensten MIT und OHNE determinierte Mindestanforderungen zu unterscheiden. Dabei bieten Dienste OHNE determinierte Mindestanforderungen Ansatzpunkte für eine Abschwächung der Anforderungen im Sinne des Satz 4: Wenn man davon ausgeht, dass es für ein Funktionieren des Dienstes nur auf die vollständige Übertragung des Inhalts ankommt und die dafür benötigten Übertragungsdauer keine Rolle spielt, können die Dienste OHNE determinierte Mindestanforderungen für die Festlegung des Uploads vernachlässigt werden. M.a.W., verzichtet man auf den Komfort einer schnellen Übertragung und Bereitstellung der Inhalte, so kann die Ableitung der technischen Anforderungen an den Upload im Sinne des § 157 (3) Satz 4 TKG-2021 auf Dienste MIT determinierten Mindestanforderungen reduziert werden. Dann ergibt sich als Anforderung für den Internetzugang anstelle des bisherigen Wertes von 1,3 Mbps aus den Anforderungen für den Datenaustausch inkl. VPN (Dienst OHNE determinierte Mindestanforderungen), nur noch 1,1 Mbps als Untergrenze für den Upload im Sinne des Funktionierens. Dieser leitet sich aus den mit Gruppenvideokonferenzen einhergehenden Uploadanforderungen ab (inkl. VPN-Verschlüsselung).

Die unter der Überschrift des technischen Funktionierens abgeleiteten Grenzwerte (Upload 1,1 Mbps und Latenz 150 ms) basieren somit auf den für die Grundversorgung ausgesuchten Produkten (MIT determinierten Mindestanforderungen), mit denen die angestrebte Produktqualität sicher gestellt werden kann. Nur unter dem Zugeständnis von Qualitätsverschlechterungen kann bei den Produkten mit „determinierten“ Mindest-

anforderungen trotz Verletzung der abgeleiteten Grenzwerte noch von einem Funktionieren der Produkte gesprochen werden. Mit jeder Erhöhung der Latenz oder Verringerung der Datenübertragungsrate sinkt die Qualität des Dienstes und verschlechtert zunehmend die Nutzerzufriedenheit.

Parallelnutzungsszenarien

Die abgeleiteten technischen Parameter für die Ausgestaltung des Grundversorgungsanspruchs für den Internetzugang haben die Frage aufgeworfen, wie die Internetnutzung qualitativ zu beurteilen ist, wenn mehrere Personen gleichzeitig den Internetzugang nutzen – ein Anwendungsfall der im Mehrpersonenhaushalt einen Regelfall darstellt.

Hier gilt, dass eine, im strengen Sinne zeitgleiche Nutzung von Diensten mit kontinuierlichen Datenströmen bzgl. der Bandbreitenanforderungen additiv ist. Werden zwei anstelle eines Videoanrufs getätigt, so ist dafür die doppelte Datenübertragungsrate im Up- und Downstream erforderlich.

Die in dieser Studie verwendete Methodik ist jedoch nicht geeignet, um die erforderliche Datenübertragungsrate für die Nutzung eines Dienstes ohne determinierte Mindestanforderungen zeitgleich mit anderen Online-Diensten zu bestimmen. Die von Diensten ohne determinierte Mindestanforderung in Anspruch genommene Datenübertragungsdauer richtet sich in der Praxis nicht nach den hier vorgegebenen tolerierten Übertragungsdauern. Die tatsächliche Inanspruchnahme richtet sich vielmehr nach anderen Bestimmungsfaktoren, wie beispielsweise der verfügbaren Bandbreite. Daher kann das Hochladen von Daten mit großem Datenvolumen die Funktionsfähigkeit bspw. einer zeitgleichen Videokonferenz stören oder verhindern.

Auf die Ableitung von Anforderungen an den Internetzugang unter Berücksichtigung von zeitgleicher Nutzung von Diensten wurde Abstand genommen, nicht zuletzt wegen der gesetzlichen Vorgaben des § 157 (3), die auf Anforderungen einzelner Dienste abstellen.

Messplattform

Eine methodische Abstützung der abgeleiteten technischen Anforderungen erfolgt anhand von Messungen durch eine in Deutschland verteilte Messplattform zur messtechnischen Erfassung von Servicequalitäten mit unterschiedlichen Datenübertragungsraten. Diese Messungen erfolgen unter Berücksichtigung von internationalen Standards. Die darüber gewonnenen Erkenntnisse stehen im Einklang mit den hier präsentierten technischen Anforderungen. Dies konnte daran festgemacht werden, dass unter anderem die Ladezeit für Webseiten keine nennenswerten Unterschiede für die verschiedenen Anschlussgeschwindigkeiten zu Tage bringen konnte. Selbst Anschlüsse mit Datenübertragungsraten zwischen 10 und 25 Mbps zeigten im Download kaum längere Ladezeiten als breitbandigere Anschlusstypen. Auch konnte gezeigt werden, dass für

den qualitätssensitiven Sprachtelefondienst selbst unter paralleler maximaler Datenlast an den Anschlüssen im Up- und Download keine Qualitätseinbußen für die Sprache verzeichnet werden konnten.

Fazit

Die aus der Untersuchung gewonnenen Erkenntnisse zu den für den Internetzugang zu ermöglichenden Diensten liegen bei den Datenübertragungsraten deutlich unterhalb der Gigabit-Ziele für den politisch angestrebten Breitbandausbau. Dies erklärt sich zum einen durch den Grundversorgungscharakter im Sinne einer Mindestversorgung, zum anderen durch die auf den einzelnen Dienst beschränkte Ableitung der erforderlichen QoS-Parameter.

Die abgeleiteten Werte basieren auf den Produkten, die gegenwärtig stellvertretend für die im Gesetz vorgegebenen Dienste herangezogen werden können. Die QoS-Ansprüche der am häufigsten genutzten Produkte bewegen sich dabei in Größenordnungen, die auch von Basisangeboten für Internetzugänge abgedeckt werden. Dies bestätigen auch die auf Basis einer standardisierten Messplattform durchgeführten Messergebnisse.

Die abgeleitete Mindestbandbreite für den Download wird durch webbrowserbasierte Produkte getrieben, wobei die getroffenen Festlegungen der tolerierten Übertragungsdauer mit 4 bzw. 10 Sekunden jeweils am oberen Rand liegen und damit in Bezug auf die Übertragungsgeschwindigkeit einen Mindestkomfort im Sinne einer Grundversorgung aufweisen. In der Praxis ist davon auszugehen, dass die Toleranzen der Nutzer – in Abhängigkeit des Produkts – jedoch sehr unterschiedlich ausfallen können.

Im Rahmen unserer Untersuchung konnten wir ebenso feststellen, dass die Techniken des Designs von Webseiten einen nennenswerten Einfluss auf das zu übertragende Datenvolumen haben. Dies kann so weit reichen, dass die Anforderungen aus den eigentlichen Inhalten der Online-Dienste dominiert werden.

Die zunehmend webbrowserbasierten Realisierung der Dienste geht damit einher, dass sich die Produkte immer weniger nach ihren dienstebezogenen Inhalten unterscheiden lassen, sondern sich die Webseiten vielmehr als Portale charakterisieren lassen. Dies dürfte zukünftig die Schwierigkeit einer dienstebezogenen Ermittlung von Mindestanforderungen für den Internetzugang erhöhen.

Es konnte gezeigt werden, dass für Dienste OHNE determinierte Mindestanforderungen sowohl Datenerhebungen durchzuführen sind, Messungen und ihre Auswertungen zu konzipieren und Datenvolumina zu ermitteln sowie Annahmen über tolerierte Übertragungsdauern zu treffen sind, um eine Mindestdatenübertragungsrate ableiten zu können. Dabei wird mit der Festlegung der tolerierten Übertragungsdauer darüber entschieden, welches Level an Komfort dem Internetzugang im Sinne einer Grundversorgung zugebilligt werden soll. Derartige Festlegungsspielräume bestehen bei Diensten MIT kontinuierlichen Datenströmen und daher determinierten Mindestanforderungen

nicht: Bei ihnen leiten sich die Anforderungen an die Datenübertragungsrate eindeutig aus der Qualität des Produktes ab. Unter Berücksichtigung der technischen Anforderungen aller betrachteten Produkte sind die Dienste MIT determinierten Mindestanforderungen jedoch nicht bestimmend für die festzulegenden Datenübertragungsraten des Internetzugangs nach § 157 (3) (weder im Upstream noch im Downstream). Lediglich für den Latenzparameter lassen sich die vorgelegten Ergebnisse zu den technischen Leistungsmerkmale für den Internetzugang uneingeschränkt auf Dienste MIT determinierten Mindestanforderungen und der zugehörigen Produktqualität zurückführen.

5 Literaturverzeichnis

- An, Daniel (2018): Find out how you stack up to new industry benchmarks for mobile page speed (<https://www.thinkwithgoogle.com/marketing-strategies/app-and-mobile/mobile-page-speed-new-industry-benchmarks/>)
- Anonym (2012): Voice over Internet Protocol (VoIP) Design Considerations, <https://starttrinity.com/VoIP/Resources/Design-Considerations-for-Voice-over-Internet-Protocol-VoIP.pdf>
- Applsci (2019): Network Traffic Type-Based Quality of Experience (QoE) Assessment for Universal Services
- ARD/ZDF-Onlinestudie (2020): Ergebnisse der ARD/ZDF-Onlinestudie 2020; https://www.ard-zdf-onlinestudie.de/files/2020/2020-10-12_Onlinestudie2020_Publikationscharts.pdf
- Baumann Music (2021): Samplerate (Hz und kHz), Auflösung (Bit) und Bitrate (kBit/s) für Musik und Audio; <https://www.baumannmusic.com/de/2012/sampleratehz-und-khz-aufloesung-bit-und-bitrate-kbits/>
- BoR(17) 178 „Net Neutrality Regulatory Assessment Methodology“ https://bereg.europa.eu/eng/document_register/subject_matter/bereg/regulatory_best_practices/methodologies/7295-bereg-net-neutrality-regulatory-assessment-methodology
- Brandwatch (2020): 57 interessante Zahlen und Statistiken rund um YouTube; <https://www.brandwatch.com/de/blog/statistiken-youtube/>
- Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (2021) OZG-Informationsplattform; Digitale Umsetzung des OZG-Umsetzungskataloges; <https://informationsplattform.ozg-umsetzung.de/ING/app/intro>
- Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (2021): Lexikon; https://www.onlinezugangsgesetz.de/Webs/OZG/DE/service/glossar/functions/ozg-lexikon.html?cms_lv3=13074124&cms_lv2=12998318
- Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (o.J): Was ist das Onlinezugangsgesetz OZG?; <https://www.onlinezugangsgesetz.de/Webs/OZG/DE/grundlagen/info-ozg/info-ozg-node.html>
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (2021): Alle Informationen zum digitalen Lehren und Lernen – BMBF; <https://www.bmbf.de/de/bildung-digital-3406.html>
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (2021): Neue Bekanntmachung zum Aufbau einer digitalen Bildungsplattform, <https://www.bmbf.de/de/neue-bekanntmachung-zum-aufbau-einer-digitalen-bildungsplattform-13790.html>
- Bundesministerium für Gesundheit (2021): Begriffe von A bis Z: E-Health-Gesetz; <https://www.bundesgesundheitsministerium.de/service/begriffe-von-a-z/e/e-health-gesetz.html>
- Bundesrat Drucksache (2021): Entwurf eines Gesetzes zur Umsetzung der Richtlinie (EU) 2018/1972 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 über den europäischen Kodex für die elektronische Kommunikation (Neufassung) und zur Modernisierung des Telekommunikationsrechts (Telekommunikationsmodernisierungsgesetz 29/21, 01.01.21)
- Bundesregierung (2021): Digitalisierung im Gesundheitswesen voranbringen; <https://www.bundesregierung.de/breg-de/suche/patientendaten-schutz-gesetz-1738402>
- Christansen, P. (2021): How Much Speed Do I Need to Stream Video? <https://www.highspeedinternet.com/resources/how-much-speed-do-i-need-to-watch-netflix-and-hulu>
- Chromium Blog (2020): Introducing Web Vitals: essential metrics for a healthy site; <https://blog.chromium.org/2020/05/introducing-web-vitals-essential-metrics.html>
- Cisco (2005): Verständnis der Servicekategorie "Variable Bit Rate Real Time (VBR-rt)" für ATM VCs; https://www.cisco.com/c/de_de/support/docs/asynchronous-transfer-mode-atm/atm-traffic-management/10414-atm-vbr.html
- Cisco (2019) „Cisco Visual Network Index “
- Cisco (2021): QoS - Quality of Service - in VoIP implementations. <https://www.voip-info.org/qos-cisco/>
- Cloudflare (2021): What is live streaming? | How live streaming works <https://www.cloudflare.com/learning/video/what-is-live-streaming/>
- Computerweekly (2020): So berechnen Sie die benötigte VPN-Bandbreite richtig; <https://www.computerweekly.com/de/tipp/So-berechnen-Sie-die-benotigte-VPN-Bandbreite-richtig>

- Deutscher Bundesrat (2021): Stellungnahme des Bundesrates zu Entwurf eines Gesetzes zur Umsetzung der Richtlinie (EU) 2018/1972 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 über den europäischen Kodex für die elektronische Kommunikation (Neufassung) und zur Modernisierung des Telekommunikationsrechts (Telekommunikationsmodernisierungsgesetz)
- Deutscher Bundestag (2019), Drucksache 19/28865 Entwurf eines Gesetzes zur Umsetzung der Richtlinie (EU) 2018/1972 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 über den europäischen Kodex für die elektronische Kommunikation (Neufassung) und zur Modernisierung des Telekommunikationsrechts (Telekommunikationsmodernisierungsgesetz)
- Developers google: Leistung des kritischen Rendering-Pfads analysieren;
<https://developers.google.com/web/fundamentals/performance/critical-rendering-path/analyzing-crp?hl=de>
- Digital Regulation Plattform (2020): Technical regulation – Quality of service;
<https://digitalregulation.org/technical-regulation-quality-of-service/>
- eGovernment Monitor (2020). Staatliche Digitalangebote – Nutzung und Akzeptanz in Deutschland, Österreich und der Schweiz
- Email Vergleich (2014): Übersicht der E-Mail-Anhang-Größe; <https://www.email-vergleich.com/tag/e-mail-anhang-grosse/>
- ETSI (2008) ETSI EG 202 057-1, Version 1.3.1 Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); User related QoS parameter definitions and measurements Parts 1-4.
- EUROPÄISCHES PARLAMENT UND DER RAT DER EUROPÄISCHEN UNION (2015): RICHTLINIE (EU) 2015/2366 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 25. November 2015 über Zahlungsdienste im Binnenmarkt, zur Änderung der Richtlinien 2002/65/EG, 2009/110/EG und 2013/36/EU und der Verordnung (EU) Nr. 1093/2010 sowie zur Aufhebung der Richtlinie 2007/64/EG
- EUROPÄISCHES PARLAMENT UND DER RAT DER EUROPÄISCHEN UNION (2018): RICHTLINIE (EU) 2018/1972 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES (EU 2018/1972), Anhang V
- EU-Verordnung (2017): Regulation (EU) 2017/1128 of the European Parliament and of the Council of 14 June 2017 on cross-border portability of online content services in the internal market
- Fiedler, Markus; Hossfeld, Tobias; Tran-Gia, Phuoc (2010): „A generic quantitative relationship between Quality of Experience and Quality of Service“, 2010, Article in IEEE Network May 2010
- Finding and Fixing VoIP Call Quality Issues, White Paper WildPackets, Inc. https://www.neox-networks.com/downloads/Finding_Fixing_VoIP_Call_Quality_Issues.pdf
- Google (2017): The Need for Mobile Speed; <https://www.thinkwithgoogle.com/intl/de-de/marketing-strategien/apps-und-mobile/the-need-for-speed-wahrgenommene-und-tatsachliche-geschwindigkeit-im-mobilen-web/>
- Insys icom (2021): Virtual Private Network (VPN) Betrachtung von Overhead und Datenvolumen,
<https://256.insys-icom.de/VPN-Overhead>
- Internet Engineering Task Force (2014): Definition of the Opus Audio Codec;
<https://tools.ietf.org/html/rfc6716>
- IT Planungsrat (o.J.): Die Umsetzung des Onlinezugangsgesetzes (OZG) Flächendeckende Digitalisierung der deutschen Verwaltung bis Ende 2022; <https://www.it-planungsrat.de/foederale-zusammenarbeit/ozg-umsetzung>
- ITU (2001), End-user multimedia QoS categories, Rec. G.1010
- ITU (2003): One-way transmission time; ITU-T G.114
- ITU (2006): Performance parameter definitions for quality of speech and other voiceband applications utilizing IP networks; Recommendation G.1020
- ITU (2011): Network performance objectives for IP-based services; Recommendation Y.1541
- ITU (2016): Quality of service guaranteed mechanisms and performance model for public packet telecommunication data networks; Recommendation ITU-T Y.2617
- ITU (2017): ITU-P.10/G.100 SERIES P : TELEPHONE TRANSMISSION QUALITY, TELEPHONE INSTALLATIONS, LOCAL LINE NETWORK
- ITU (2017): Quality of Service REGULATION MANUAL REGULATORY & MARKET ENVIRONMENT Telecommunication Development Sector

- Jiro Nagao (2020): International Standards on Communication Technology for Immersive Live Experience Adopted by ITU-T, NTT Technical Review Vol. 18 No. 7 July 2020
- Khirman, Henriksen (2002): Relationship between Quality-of-Service and Quality-of-Experience for Public Internet Service Proc. 3rd Passive and Active Measurement Workshop (PAM2002), Fort Collins, Colorado, USA, March 2002, ITU-World bank Technical regulation – Quality of service | Digital Regulation Platform, <https://digitalregulation.org/technical-regulation-quality-of-service/>
- Klusaite, Laura (2021): TCP vs. UDP – die beiden Protokolle im Vergleich; Blog, <https://nordvpn.com/de/blog/tcp-vs-udp/>
- KOM (2016): "Review of the scope of Universal Service", <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/6eee3cb7-9adf-11e6-868c-01aa75ed71a1>
- KOM Annex (2016): "Review of the scope of Universal Service"
- Koop, Olaf (2020) <https://www.youtube.com/watch?v=XUOD6pcvnso>
- Kopp, Olaf (2020): PageSpeed: Wie wichtig sind Ladezeiten als Rankingfaktor für SEO bei Google? <https://www.sem-deutschland.de/blog/page-speed-seo-ranking/>
- Kühling, J. u.a. (2019): Rechtliche Herausforderungen bei der Schaffung von Anreizen für einen flächendeckenden Ausbau von Glasfaserinfrastrukturen, Rechtsgutachten im Auftrag des BMVI
- kyago Whitepaper (2021): "Die Multi Play- und Benchmarking Plattform" (<https://zafaco.de/de/whitepaper>)
- Lamberti, Alyssa (2021): Measuring VoIP Quality with MOS Score (Mean Opinion Score), Blog, last updated 23.08.2021, <https://obkio.com/blog/measuring-voip-quality-with-mos-score-mean-opinion-score/>
- Mack, Robert L., Nielsen, Jakob (1993): Usability Inspection Methods: Report on a Workshop Held at CHI'92, Monterey, CA, May 3-4,. In ACM SIGCHI Bulletin, 25 (1) pp. 28-33
- Microsoft (2021): Determine user connection latency in Azure Virtual Desktop <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/virtual-desktop/connection-latency>
- Microsoft (2021): Prepare your organization's network for Microsoft Teams; <https://docs.microsoft.com/en-us/microsoftteams/prepare-network>
- Neue Zürcher Zeitung (2019): Streaming ist das neue Fliegen – wie der digitale Konsum das Klima belastet; <https://www.nzz.ch/wirtschaft/streaming-ist-das-neue-fliegen-wie-der-digitale-konsum-das-klima-schaedigt-ld.1474563>
- Newsroom Spotify (2021): Five Things to Know About Spotify HiFi; <https://newsroom.spotify.com/2021-02-22/five-things-to-know-about-spotify-hifi/>
- Nielsen, Jakob (1992): Finding Usability Problems Through Heuristic Evaluation. In: Bauersfeld, Penny, Bennett, John, Lynch, Gene (eds.) Proceedings of the ACM CHI 92 Human Factors in Computing Systems Conference June 3-7, 1992, Monterey, California. pp. 373-380. <https://www.acm.org/pubs/articles/proceedings/chi/142750/p373-nielsen/p373-nielsen.pdf>
- Nielsen, Jakob (1999): User Interface Directions for the Web. In Communications of the ACM, 42 (1) pp. 65-72. <https://dl.acm.org/doi/10.1145/291469.291470>
- Nielsen, Jakob, Landauer, Thomas K. (1993): A Mathematical Model of the Finding of Usability Problems. In: Ashlund, Stacey, Mullet, Kevin, Henderson, Austin, Hollnagel, Erik, White, Ted (eds.) Proceedings of the ACM CHI 93 Human Factors in Computing Systems Conference April 24-29, 1993, Amsterdam, The Netherlands. pp. 206-213 <https://www.acm.org/pubs/articles/proceedings/chi/169059/p206-nielsen/p206-nielsen.pdf>
- Nielsen, Jakob, Levy, Jonathan (1994): Measuring Usability: Preference vs. Performance. In Communications of the ACM, 37 (4) pp. 66-75
- Online Marketing (2016): Status Quo: Die 10 beliebtesten E-Mail-Provider in Deutschland; <https://onlinemarketing.de/email-marketing/mobilisierung-mails-top-10-e-mail-provider-deutschland>
- Ozer, Jan (2020): CBR vs VBR: Difference between Constant Bitrate and Variable Bitrate, <https://www.wowoza.com/blog/cbr-vs-vbr>
- Patton (2004): Technote SmartNode™ Quality of Service for VoIP on the Internet Access
- Paulsen, Stefan (2015): QoS/QoE-Modelle für den Dienst Voice over IP (VoIP), Dissertation Universität Hamburg
- PC Welt (2021): Genug Datenvolumen für alles; <https://www.pcwelt.de/a/wie-viel-datenvolumen-brauche-ich,3448702>

- Petr Zacha, Martin Pokornya, Jiri Baleja (2014): Quality of Experience of Voice Services in Corporate NetworkEnterprise and the Competitive Environment 2014 conference, ECE 2014, 6–7 March 2014, Brno, Czech Republic published in Procedia Economics and Finance 12 pag. 771 – 779, Elsevier 2014
- Pham Hong Thinh et al (2019): A Hybrid of Adaptation and Dynamic Routing based on SDN for Improving QoE in HTTP Adaptive VBR Video Streaming, IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, VOL.19 No.7, July 2019
- Researchgate (2016) Multimedia Quality of Experience (QoE) : Current Status and Future Requirements; https://www.researchgate.net/publication/292281292_Multimedia_Quality_of_Experience_QoE_Current_Status_and_Future_RequirementsMicrosoft (2021): Bandbreitenanforderungen des Remotedesktopprotokolls; <https://docs.microsoft.com/de-de/azure/virtual-desktop/rdp-bandwidth>
- Ruether, Traci (2021): MPEG-DASH: Dynamic Adaptive Streaming Over HTTP Explained (Update) February 25, 2021; <https://www.wowza.com/blog/mpeg-dash-dynamic-adaptive-streaming-over-http>
- Ruether, Tracy (2019): Low-Latency Claims and How to Decipher Them, <https://www.wowza.com/blog/low-latency-claims-and-how-to-decipher-them>
- Science Direct (2020): Mean Opinion Score; <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/mean-opinion-score>
- SEO News (2020): Google gibt neue Empfehlungen zur Ladezeit von Webseiten; <https://www.seo-suedwest.de/5846-google-gibt-neue-empfehlungen-zur-ladezeit-von-webseiten.html>
- Statista (2021): Meistgenutzte Office-Software in Unternehmen in Deutschland 2020; <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/77226/umfrage/internetnutzer---verbreitung-von-office-software-in-deutschland/>
- Statista (2021): Altersverteilung von Computerspielern in Deutschland 2021; <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/290890/umfrage/altersverteilung-von-computerspielern-in-deutschland/>
- Statista (2021): Anteil der Nutzer von Online-Banking in Deutschland bis 2020; <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/533174/umfrage/anteil-der-nutzer-von-online-banking-in-deutschland/>
- Statista (2021): Entwicklung der Marktanteile der E-Mail-Postfach-Anbieter in Deutschland bis 2021; <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/151754/umfrage/nutzeranteile-von-e-mail-anbietern-in-deutschland/>; <https://onlinemarketing.de/email-marketing/mobilisierung-mails-top-10-e-mail-provider-deutschland>
- Statista (2021): Marktanteile führender Browser in Deutschland; <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/13007/umfrage/marktanteile-der-browser-bei-der-internetnutzung-in-deutschland-seit-2009/>
- Statista (2021): Ranking der vertrauenswürdigsten Nachrichtenquellen in Deutschland 2021; <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/877238/umfrage/ranking-der-vertrauenswuerdigsten-nachrichtenquellen-in-deutschland/>
- Statista (2021): Umfrage in Deutschland zur Häufigkeit des Spielens von Online-PC-Games bis 2020; <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/181375/umfrage/haeufigkeit-des-spielens-von-pc-spielen-online/>
- Statista (2021): Umfrage in Deutschland zur Nutzung von PC-Online-Spielen nach Geschlecht 2020; <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/290488/umfrage/umfrage-unter-frauen-und-maennern-zur-haeufigkeit-der-nutzung-von-online-spielen/>
- Support Alexa (2020): Top Sites by Category has been retired - September 21st, 2020; <https://support.alexas.com/hc/en-us/articles/360051913314>
- Support Apple (2021): About lossless audio in Apple Music; <https://support.apple.com/en-us/HT212183>
- Support Spotify (2021): Soundqualität; <https://support.spotify.com/de/article/audio-quality/>
- Takahashi, Akira / Yamagishi, Kazuhisa, and Ka-waguti, Ginga (2008): Recent Activities of QoS/QoE Standardization in ITU-T SG12 NTT Technical Re-view Vol. 6 No. 9 Sep. 2008
- Techbook (2021): 6 große Musik-Streaming-Dienste im Vergleich; <https://www.techbook.de/entertainment/streaming/musik-streaming-dienste-vergleich>
- Theo Technologies (2018): The importance of low latency in video streaming; <https://www.theoplayer.com/blog/the-importance-of-low-latency-in-video-streaming>

- Think with google (2016): The Need for Mobile Speed; <https://www.thinkwithgoogle.com/intl/de-de/marketing-strategien/apps-und-mobile/the-need-for-mobile-speed/>
- Tidal (2021): Sound quality; <https://tidal.com/sound-quality>
- TKG-2021 <https://dserver.bundestag.de/btd/19/288/1928865.pdf> (Beschlussempfehlung)
- Usability (2010): Die Reaktionszeiten von Websites; <https://www.usability.ch/news/die-reaktionszeiten-von-websites.html>
- Verbraucherzentrale (2021): Elektronische Patientenakte (ePA) gestartet; <https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/gesundheit-pflege/krankenversicherung/elektronische-patientenakte-epa-in-die-testphase-gestartet-57223>
- WebRTC Glossary (2021): Opus; <https://webrtcglossary.com/opus/>
- Wertgarantie (2021): 4 zu 3; <https://www.wertgarantie.de/lexikon/tv/4-zu-3>
- Wikipedia (2020): Maximum Segment Size ;https://de.wikipedia.org/wiki/Maximum_Segment_Size
- Wikipedia (2020); Timeout_(Netzwerktechnik), [https://de.wikipedia.org/wiki/Timeout_\(Netzwerktechnik\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Timeout_(Netzwerktechnik))
- Wikipedia (2021): Audioformat; <https://de.wikipedia.org/wiki/Audioformat>
- Wikipedia (2021): Internet Protocol; https://de.wikipedia.org/wiki/Internet_Protocol
- Wikipedia (2021): Mean Opinion Score; https://de.wikipedia.org/wiki/Mean_Opinion_Score
- Wikipedia (2021): Standard Definition Television; https://de.wikipedia.org/wiki/Standard_Definition_Television
- Wilbert, Max (2021): Which to Use for Professional Broadcasting; update 2021; <https://www.dacast.com/blog/video-streaming-protocol/>
- Wilde Beumer Solmecke Rechtsanwälte (2020): Bezeichnung „Webinar“ geschützt – Achtung vor Abmahnungen; <https://www.wbs-law.de/markenrecht/webinar-markenrecht-bezeichnung-webinar-geschuetzt-achtung-vor-abmahnungen-50145/>
- WildPackets (o.J.): Finding and Fixing VoIP Call Quality Issues, White Paper WildPackets, Inc. https://www.neox-networks.com/downloads/Finding_Fixing_VoIP_Call_Quality_Issues.pdf
- Wowza Media Systems (2020): What Is Low Latency and Who Needs It? <https://www.wowza.com/blog/what-is-low-latency-and-who-needs-it>
- Youtube (2020): Page Speed: SEO Mythbusting; <https://www.youtube.com/watch?v=XUOD6pcvnso>
- Youtube Kanal (MrWissen2go): <https://www.youtube.com/c/MrWissen2go/about>
- Zoom (2021): System requirements for Windows, macOS, and Linux; <https://support.zoom.us/hc/en-us/articles/201362023-System-requirements-for-Windows-macOS-and-Linux>

Anhang (separates Dokument)