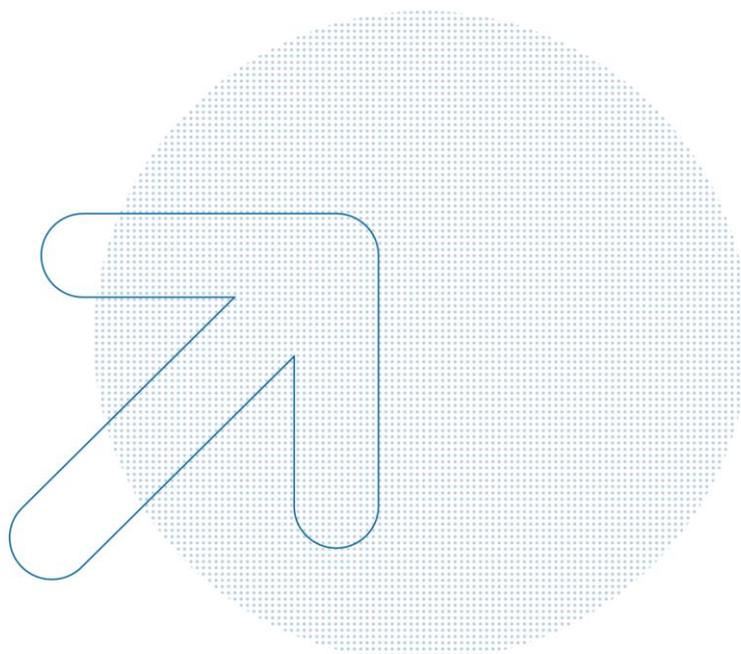


WIK-Consult & zafaco • Gutachten

für die Bundesnetzagentur



Mehrpersonenhaushalte

Technische Mindestanforderungen Internetzugang

Autoren:

Dr. Gabriele Kulenkampff (wik)

Oliver Portugall (zafaco)

Dr. Klaus Dieter Hackbarth (wik)

Mike Kosek (zafaco)

Martin Ockenfels (wik)

Prof. Dr. Jörg Ott

Dr. Thomas Plückebaum (wik)

Gonzalo Zuloaga (wik)

Bad Honnef, 31. Januar 2024

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 und Direktorin	Dr. Cara Schwarz-Schilling
Direktor, Verwaltungs- und Abteilungsleiter	Alex Kalevi Dieke
Direktor, Abteilungsleiter	Dr. Bernd Sörries
Abteilungsleiter	Dr. Christian Wernick
Abteilungsleiter	Dr. Lukas Wiewiorra
Vorsitzender des Aufsichtsrates	Dr. Thomas Solbach
Handelsregister	Amtsgericht Siegburg, HRB 7043
Steuer-Nr.	222/5751/0926
Umsatzsteueridentifikations-Nr.	DE 329 763 261

Stand: Januar 2024



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	X
Executive Summary	i
1 Hintergrund und Zielsetzung	5
1.1 Hintergrund	5
1.2 Untersuchungsgegenstand und Zielsetzung	5
1.2.1 Mindestens zu ermöglichende Dienste des Internetzugangs	5
1.2.2 Parallelnutzungsszenarien von Mehrpersonenhaushalten	6
1.2.3 Zielsetzung	6
1.3 Methodische Vorgehensweise	7
2 Identifizierung relevantester Nutzungsformen und Produkte	8
2.1 Anhang V-Dienste	8
2.1.1 Methodische Vorgehensweise	8
2.1.1.1 Konkretisierung der Dienste gemäß § 157 TKG (3)	8
2.1.1.2 Aktualisierung der Datenbasis und verwendete Datenquellen	11
2.1.1.3 Herausforderungen bzgl. Datenlage und Lösungsansätze	12
2.1.2 Top Anwendungen und repräsentativste Produkte	13
2.1.2.1 E-Mail	13
2.1.2.2 Suchmaschinen, die das Suchen und Auffinden aller Arten von Informationen ermöglichen	14
2.1.2.3 Grundlegende Online-Werkzeuge für die Aus- und Weiterbildung	17
2.1.2.4 Online-Zeitungen oder Online-Nachrichten	21
2.1.2.5 Online-Einkauf oder Online-Bestellung von Waren und Dienstleistungen	21
2.1.2.6 Arbeitssuche und Werkzeuge für die Arbeitssuche	23
2.1.2.7 Berufliche Vernetzung	23
2.1.2.8 Online-Banking	24
2.1.2.9 Nutzung elektronischer Behördendienste	25
2.1.2.10 Soziale Medien und Sofortnachrichtenübermittlung	27

2.1.2.11 Anrufe und Videoanrufe (Standardqualität: SD)	28
2.2 Online-Inhaltedienste	29
2.2.1 Methodische Vorgehensweise, Definition und Abgrenzung	29
2.2.2 Marktübliche Online-Inhaltedienste	30
2.2.3 Top-Produkte	32
2.3 Teleheimarbeit inkl. VPN	33
2.3.1 Relevante Anwendungen der Teleheimarbeit	33
2.3.2 Spezifische Anforderungen von Selbständigen und Freiberuflern	35
2.3.3 Generelle Anforderungen an den Internetzugang für das Arbeiten von zu Hause	39
2.4 Anforderungen von Menschen mit Behinderung	41
3 Bottom-up-Ermittlung von dienstespezifischen technischen Mindestanforderungen	48
3.1 Zielsetzung und methodische Vorgehensweise	48
3.1.1 Zielsetzung, Dienstekategorien und Datenquellen	48
3.1.2 Angewendete Qualitätsmaßstäbe für die Dienstekategorien	50
3.1.3 Transformation des Datenvolumens in Mbps (Dienste mit diskreten Datenvolumina)	53
3.1.4 Latenzanforderungen	53
3.2 Dienste mit kontinuierlichen Datenströmen	53
3.2.1 Anrufe, Videoanrufe und -Konferenzen	54
3.2.2 Remote Desktop	55
3.2.3 Videostreaming	56
3.2.4 Musik-Streaming	57
3.2.5 Internetradio	58
3.3 Dienste mit diskreten Datenvolumina	59
3.3.1 Webbasierte Messungen	59
3.3.1.1 Vorgehensweise	59
3.3.1.2 Vergleich gegenüber der webbasierten Messergebnisse 2021	62
3.3.2 Messergebnisse und abgeleitete Datenübertragungsraten für webbrowsersbasierte Produkte auf Basis der Nutzungsvorgänge	65
3.3.3 Befragungen/Erhebungen zur Dateigröße	67

3.3.3.1	E-Mail	67
3.3.3.2	Datenaustausch	68
3.4	Anforderungen der Dienstekategorien und Treiber für die Mindestanforderungen für den Internetzugangsdienst	69
4	Parallelnutzungsszenarien in Mehrpersonenhaushalten	71
4.1	Im Alltag relevante Parallelnutzungsszenarien – Begriffsklärung und Datenbasis	71
4.1.1	WER? – Haushaltsgröße und Haushaltsmitglieder für die Parallelnutzung – Datenbasis	72
4.1.2	WAS? – Altersgruppen-typische Internetdienste – Datenbasis	73
4.1.3	WANN? – Dauer und Zeitbezug der Nutzung von Internetdiensten – Datenbasis	76
4.2	Parallelnutzung und kumulierte Anforderungen an die Kapazität des Internetzugangs (Mbps)	81
4.3	Dienstespezifische Datenübertragungsrate und Besonderheiten im Fall der Parallelnutzung-	81
4.3.1	Parallele Nutzung – Netz- und Nutzerperspektive bei verschiedenen Dienstekategorien	82
4.3.2	Parallelnutzung und Kapazitätsengpässe: Protokolltechnische Mechanismen und Adaption von Datenübertragungsraten	85
4.3.3	Dienstespezifische Anforderungen im Parallelnutzungsfall – Schlussfolgerungen für die weitere Analyse	86
5	Parallelnutzungsszenarien und Bottom-up-Berechnungen von Datenübertragungsraten im Kontext technischer Mindestanforderungen	88
5.1	Maximalanforderungen der Parallelnutzung	93
5.2	Parallelnutzung im beruflichen Kontext: Werktagsbetrachtung	96
5.3	Parallelnutzung im privaten Kontext: Freizeitbetrachtung	101
5.4	Zusammenfassung der Ergebnisse und Einordnung	103
6	Top-down-Messungen im Kontext technischer Mindestanforderungen bei Parallelnutzungsszenarien	110
6.1	Auswahl der gemessenen Parallelnutzungsszenarien	114
6.2	Top-down-Messergebnisse für Parallelnutzungsszenarien	117
6.2.1	Sprachtelefonie	118
6.2.2	Webseitenabruf	121
6.2.3	Videostreaming	125

6.2.4 Videokonferenz	127
6.3 Ableitungen aus den Top-down-Messergebnissen für Parallelnutzungsszenarien	132
7 Vergleichende Evaluation der Ergebnisse aus Bottom-up-Berechnungen und Top-down-Messungen im Kontext akzeptabler Nutzererfahrung und eines technischen Funktionierens	134
7.1 Methodenvergleich von Bottom-up- und Top-down-Ansatz	134
7.2 Ergebnisvergleich von Bottom-up- und Top-down-Ansatz für den Aufruf von Webseiten	138
7.2.1 Webseitenaufruf mit parallelen Videokonferenzen, Videostreaming oder Webseitenaufrufen	140
7.2.2 Webseitenaufruf mit parallelen Webseitenaufrufen, Downloads und Uploads	141
7.3 Schlussfolgerungen aus dem Vergleich von Methoden und Ergebnissen	142
8 Technische Mindestanforderungen für den Internetzugangsdienst und die damit zu ermöglichenden Dienste (TKG § 157 Abs. 3) – Zusammenfassung und Empfehlung	144
Literaturverzeichnis	153
Anhang	
Anhang 1: Teleheimarbeit und Ergebnisübersicht zu den Kategorien Anhang V-Dienste, Teleheimarbeit inkl. VPN, Online-Inhaltedienste	
Anhang 2: Datenbasis und Messergebnisse	
Anhang 3: Simulationsmodell	
Anhang 4: Messaufbau - Beschreibung von Top-down-Messungen und Parallel-Nutzungsszenarien	

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Konkretisierung von breit definierten Diensten – Beispieldarstellung	9
Abbildung 2:	Konkretisierung von eng definierten Diensten – Beispieldarstellung	9
Abbildung 3:	Methodische Vorgehensweise zur Identifizierung repräsentativer Produkte und Nutzungsformen	10
Abbildung 4:	Organisation des Schulunterrichts zwischen Nov 2020 und Jul 2021 (in %)	19
Abbildung 5:	Kontaktwege zur Übermittlung von Lernmaterial im Frühjahr 2020 (in %)	20
Abbildung 6:	Kanäle für die interne und externe Unternehmenskommunikation	34
Abbildung 7:	Erwerbstätige, die von zu Hause arbeiten nach Stellung im Beruf 2021 (Anteil in %)	36
Abbildung 8:	Beispiel – Webseiten mit Screenreader („vorlesen lassen“ Funktion oder über das Barrierefreiheits-Software „Eye-Able Assistant“)	43
Abbildung 9:	Untertitel im linearen Fernsehen: ARD	44
Abbildung 10:	Audiodeskription im linearen Fernsehen: ARD	45
Abbildung 11:	Gebärdensprache im linearen Fernsehen: ARD	46
Abbildung 12:	Barrierefreie Seiten mit Gebärdensprache: Bundesagentur für Arbeit	46
Abbildung 13:	Webseiten mit „Leichter Sprache“-Funktionen	47
Abbildung 14:	Drei Methoden für die Ermittlung der Basisdaten	50
Abbildung 15:	Beispiel für webbasierte Messung von Top-Produkten (Techniker Krankenkasse (tkk.de)) und deren gemessenen Nutzungsvorgänge. Hier: „Suchmaschinen“, die das Suchen und Auffinden aller Arten von Informationen ermöglichen	61
Abbildung 16:	Beispiel – neue Webseite-Darstellung des Produkts „Kursnet“	63
Abbildung 17:	Beispiel – Datenvolumen und Mobile- vs. Webansicht	64
Abbildung 18:	Verteilung von Haushaltsmitglieder nach Haushaltsgröße (in %)	72
Abbildung 19:	Anzahl von Haushaltsmitgliedern nach Altersgruppe je Haushaltsgröße	73
Abbildung 20:	Internet-Tätigkeiten von Kindern zwischen 6 und 13 Jahren (2022)	75
Abbildung 21:	Bewegbildnutzung im Tagesablauf (lineares und nicht-lineares Konsum, Gesamtbevölkerung, Stundendurchschnittsreichweiten in %)	77
Abbildung 22:	Videonutzung im Internet (nicht-lineares Konsum) im Tagesablauf (Gesamtbevölkerung, Stundendurchschnittsreichweiten in %)	78
Abbildung 23:	Geschätzte tägliche Nutzungsdauer verschiedener Medien (in Minuten)	79
Abbildung 24:	Nutzung von Medien in Tagesverlauf 2022	80

Abbildung 25:	Nutzung von webbasierten Diensten und Inanspruchnahme von Übertragungskapazität	83
Abbildung 26:	Parallele Nutzung webbasierter Dienste und zeitlich versetzte Belegung von Übertragungskapazität	84
Abbildung 27:	Parallele Nutzung webbasierter Dienste und zeitgleiche Belegung von Übertragungskapazität	84
Abbildung 28:	Messumgebung	113
Abbildung 29:	Anschlussgeschwindigkeiten und Farbschema	117
Abbildung 30:	Ergebnisse Sprachtelefonie Speech Delay A/B in Millisekunden (Anschlussgeschwindigkeit: 10 Mbps Download / 1,7 Mbps Upload)	119
Abbildung 31:	Ergebnisse Sprachtelefonie MOS AB nach ITU-T P.863.	120
Abbildung 32:	Ergebnisse Webseitenabruf kompakt google.de Page-Load-Time in Sekunden für vier verschiedene Anschlussgeschwindigkeiten	122
Abbildung 33:	Ergebnisse Webseitenabruf datenintensiv wetteronline.de Page Load Time in Sekunden	124
Abbildung 34:	Ergebnisse Videostreaming MOS nach 20 Sekunden Abspielzeit	126
Abbildung 35:	Ergebnisse Videokonferenz MOS Video A-Party*	129
Abbildung 36:	Ergebnisse Videokonferenz MOS Audio A-Party	130
Abbildung 37:	Ergebnisse Videokonferenz MOS Video B-Party	131
Abbildung 38:	Ergebnisse Videokonferenz MOS Audio B-Party	131

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Aktualisierung der Datenbasis: Herausforderungen und Lösungsansätze	12
Tabelle 2:	Ranking und Funktionalitätsmerkmale von Top E-Mail-Produkten	13
Tabelle 3:	Ranking und Funktionalitätsmerkmale von Top-Produkten zur Suchmaschine und Informationssuche	15
Tabelle 4:	Ranking und Funktionalitätsmerkmale von Top-Produkten im Bereich der Aus- und Weiterbildung	18
Tabelle 5:	Ranking und Funktionalitätsmerkmale von Top-Produkten im Bereich Online-Zeitungen/Online-Nachrichten	21
Tabelle 6:	Ranking und Funktionalitätsmerkmale von Top-Produkten zum Online-Einkauf und Online-Bestellung	22
Tabelle 7:	Ranking und Funktionalitätsmerkmale von Top-Produkten im Bereich der Arbeitssuche und Werkzeuge für die Arbeitssuche	23
Tabelle 8:	Ranking und Funktionalitätsmerkmale von Top-Produkten zur beruflichen Vernetzung	24
Tabelle 9:	Ranking und Funktionalitätsmerkmale von Top-Produkten zum Online-Banking	25
Tabelle 10:	Ranking und Funktionalitätsmerkmale von Top-Produkten zur Nutzung elektronischer Behördendienste	26
Tabelle 11:	Ranking und Funktionalitätsmerkmale von Top-Produkten im Bereich der sozialen Medien und Sofortnachrichtenübermittlung	27
Tabelle 12:	Ranking und Funktionalitätsmerkmale von Top-Produkten im Bereich der Anrufe und Videoanrufe	28
Tabelle 13:	Internetnutzung: Video und Audio (mind. selten genutzt, in %)	30
Tabelle 14:	Video/Audio und Online-Inhalte-Dienste (mind. selten genutzt, in %)	30
Tabelle 15:	Internetnutzung: sonstige Online-Inhaltedienste (in %)	31
Tabelle 16:	Nutzung von Video- und Musikstreaming (mind. selten, Angaben in %) und Internetradio (Tagesreichweite, Angaben in Mio. Hörer pro Stunde Mo-Fr. 6-18 Uhr – nur Werbeträger)	32
Tabelle 17:	Selbstständige in freien Berufen in Deutschland 2022 nach Berufen (Grundgesamtheit: 1,47 Mio.)	37
Tabelle 18:	Anwendungen in freien Berufen und ihre Zuordnung auf Anwendungen der Teleheimarbeit	41
Tabelle 19:	Vergleich der zeitlichen Toleranz nach ITU, Google „Goldene Regeln“, Nielsen „useability concept“ und in der Untersuchung angewendete Werte	51

Tabelle 20:	Zuordnung der ITU-Kategorien auf die Produkte der Mindestversorgung	52
Tabelle 21:	Bandbreitenanforderungen für Anrufe und Videoanrufe – (ohne VPN)	54
Tabelle 22:	Bandbreitenanforderungen für Videokonferenzen (in Mbps) – (ohne VPN)	55
Tabelle 23:	Bandbreitenanforderungen für Remote Desktop (Download in Mbps) nach Produktinformationen von MS Azure – (ohne VPN)	55
Tabelle 24:	Bandbreitenanforderungen für Videostreaming (Download in Mbps)	56
Tabelle 25:	Bandbreitenanforderungen für Musikstreaming (Download in Mbps)	58
Tabelle 26:	Bandbreitenanforderungen für Internetradio (Download in Mbps)	58
Tabelle 27:	Messergebnisse anhand des Entwicklertools für webbasierte Produkte	62
Tabelle 28:	Webbasierte Anhang-V Dienste – abgeleitete Datenübertragungsraten	66
Tabelle 29:	Webbasierte Teleheimarbeit – abgeleitete Datenübertragungsraten	66
Tabelle 30:	Befragung 2021 – abgeleitetes Datenvolumen von E-Mails	68
Tabelle 31:	E-Mails und abgeleitete Datenübertragungsraten	68
Tabelle 32:	Durchschnittliche Dateigröße und abgeleitete Datenübertragungsraten	69
Tabelle 33:	Ergebnis der dienstebezogenen Mindestanforderungen	70
Tabelle 34:	Onlinenutzung 2022 nach Altersgruppe (Tagesreichweite in %)	74
Tabelle 35:	Onlinenutzung 2022 nach konkreter Tätigkeit (Tagesreichweite in %)	74
Tabelle 36:	Nutzungsdauern 2022 nach Altersgruppe (in Stunden pro Tag)	76
Tabelle 37:	Charakterisierung der Bottom-up-Methodik	92
Tabelle 38:	Parallelnutzung des Dienstes mit den maximalen Anforderungen (entweder Downstream- oder Upstream bezogen)	94
Tabelle 39:	Durch EINE Person parallel genutzte Internetdienste (beispielhaftes Szenario)	95
Tabelle 40:	Parallele Nutzung von Internetdiensten (beispielhaftes Szenario) durch EINE Person und Skalierung mit der Anzahl von Haushaltsmitgliedern	96
Tabelle 41:	Dienste und Datenanforderungen der beruflichen bzw. schulischen Szenarien – Vergleich gegenüber dem MAX-Szenario	98
Tabelle 42:	Beruflich veranlasste Parallelnutzungen im Mehrpersonenhaushalt	100
Tabelle 43:	Für Erwachsene: Verhältnis der Datenanforderung unterschiedlicher Teleheimarbeit-Diensten zum Teleheimarbeit-Dienst mit der maximalen Datenanforderung (,cloudbasierte Dienste' in Download und ,Datenaustausch' in Upload)	100
Tabelle 44:	Für Schulkinder: Verhältnis der Datenanforderung unterschiedlicher grundlegenden Online-Werkzeuge für die Aus- und Weiterbildung zum	

	grundlegenden Online-Werkzeuge für die Aus- und Weiterbildung mit der maximalen Datenanforderung („elektronische Test oder Übungen – fahrschule.de“)	101
Tabelle 45:	Paralleles Videostreaming im Mehrpersonenhaushalt (Freizeit)	102
Tabelle 46:	Sonstige Parallelnutzung im Mehrpersonenhaushalt	103
Tabelle 47:	Download (in Mbps) – Zusammenfassung der Bottom-up-Ergebnisse identifizierter Parallelnutzungskonstellationen in Mehrpersonenhaushalten	104
Tabelle 48:	Upload (in Mbps) – Zusammenfassung der Bottom-up-Ergebnisse identifizierter Parallelnutzungskonstellationen in Mehrpersonenhaushalten	105
Tabelle 49:	Upload und Dauer der Belegung von Übertragungskapazität (1,7 Mbps) – Berechnungen anhand typischer Anwendungsbeispiele	107
Tabelle 50:	Charakterisierung der Top-down-Methodik	112
Tabelle 51:	MOS-Bewertungsschema nach ITU-T P.800.2	120
Tabelle 52:	Bottom-up- und Top-down-Ansatz – Methodenvergleich	137
Tabelle 53:	Webseitenaufruf und parallele Videokonferenzen oder Videostreaming – Gegenüberstellung der Bottom-up- und Top-down-Ergebnisse	140
Tabelle 54:	Webseitenaufruf und parallele Webseitenaufrufe oder Downloads – Gegenüberstellung der Bottom-up- und Top-down-Ergebnisse	141

Abkürzungsverzeichnis

ACK	Acknowledgement
ARD	Arbeitsgemeinschaft der öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalten der Bundesrepublik Deutschland
AVC	Advanced Video Coding
BEREC	Body of European Regulators for Electronic Communications
BITV	Barrierefreie Informationstechnik Verordnung
BoR	Board of Regulators
BR	Bayerischer Rundfunk
bspw.	Beispielsweise
CAD	Computer-Aided-Design
CBR	Constant Bit Rate
CD	Compact Disc
CMS	Content-Management-System
CPE	Customer Premises Equipment
CRM	Customer relationship management
DNS	Domain Name System
D.h.	Das heisst
DOI	Digital Object Identifier
DSGVO	Datenschutz-Grundverordnung
DSL	Digital Subscriber Line
EKEK	Europäischer Kodex für die elektronische Kommunikation
ERP	Enterprise Resource Planning
EstG	Einkommenssteuergesetz
etc.	et cetera
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
EU	Europäische Union
e.V.	eingetragener Verein
FAQ	Frequently Asked Questions
ggf.	gegebenenfalls
ggü.	gegenüber

GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
HD	High Definition
Hi-Fi	High Fidelity
HTML	Hypertext Markup Language
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
i.d.	in den
i.d.R.	in der Regel
IFB	Institut für Freie Berufe
IKT	Informations- und Kommunikationstechnik
Inkl.	Inklusive
IP	Internet Protocol
ISO	International Organization for Standardization
IT	Informationstechnik
ITU	International Telecommunication Union
KB	Kilo Byte
Kfz	Kraftfahrzeug
KMK	Kultusminister Konferenz
max.	maximal
MB	Megabyte
Mbps	Megabit per second
Mio.	Million
MOS	Mean Opinion Score
MS	Microsoft
ms	Millisekunde
NGN	Next Generation Network
Nr.	Nummer
OZG	Onlinezugangsgesetz
PartGG	Partnerschaftsgesellschaftsgesetz
PC	Personal Computer
PDF	Portable Document Format
PSTN	Public Switched Telephone Network

QoE	Quality of Experience
QoS	Quality of Service
QUIK	Quick UDP Internet Connections
RDP	Remote Desktop Protocol
RKI	Robert Koch Institut
SaaS	Software as a Service
SD	Standard-Definition (Standardqualität)
SEO	Search-Engine-Automation
SGB	Sozialgesetzbuch
Sog.	Sogenannte
SWR	Südwestrundfunk
TCP	Transmission Control Protocol
TKG	Telekommunikationsgesetz
TKMV	Telekommunikationsmindestversorgungsverordnung
Tsd.	Tausend
TUM	Technische Universität München
TV	Television
u.a.	unter anderem
UDP	User Datagram Protocol
ULR	Uniform Resource Locator
USO	Universal Service Obligation
VBR	Variable Bit Rate
VPN	Virtual private Network
VuMA	Verbrauchs- und Medienanalyse
WDR	Westdeutscher Rundfunk
WLAN	Wireless Local Access Network
z.B.	zum Beispiel
ZDF	Zweites Deutsches Fernsehen
z.T.	zum Teil

Executive Summary

Dieses Gutachten steht im Kontext der von der Bundesnetzagentur (BNetzA) vorzunehmenden Evaluation der im Juni 2022 in Kraft getretenen [Telekommunikationsmindestversorgungsverordnung \(TKMV\)](#). Es umfasst zum einen die Aktualisierung des [wik-zafaco-Gutachtens 2021](#) hinsichtlich der technischen Mindestanforderungen an einen Internetzugangsdienst im Rahmen der Grundversorgung. Zum anderen analysiert es die Anforderungen eines Internetzugangsdienst in Mehrpersonenhaushalten, wenn mehrere Haushaltmitglieder parallel den gemeinsamen Internetzugang nutzen.

In diesem Gutachten wurde eine Aktualisierung von meistgenutzten Produkten vorgenommen und deren Anforderungen an die Datenübertragungsrate ermittelt. Dabei wurde festgestellt, dass Niveau und Spannbreite der Messergebnisse gegenüber der Untersuchung im Jahr 2021 weitestgehend stabil geblieben sind, obwohl sich die Produkte, der Aufbau der Webseiten und natürlich auch deren Inhalte verändert haben. Die höchsten Anforderungen an den Download entstehen bei den webbasierten Diensten. Die Anwendung Facebook ist zum Zeitpunkt der Erhebung mit 7,4 Mbps der anspruchsvollste Dienst, jedoch gegenüber der Erhebung aus dem Jahr 2021 um 0,3 Mbps geringer als der seinerzeit anspruchsvollste Dienst „Ebay-Kleinanzeigen“. Der Upload wird unverändert durch den Dienst Dateitransfer mit 1,3 Mbps bestimmt.

Mehrpersonenhaushalte

Ausgangspunkt für die Untersuchung der Anforderungen von Mehrpersonenhaushalten und die parallele Nutzung von Diensten war die im politischen Prozess der Verordnungsgebung (TKMV) vorgetragene Frage, in welchem Umfang die in der TKMV 2022 festgelegten Mindestanforderungen an den Download (10 Mbps) und Upload (1,7 Mbps) zu erhöhen seien, um dem Mehrbedarf an Bandbreite aus der parallelen Nutzung von Diensten in Mehrpersonenhaushalten Rechnung tragen zu können.

Dazu wurde in der vorliegenden Untersuchung in einem ersten Schritt herausgearbeitet, welche Aspekte von Bedeutung sind, wenn für eine parallele Nutzung eines gemeinsamen Internetzugangs von mehreren Haushaltsmitgliedern die dafür benötigte Datenübertragungsrate ermittelt werden soll. Anhand der Dimensionen „WER und wieviele Personen?“, „WAS für Produkte?“ und „WANN nutzen diese Personen gleichzeitig?“ wurde aufgezeigt, wie vielfältig und unterschiedlich anspruchsvoll die Konstellationen in Bezug auf die Datenübertragungsrate sein können. Mit der Zielsetzung, eine Datenübertragungsrate zu ermitteln, die es jedem parallel nutzenden Haushaltsmitglied ermöglicht, seinen Dienst mit der vom Ordnungsgeber intendierten Nutzerzufriedenheit zu realisieren, wurde zunächst eine Addition der im ersten Teil des Gutachtens ermittelten dienstspezifischen Datenübertragungsraten vorgenommen (statische Betrachtung, auch als Bottom-up-Methode bezeichnet). Ausgangshypothese ist, dass mit jedem zusätzlichen Parallelnutzer zusätzliche Anforderungen an die Datenübertragungsrate entstehen und diese insgesamt ansteigt. Die Anzahl der Personen und die Annahmen über die von

ihnen parallel genutzten Dienste sowie ihr Bedarf an Datenübertragungsrate bestimmen dabei maßgeblich das Ergebnis, wieviel Mbps für Down- und Upload als erforderlich angesehen werden. Untersucht wurden Parallelnutzungsszenarien des privaten wie beruflichen Alltags. Die Nutzung des Internetzugangs von Freiberuflern und Selbständigen wurde dabei in den Kontext der Teleheimarbeit unter Beachtung von Verschlüsselungsverfahren eingeordnet. Der gewählte Berechnungsansatz ist eine starke Vereinfachung der Realität und ist in den meisten Fällen eine konservative Abschätzung nach oben, denn er betrachtet stets eine exakt gleichzeitige Nutzung der Anschlussleitung und lässt durch den Nutzer verursachte zeitversetzte Nutzungsszenarien sowie protokolltechnische Anpassungsmechanismen außer Acht.

Unter Berücksichtigung dieser Aspekte werden daher weitere Bestimmungsfaktoren herausgearbeitet:

- Die Nutzung von Diensten aus Perspektive des Nutzers geht nicht durchgängig mit einer Inanspruchnahme der Übertragungskapazität des Internetzugangs einher. Für den Aufruf von Webseiten gilt typischerweise, dass der Zeitraum, in dem sich der Nutzer mit den Inhalten befasst, deutlich größer ist als die für das Laden der Inhalte benötigte Zeit.
- Die protokolltechnischen Mechanismen des Best-Effort-Internet sind darauf ausgelegt, einzelne Dienste nicht zu priorisieren und ein paralleles Funktionieren zu ermöglichen. Dabei versuchen die Anwendungen, die verfügbaren Kapazitäten auf der Anschlussleitung bis zur Kapazitätsgrenze auszuschöpfen, um jeweils eine bestmögliche Qualität zu erzielen. Stoßen sie an die Kapazitätsgrenzen, reduzieren sie ihre Datenübertragungsrate wieder; mit anderen Worten: die Datenrate der Anwendungen ist nicht über die Zeit stabil und parallel genutzte Anwendungen erhöhen die Volatilität.
- Videostreaming, Videokonferenzen und auch andere Dienste mit kontinuierlichen Datenströmen werden protokolltechnisch so implementiert, dass auch sie in der Lage sind, auf Veränderungen der für sie zur Verfügung stehenden Kapazität zu reagieren und den à priori kontinuierlichen Datenstrom in seiner Größe an die noch verfügbare Kapazität anzupassen. Dabei sind protokolltechnische Mechanismen der Anwendungen in der Lage, die Beeinträchtigung der verfügbaren Übertragungskapazität innerhalb gewisser Grenzen auszugleichen und darüber hinaus eine Nutzbarkeit der Dienste zu ermöglichen.

Diese dynamischen Aspekte sowohl aus der Perspektive der parallelen Nutzung als auch der adaptiven Mechanismen von Anwendungen und der Effekte des Best-Effort-Internet können durch den statischen, dienstebezogenen Berechnungsansatz nicht geeignet abgebildet werden.

Um eine Bewertung der in der TKMV verankerten Datenübertragungsraten für den Parallelnutzungsfall im Mehrpersonenhaushalt unter Berücksichtigung der dynamischen

Veränderung der Datenübertragungsrate je Dienst zu evaluieren, wurde als zweites ein messtechnischer Ansatz verwendet (Top-down-Methode). Dieser zielt darauf ab, die Nutzererfahrung und das Funktionieren der Dienste **bei vorgegebener Anschlussgeschwindigkeit** zu erheben.

Hierzu wurden Parallelnutzungskonstellationen an einem Internetzugang mit den Leistungsmerkmalen gemäß der Mindestversorgung gemessen (Download 10 Mbps / Upload 1,7 Mbps). Über fünf parallel betriebene Messgeräte (Computer), die bis zu fünf parallele Nutzer simulieren, wurden Qualitätsparameter in Form von netztechnischen Parametern [Quality of Service, QoS] und Messungen der subjektiv wahrgenommene Qualität [Quality of Experience, QoE] erhoben. Diese Metriken dienen der Beurteilung der subjektiven Nutzererfahrungen. Ebenso wurde das technische Funktionieren der gemessenen Anwendungen überwacht.

Bei den durchgeführten Messungen konnte gezeigt werden, dass einzelne Dienste, wie beispielweise datenintensive Webseiten, zwar durch die Dienste parallele Videokonferenzen, Webseitenaufrufe, Videostreams oder Downloads verzögert werden, hierbei aber die angestrebte Nutzerzufriedenheit häufig nicht oder nur leicht verschlechtert wird; ein Funktionieren der Dienste ist in diesen Fällen gegeben.

Dass es dennoch Situationen gibt, bei denen eine Parallelnutzung Verkehrslastsituationen erzeugen und den Dienst stören kann, wurde mit Hilfe simulierter Szenarien mit starker Verkehrslast im Upload gezeigt. Im Fall von Videokonferenzen, insbesondere bei der Videoübertragung, kam es hier zu einer nachhaltigen Beeinträchtigung der Nutzererfahrung und somit zu einer reduzierten Qualität des Dienstes. Die Audioübertragung funktionierte in all diesen Fällen mit guter Qualität. Auch datenintensive Webseitenaufrufe wurden durch die Szenarien mit starken Upload-Störungen beeinträchtigt. Hier verzögerte sich die Darstellung der Webseite für den Nutzer relevant. -Ein Vergleich der Messergebnisse mit den im ersten Ansatz berechneten Anforderungen an die Datenübertragungsrate hat gezeigt, dass der Berechnungsansatz für Szenarien mit starker Verkehrslast im Upload mit einer Unterschätzung der Datenübertragungsrate einhergehen.

Messungen mit schnelleren Internetzugängen – bis zu 20 Mbps im Down- und 5,1 Mbps im Upload – konnten zeigen, dass der Einfluss der Störung mit steigender Datenübertragungsrate in dem betrachteten Bereich zurückgeht.

Abschließende Evaluierung

Auf Basis der durchgeführten Analysen kommt das Gutachten zu der Schlussfolgerung, dass die in der TKMV festgelegten Anforderungen an die Datenübertragungsrate den heutigen Anforderungen einer Parallelnutzung von Mehrpersonenhaushalten durch funktionierende Dienste Rechnung tragen. Sie gehen mit einer im Alltag guten, wenn auch ggü. der Situation ohne Parallelnutzung zum Teil reduzierten Qualität einher. Den Messergebnissen, bei denen die angestrebte Nutzerzufriedenheit nicht erreicht werden

konnte, liegen Szenarien zugrunde, die mit einer für den Alltag selten auftretenden oder zumindest planbaren Belastung des Upload einhergehen. In diesen Szenarien waren die betrachteten Dienste zum Teil deutlich in ihrer Qualität und somit in der Nutzung reduziert, bzw. eingeschränkt.

Die bereits im wik-zafaco-Gutachten 2021 angewendete statische Methodik (Bottom-up-Ansatz) sehen wir weiterhin als geeignet an, um auf Basis der Eigenschaft der Dienste der Grundversorgung Mindestanforderungen an die Datenübertragungsrate abzuleiten. Der Ansatz erfordert die Vorgabe der zu erreichenden Dienstqualität und abstrahiert von qualitätseinschränkender Verkehrslast ebenso wie von den protokolltechnischen Mechanismen auf Transport- und Anwendungsschicht des IP-Best-Effort-Netzes. Letztere führen dazu, dass sich die Datenraten der Anwendungen an die zur Verfügung stehenden Kapazitäten anpassen. Im Rahmen der Messung unter Einsatz von Verfahren zur Ermittlung der Nutzerzufriedenheit konnte gezeigt werden, dass diese nicht allein von der Einhaltung der statisch ermittelten, dienstspezifischen Datenübertragungsrate abhängt, sondern dass protokolltechnische Mechanismen der Anwendungen in der Lage sind, die Beeinträchtigung der verfügbaren Übertragungskapazität innerhalb gewisser Grenzen auszugleichen. Diese Zusammenhänge erklären die zunächst kontraintuitiven Ergebnisse, dass in den meisten gemessenen Parallelnutzungsszenarien – selbst mit fünf Parallelnutzern – bei den aktuellen Mindestanforderungen der TKMV Ergebnisse mit hoher Nutzerzufriedenheit erfasst werden konnten.

Wie erwartet dokumentieren die Messergebnisse, dass mit einer Erhöhung der Datenübertragungsraten im Down- und Upstream die Nutzererfahrung verbessert werden kann. Insbesondere eine Erhöhung der Upload-Geschwindigkeit führt zu einer Verbesserung der Nutzererfahrung in den analysierten Upload-Fällen mit besonderer Verkehrslast.

Welches Maß an Nutzerzufriedenheit über das Niveau der dienstspezifischen Anforderungen hinaus zugestanden und in der TKMV verankert werden kann, ist vom Verordnungsgeber unter Berücksichtigung der sonstigen Kriterien des § 157, Absatz 3 Satz 3 TKG zu entscheiden, die diese ggf. in ihrer Höhe beschränken.

1 Hintergrund und Zielsetzung

1.1 Hintergrund

Gemäß § 157 TKG ist die Bundesnetzagentur dazu verpflichtet, die Verfügbarkeit des Mindestangebots für den Internetzugangsdienst in regelmäßigen Abständen zu überwachen (§ 157 Absatz 1 TKG) sowie die in der TKMV festgelegten technischen Mindestanforderungen jährlich zu überprüfen (§ 157 Absatz 4 TKG).

Vor diesem Hintergrund möchte sich die Bundesnetzagentur eine wissenschaftlich fundierte Informationsbasis schaffen, um im Rahmen ihrer Überprüfung der technischen Mindestanforderungen gemäß § 157 Absatz 4 TKG zu evaluieren, ob die bestehenden Werte 10 Mbps im Download, 1,7 Mbps im Upload sowie einer Verzögerung von maximal 150 ms zu ändern sind. Ein weiterer Schwerpunkt dieses Gutachtens ist die Analyse der Leistungsanforderungen von Mehrpersonenhaushalten, wenn mehrere Haushaltmitglieder parallel den gemeinsamen Internetzugang nutzen sowie der besonderen Bedarfe von Freiberuflern und Selbständigen.¹

1.2 Untersuchungsgegenstand und Zielsetzung

1.2.1 Mindestens zu ermöglichende Dienste des Internetzugangs

Untersuchungsgegenstand dieses Gutachtens sind die in EKEK² Artikel 84 sowie TKG § 157 (3) Satz 3 festgelegten Dienste, welche den Endnutzern mit dem Internetzugangsdienst stets mindestens ermöglicht werden sollen.³ Dabei wurden die vorgegebenen Dienste nach Maßgabe einer sozialen und wirtschaftlichen Teilhabe festgelegt.⁴

-
- ¹ Drucksache 227/22 (Beschluss), Beschluss des Bundesrates, Verordnung über die Mindestanforderungen für das Recht auf Versorgung mit Telekommunikationsdiensten (TK-Mindestversorgungsverordnung - TKMV) 10.06.2022, S. 2 Ebenfalls sollen in diesem Gutachten die Bedarfe von Menschen mit Behinderung berücksichtigt werden.
 - ² EU-Richtlinie 2018/1972 EKEK (2018).
 - ³ Zur Abgrenzung der im Gesetz genannten Dienstekategorien und ihrer rechtlichen Bewertung siehe Bundestagsdrucksache 19/28865, Seite 404.
 - ⁴ Die konkrete Umsetzung obliegt den Mitgliedstaaten, damit diese unter Berücksichtigung der jeweiligen nationalen Gegebenheiten Festlegungen treffen können, die ein geeignetes Maß an sozialer Inklusion und Teilhabe an der digitalen Wirtschaft und Gesellschaft in dem jeweiligen Hoheitsgebiet ermöglichen. Siehe EU-Richtlinie 2018/1972 EKEK (2018), Artikel 84 (3) sowie Erwägungsgrund (215); die Festlegungen sollen sich nach einem geeigneten Maß an sozialer Inklusion und Teilhabe an der digitalen Wirtschaft und Gesellschaft in dem jeweiligen Hoheitsgebiet richten.

1. Anhang V-Dienste

- (1) E-Mail
- (2) Suchmaschinen
- (3) Online-Werkzeuge für die Aus- und Weiterbildung
- (4) Online-Zeitungen oder Online-Nachrichten
- (5) Online-Einkauf oder Online-Bestellung
- (6) Arbeitssuche und Werkzeuge für die Arbeitssuche
- (7) berufliche Vernetzung
- (8) Online-Banking
- (9) Nutzung elektronischer Behördendienste
- (10) soziale Medien und Sofortnachrichtenübermittlung
- (11) Anrufe und Videoanrufe (Standardqualität)

2. Teleheimarbeit inkl. Verschlüsselungsverfahren im üblichen Umfang

3. Marktübliche Nutzung von Online-Inhaltediensten

Anforderungen von Selbständigen und Freiberuflern werden im Kontext von Diensten der Teleheimarbeit adressiert.

1.2.2 Parallelnutzungsszenarien von Mehrpersonenhaushalten

Darüber hinaus wird neben der Überprüfung der bereits in der TKMV festgelegten Werte untersucht, wie sich Parallelnutzung auf die Anforderungen des Internetzugangsdienstes auswirkt. Der Leistungsbeschreibung der Bundesnetzagentur für dieses Gutachten folgend werden in diese Analyse die nachfolgenden Haushaltskonstellationen einbezogen:

- 1 Erwachsener
- 2 Erwachsene
- 2 Erwachsene, 1 schulpflichtiges Kind
- 2 Erwachsene, 2 schulpflichtige Kinder
- 2 Erwachsene, 3 schulpflichtige Kinder

Bei der Formulierung von Parallelnutzungsszenarien im Mehrpersonenhaushaltsfall soll auf im Alltag relevante Konstellationen abgestellt werden.

1.2.3 Zielsetzung

Ziel dieses Gutachtens ist die Aktualisierung der technischen, dienstbezogenen Mindestanforderung des Internetzugangsdienst gemäß § 157 Absatz 3 Satz 3 TKG sowie die Analyse des Einflusses von Parallelnutzungsszenarien auf den Internetzugangsdienst.

Gemäß TKG § 157 Absatz 3 Satz 2 sind bei Festlegung der Mindestanforderung nicht nur technische, sondern auch weitere Kriterien zu berücksichtigen. Hierbei handelt es sich konkret um die von mindestens 80% der Verbraucher genutzte Mindestbandbreite („Mehrheitskriterium“) sowie die Auswirkungen auf die Anreize zum privatwirtschaftlichen Breitbandausbau und zu Breitbandfördermaßnahmen. Diese weiteren – nicht technischen – Kriterien sind nicht Gegenstand dieses Gutachtens und finden hier keinen Eingang.

1.3 Methodische Vorgehensweise

Das Gutachten ist wie folgt aufgebaut:

Die Aktualisierung der im wik-zafaco-Gutachten 2021 durchgeführten Recherche und Ermittlung von dienstebezogenen Mindestanforderungen erfolgt in den Kapiteln 2 und 3. Die Anforderungen von Freiberuflern und Selbständigen werden dabei im Kontext der Teleheimarbeit bearbeitet. Darüber hinaus sind die Rechercheergebnisse zur Teleheimarbeit sowie deren Bedeutung für Freiberufler und Selbständige in Anhang 1 dieses Gutachtens dokumentiert. Methodische Aspekte der Quantifizierung und die Ergebnisse zu den dienstespezifischen Anforderungen an die Datenübertragungsraten in Down- und Upstream sind in Kapitel 3 ausgearbeitet. Ergebnisse der Einzelmessungen der Top-Produkte sowie vergleichende Ergebnisübersichten finden sich ergänzend in Anhang 1 und Anhang 2.

In den Kapiteln 4 bis 6 findet sich die Analyse der Anforderungen einer Parallelnutzung von Internetdiensten in Mehrpersonenhaushalten. In Kapitel 4 wird die Aufgabenstellung konkretisiert. Es werden methodische Überlegungen angestellt, die auf die in Kapitel 5 und Kapitel 6 durchgeführten Berechnungen zur Bestimmung der Datenübertragungsraten im Parallelnutzungsfall (Bottom-up-Ansatz, Kapitel 5) bzw. Messungen der in den gemessenen Nutzungsszenarien erreichten Nutzererfahrung (Top-down-Ansatz, Kapitel 6) vorbereiten. Den Messszenarien, die den Aufruf von Webseiten zum Gegenstand haben, liegt die Anwendung eines Simulationsmodells zugrunde, welches die Dauer der Dienstenutzung und die Zufälligkeit von zeitgleichen Abrufen bestimmt. Die diesem Modell zugrundeliegende Methodik und getroffene Annahmen sind in Anhang 3 des Gutachtens dokumentiert. Details zur Umsetzung der Top-down-Messungen, insbesondere zur Messumgebung, finden sich in Anhang 4 dieses Gutachtens. In Kapitel 7 werden die Ergebnisse der beiden methodischen Ansätze miteinander verglichen und evaluiert.

Kapitel 8 fasst die Ergebnisse des Gutachtens zusammen.

2 Identifizierung relevantester Nutzungsformen und Produkte

Die gemäß § 157 TKG zu untersuchenden Dienste haben eine zweckorientierte Abgrenzung. Sie werden als Online-Werkzeuge beschrieben, mit denen die „soziale und wirtschaftliche Teilhabe“ ermöglicht werden soll.⁵ Ziel dieses Abschnitts ist es, für die vorgegebenen Dienste konkrete Online-Anwendungen bzw. Webseiten (Produkte) zu identifizieren, die von der Mehrheit der Bevölkerung genutzt werden. Diese konkreten Produkte werden dann im weiteren Verlauf des Gutachtens für die Quantifizierung von dienstebezogenen, technischen Mindestanforderungen herangezogen.

2.1 Anhang V-Dienste

2.1.1 Methodische Vorgehensweise

Eine erste zweckbezogene Analyse von Diensten im Kontext der Mindestversorgung mit Internetzugangsdiensten wurde in der EU-Studie von KOM (2016) „Review of the scope of Universal Service“ durchgeführt. Diese bildete den Aufsattpunkt für das wik-zafaco-Gutachten 2021.⁶ Die seinerzeit gewählte methodische Vorgehensweise findet auch wieder in diesem Gutachten Anwendung. Zunächst werden abstrakte, zweckbezogene Dienste in konkrete, repräsentative und marktübliche Produkte überführt. 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.
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.⁷

2.1.1.1 Konkretisierung der Dienste gemäß § 157 TKG (3)

Zunächst haben wir die gemäß § 157 TKG vorgegebenen Dienste in genauere Unterkategorien untergliedert.⁸ Dabei werden Dienste in Unterkategorien voneinander abgegrenzt, für die verwertbare Statistiken verfügbar sind (siehe Abbildung 1). Die verwendeten Unterkategorien wurden aus dem wik-zafaco Gutachten 2021 „Mindestanforderungen

⁵ Siehe § 157 Absatz 2 TKG.

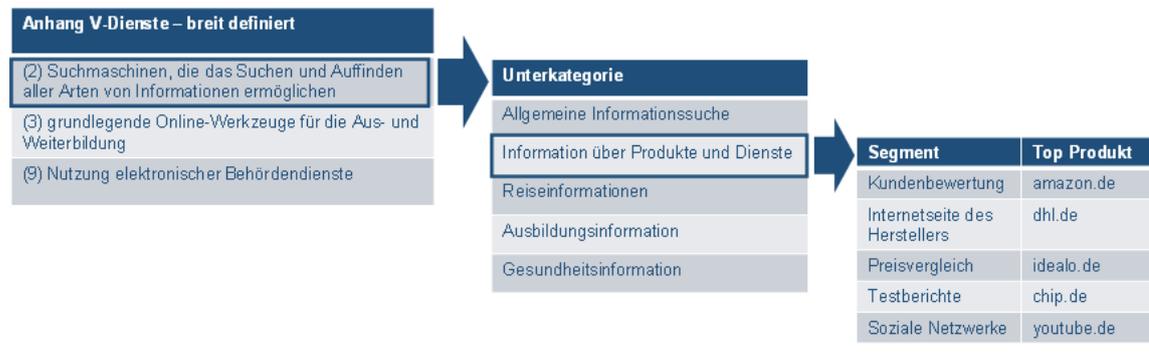
⁶ wik-zafaco-Gutachten (2021). In diesem Gutachten wird diese Identifikationsmethodik fortgeschrieben und eine aktualisierte Bestandsaufnahme der relevantesten Produkte und deren Anwendungsformen vorgenommen.

⁷ wik-zafaco-Gutachten (2021), Mindestanforderungen Internetzugangsdienst.

⁸ Siehe wik-zafaco-Gutachten (2021), Tabelle 2-1: Unterkategorien der Anhang V-Dienste im Vergleich: USO EU-Studie 2016 und Statistisches Bundesamt.

Internetzugangsdienst“ übernommen, die seinerzeit in Anlehnung an die EU-Studie (2016)⁹ und die Dienstekategorisierung des Statistischen Bundesamtes herangezogen wurden.

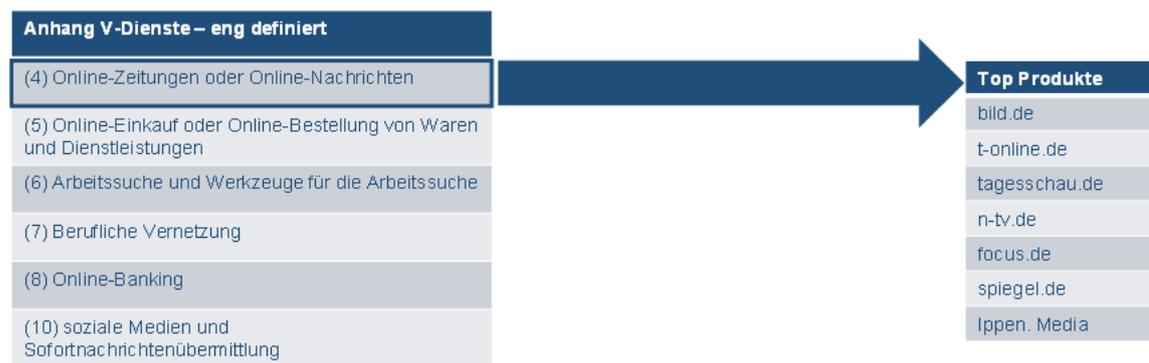
Abbildung 1: Konkretisierung von breit definierten Diensten – Beispieldarstellung



Quelle: wik

Auf Basis der gebildeten Unterkategorien ist es möglich, konkrete Produkte zu identifizieren, vor allem für diejenigen Dienste, die eng definiert sind (siehe Abbildung 2). Für einige sehr breit definierte Dienste (wie z.B.¹⁰ (2) „Suchmaschinen, die das Suchen und Auffinden aller Arten von Informationen ermöglichen“; (3) „Online-Werkzeuge für die Aus- und Weiterbildung“ und (9) „Nutzung elektronischer Behördendienste“) war ein Rückgriff auf spezialisierte Studien erforderlich, um die Dienste durch ein mehrstufiges Verfahren konkretisieren zu können (siehe Abbildung 1).

Abbildung 2: Konkretisierung von eng definierten Diensten – Beispieldarstellung



Quelle: wik

Auf Basis der berücksichtigten Unterkategorien wurden in einem weiteren Schritt Top-Produkte und ihre relevantesten Nutzungsformen für jeden Dienst identifiziert. Bei den Top-Produkten handelt es sich somit um konkrete Webseiten, die von der Mehrheit der

⁹ EU (2016).

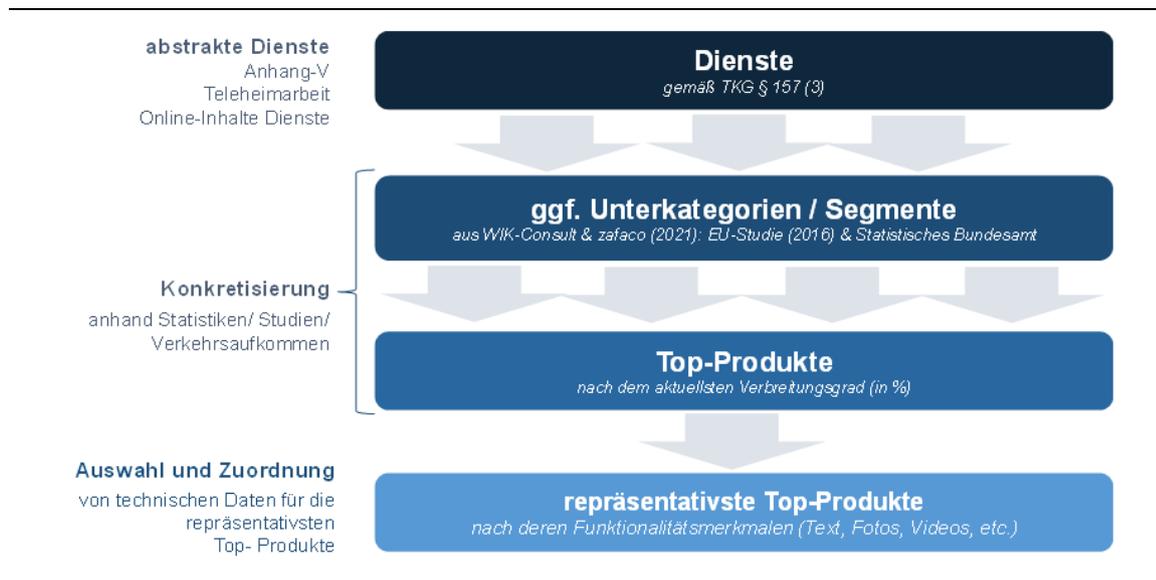
¹⁰ Die Nummerierung der zu ermöglichenden Dienste ist in Abschnitt 1.2.1 dargestellt.

Internetnutzer in Deutschland verwendet werden.¹¹ Sie werden stellvertretend für die durch die Grundversorgung zu ermöglichenden Online-Dienste betrachtet. Zur Identifikation der Top-Produkte wurden Statistiken, Web-Analytics/Verkehrsaufkommen oder Studien als Datenquellen (siehe Abschnitt 2.1.2) herangezogen.

Für die Stichprobe der Top-Produkte, welche als Datenbasis zur Quantifizierung der technischen Mindestanforderungen herangezogen werden soll, werden aus den konkretisierten Top-Produkten diejenigen ausgewählt, die unter Berücksichtigung von Funktionalitätsmerkmalen (Text, Bilder, Video, Audio, Livestreaming, etc.) hinreichend repräsentativ und unterschiedlich sind. 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.^{12 13}

Die untenstehende Abbildung fasst die Schritte zur Überführung und damit Konkretisierung der Dienste gemäß § 157 Absatz 3 TKG in messbare repräsentative markübliche Produkte zusammen.

Abbildung 3: Methodische Vorgehensweise zur Identifizierung repräsentativer Produkte und Nutzungsformen



Quelle: wik

¹¹ Mit dem Begriff „Top“ wird nicht auf die Qualität des Produktes abgestellt.
¹² Siehe die Auswahlkriterien im Abschnitt 2.2.3 in wik-zafaco-Gutachten (2021).
¹³ Unser Ansatz stützt sich auf die Hypothese, dass anhand der Funktionsmerkmale erste Hinweise auf die Größe der Datenvolumina und auch die QoS-Anforderungen für eine grobe Einordnung abgeleitet werden können.

2.1.1.2 Aktualisierung der Datenbasis und verwendete Datenquellen

Für die Identifikation oder Validierung von Top-Produkten werden globale, nicht-branchenspezifische, klick-basierte Rankings bzw. Verkehrsaufkommen herangezogen (z.B. von den Top 50 meistbesuchten Webseiten in Deutschland). Es bedarf jedoch aus folgenden Überlegungen weiterer Quellen: Web-Analytics weisen in verschiedenen Fällen keine Vertreter für die jeweiligen zu untersuchenden Anhang V-Dienste auf (z.B. Webseiten zur Nutzung von elektronischen Behördendiensten).¹⁴ Auch könnte ein ausschließliches Abstützen auf Web-Analytics ein nicht-vollständiges oder ggf. verzerrtes Bild der Branche liefern.¹⁵ Aus diesen Gründen wird für die Identifikation der Top-Produkte – wie bereits im wik-zafaco Gutachten 2021 – auch auf branchenspezifische Rankings zurückgegriffen. Es werden somit in einer ersten Prüfinstanz branchenspezifische Umfragen, Studien, Statistiken oder sonstige Fachquellen verwendet. In einer zweiten Prüfinstanz werden die Ergebnisse der branchenspezifischen Fachquellen durch branchenspezifische webbasierte Verkehrsaufkommen von Similarweb (Web-Analytics) validiert. Da sich nicht für jede Dienstekategorie (aktualisierte) branchenspezifische Fachquellen finden lassen (erste Prüfinstanz), werden die Top-Produkte von dieser Dienstekategorie lediglich auf Basis von branchenspezifischen Web-Analytics identifiziert.^{16 17}

Die nachfolgende Auflistung gibt einen Überblick über Quellen, mit denen die Recherche und Auswertung zur Bestimmung der Top-Produkte durchgeführt wurde:

- Similarweb.com
- Datenplattformen (u.a. Statista)
- Veröffentlichungen von Forschungsinstituten
- Zeitschriften
- Veröffentlichungen von Stiftungen

Einige Quellen wie Similarweb und Statista nehmen eine regelmäßige Aktualisierung ihres webbasierten Verkehrsaufkommens bzw. der umfragebasierten Statistiken vor. Daher werden sie in diesem Gutachten mit einem Zeitbezug dargestellt.

¹⁴ Dies liegt zum Teil an verteilten Anbieterstrukturen, wie bspw. im Fall von lokalen, elektronischen Behördendiensten. Zum anderen spielt bei den klick-basierten Statistiken die Häufigkeit der Nutzung der Online-Dienste eine wesentliche Rolle (z.B. Nutzung von Behördendiensten zur Beantragung von Arbeitslosengeld wird von der Bevölkerung weniger häufig genutzt als Online-Zeitungen). Dienste, die für die soziale und wirtschaftliche Teilhabe relevant sind, können aus diesem Grund in reinen klick-basierten globalen anstatt branchenspezifischen Rankings verschwinden.

¹⁵ Für die vollständige Beschreibung dieser Problematik siehe wik-zafaco-Gutachten (2021), Abschnitt 2.2.2.

¹⁶ Alexa ist seit 01.05.2022 nicht mehr verfügbar.

¹⁷ 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.

2.1.1.3 Herausforderungen bzgl. Datenlage und Lösungsansätze

Umfragen, Studien und Fachquellen stützen sich in der Regel auf unterschiedliche Datenerhebungsmethoden ab. Diese können, ebenso wie auch der Zeitpunkt bzw. Zeitraum der Datenerhebung, einen Einfluss auf die identifizierten Produkte haben.

Bei der für dieses Gutachten vorgenommenen Identifizierung der Top-Produkte wurde auf die im ersten wik-zafaco-Gutachten 2021 verwendeten Datenquellen abgestellt. Damit soll dafür Sorge getragen werden, dass eine Änderung der identifizierten Top-Produkte im Zeitverlauf nicht durch eine Änderung der Datenerhebungsmethodik getrieben ist.

Allerdings werden einige im ersten wik-zafaco-Gutachten 2021 verwendeten Datenquellen nicht jährlich aktualisiert. In der nachfolgenden Tabelle 1 haben wir dargestellt, aufgrund welcher Befunde bzw. Zusammenhänge eine Aktualisierung nach Maßgabe der in 2021 angewendeten Methodik oder Quellen nicht möglich war und welche Lösungsansätze gefunden werden konnten.

Tabelle 1: Aktualisierung der Datenbasis: Herausforderungen und Lösungsansätze

	Herausforderungen	Lösungsansätze
Für die Aktualisierung von Unterkategorien und Segmenten	Änderung der Methodik in der Datenerhebung im Zeitverlauf: Destatis hat ab 2021 die Datenerhebung vereinfacht, somit reduziert sich die Anzahl der Dienstkategorien („Internetaktivitäten“) von 28 auf 6.	Fortschreibung der bisherigen Quelle/Studien für die Festlegung der Unterkategorien
	Fehlende jährliche Aktualisierung der Fachquelle/ Studie (z.B. Monitor Digitale Bildung)	Fortschreibung der bisherigen Quelle/Studien für die Festlegung des Segments
Für die Identifikation von Top-Produkten	Fehlende jährliche Aktualisierung der Umfrage/ Statistik	Abstellung auf alternative Quelle für die Aktualisierung der Top-Produkte
	Absetzung von einigen Web-Analytics (z.B. Alexa)	Nutzung von Rankings zu Verkehrsaufkommen aus Web-Analytics (Similarweb)
Für die Validierung von Datenquellen	Abweichungen der Top-Produkte zwischen verschiedenen Quellen (z.B. Unterschiede in der Methodik oder Zeitpunkt der Datenerhebung, etc.)	Einbezug von zusätzlichen Quellen für die Validierung der verwendeten Quelle
Für die Analyse der Freiberufler und Selbständigen	mangelnde bzw. nicht hinreichend disaggregierte Daten für gesonderte Analysen für Freiberufler und Selbständige	Mapping von Beispielhaften Diensten von Freiberuflern und Selbständigen auf Dienste der Teleheimarbeit

Quelle: wik

2.1.2 Top Anwendungen und repräsentativste Produkte

2.1.2.1 E-Mail

Bei der aktualisierten Umfrage von Statista / Convios Consulting für das Jahr 2022¹⁸ zeichnen sich 1) Web.de, 2) GMX und 3) Gmail als die Top 3 E-Mail-Anbieter aus. Das Ergebnis dieser Umfrage ist konsistent mit dem klick-basiert gemessenen Verkehrsaufkommen (Top 5 Branche Rang und Top 50 allgemeinen Rang) von Similarweb (Stand: 03.03.2023). Abgesehen von kleinen Verschiebungen innerhalb des Rankings bleibt die Identifikation der Top 3 E-Mail-Produkte gegenüber dem ersten wik-zafaco-Gutachten 2021 (auf Basis der 2020er Umfrage) unverändert.

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

Rang	Δ	Produktname	Nutzung [%]	Webseite des Produkts	Top 5 Branche Rang	Top 50 Allg. Rang	Echtzeit	Video	Audio	Bilder	Text	Upload	Werbung	Messung 2023
1	↑1	Web.de	26,4%	web.de	1	12	(X)	X	X	X	X	X		
2	↓1	GMX-Webmail	25,7%	www.gmx.net	2	17	(X)	X	X	X	X	X		
3	-	Gmail	15,4%	gmail.de	-	-					X	X		

Anmerkung: 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 Webseite zwar Anwendungen mit diesem Funktionsmerkmal vorliegen, dieses jedoch nicht häufig erscheint.

Quelle: wik – erstellt auf Basis von Statista / Convios Consulting (2022). <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/170371/umfrage/nutzung-von-e-mail-domains/> (zuletzt abgerufen: 25.08.2023).

Im Gegensatz zu Gmail werden auf den Startseiten von Web.de und GMX-Webmail neben dem E-Mail-Log-in-Feld vorwiegend Nachrichten und Werbung gezeigt. Auf diesen Seiten waren Web.de und GMX-Webmail zum Zeitpunkt der Untersuchung inhaltlich beinahe identisch. Die Dienste dieser beiden E-Mail-Anbieter werden vom 1&1 Mail & Media GmbH betrieben.¹⁹

Für die Zweckerfüllung des E-Mail-Dienstes ist jedoch nicht die Startseite der E-Mail-Anbieter, sondern die Ermöglichung des Empfangs und Versands von E-Mails maßgeblich. Im Gegensatz zu anderen Anhang V-Diensten hängt daher das beanspruchte Datenvolumen von E-Mails nicht unbedingt von der besuchten Webseite ab, sondern von Faktoren, die von Nutzer zu Nutzer variieren können, wie beispielsweise die (Text-)Länge der E-Mail oder die Größe des Anhangs. Diese sind maßgeblich, wenn anstelle des Browser-basierten Dienstes eine eigenständige Anwendung genutzt wird. Auf diese stellen wir wie bereits im ersten wik-zafaco-Gutachten 2021 ab und es werden die Datenvolumina

¹⁸ Statista / Convios Consulting (2022).

¹⁹ Quelle: <https://web.de/impressum/> und <https://www.gmx.net/impressum/>. Stand: 03.07.2023.

von E-Mail-Anwendungen über Datenabfragen bei Produkthanbietern ermittelt (siehe Abschnitt 3.3.3).

2.1.2.2 Suchmaschinen, die das Suchen und Auffinden aller Arten von Informationen ermöglichen

Die aktualisierte Onlinebefragung von Statista für Personen zwischen 18 und 64 Jahren hat weiterhin ergeben, dass Google bei 90% der Befragten die beliebteste Suchmaschine in Deutschland im Jahr 2022 ist (gefolgt von Bing und Yahoo).

Da zur Zweckerfüllung dieses Dienstes die Informationsgewinnung im Vordergrund steht, wird zusätzlich zu einer von einer Suchmaschine initiierten Suchanfrage auf fünf weitere Unterkategorien zur Konkretisierung der Informationssuche abgestellt, die für die soziale und wirtschaftliche Teilhabe relevant sind:²⁰

- Information über Produkte und Dienste
- Reiseinformationen
- Wetterinformationen
- Ausbildungsinformationen
- Gesundheitsinformationen

Die nachfolgende Tabelle zeigt die identifizierten Top-Produkte nach Unterkategorie.

20 Die Auswahl dieser Unterkategorien wurden aus dem wik-zafaco-Gutachten 2021 übernommen. Diese wurden seinerzeit auf Basis der EU-Studie und Dienstekategorisierung von Destatis festgelegt. Die Unterkategorie „Wetterinformationen“ war weder von der EU-Studie (2016) noch von Destatis (2020) als eine selbstständige Unterkategorie angesehen. Aufgrund der stabilen Relevanz von Webseiten mit Wetterinformationen in Deutschland (drei Webseiten mit Wetterinformationen sind in den Top-50 Ranking laut Similarweb) findet zusätzlich die Unterkategorie „Wetterinformationen“ Eingang in diese Studie.

Tabelle 3: Ranking und Funktionalitätsmerkmale von Top-Produkten zur Suchmaschine und Informationssuche

Rang	Δ	Produktname	Nutzung [%; #]	Webseite des Produkts	Top 5 Branche Rang	Top 50 Allg. Rang	Echtzeit	Video	Audio	Bilder	Text	Upload	Werbung	Messung 2023
Allgemeine Informationssuche														
1	-	Google	90%	www.google.de	1	1		X	X	X	X	X	X	X
2	-	Bing	17%	www.bing.com	>5	>50		X	X	X	X	X	X	
3	-	Yahoo	13%	de.yahoo.com	>5	34		X	X	X	X	X	X	
Information über Produkte und Dienste														
1	↑2	Bewertungen/ Kommentaren anderer Nutzer	54%	www.amazon.de	1	26	(X)			X	X	(X)	(X)	Dienst (5)
2	↑2	Internetseite des Herstellers/ Anbieters	44%	www.dhl.de	1	5				(X)	X			X
3	↓2	Preisvergleich	42%	www.idealo.de	1	33				X	X		X	X
4	↓2	Testberichte	32%	www.testberichte.de	-	>50				X	X		X	
5	-	Diskussionsforen/ Blogs/ Videoportale	17%	www.youtube.com	1	2	(X)	X			X	(X)	X	Online-Inhalte Dienste
Reiseinformationen														
1	-	Booking	-	www.booking.com	1	>50				X	X			X
2	-	Deutsche Bahn	-	www.bahn.de	2	>50				(X)	X	(X)		X
3	-	Tripadvisor	-	www.tripadvisor.com	3	>50				X	X		X	
Wetterinformationen														
1	-	wetteronline.de	-	www.wetteronline.de	1	40		X		X	X		X	X
2	-	wetter.com	-	www.wetter.com	2	44		X		X	X		X	
3	-	weather.com	-	www.weather.com	3	46		X		X	X		X	
Ausbildungsinformation														
1	-	Kursnet (Bundesagentur für Arbeit)	-	https://www.arbeitsagentur.de/kursnet	-	>50	(X)	(X)	(X)	X				X
2	-	Zentrale Studienberatung	-	verwaltung.uni-koeln.de	-	>50	(X)	(X)	(X)	X				
3	-	Digitale Bildungstheke	-	www.bildungstheke-essen.de	-	>50				(X)	X			
Gesundheitsinformation														
1	-	TK	10,9 Mio	www.tk.de	1	>50	(X)	(X)	(X)	X	X			X
2	-	BARMER	8,7 Mio	www.barmer.de	5	>50	(X)	(X)	(X)	X	X			
3	-	DAK Gesundheit	5,5 Mio	www.dak.de	>5	>50	(X)	(X)	(X)	X	X			

Quelle: wik – erstellt auf Basis von Statista (2022c), <https://de.statista.com/prognosen/999767/deutschland-beliebteste-suchmaschinen> (zuletzt abgerufen: 08.03.2023); Statista / Bitkom Research (2022), <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1319453/umfrage/umfrage-zu-kommunikationskanaelen-von-unternehmen/> (zuletzt abgerufen: 24.07.2023).; Similarweb (2023), nach Branche / Kategorie 1) Preisvergleich: <https://www.similarweb.com/de/top-websites/germany/e-commerce-and-shopping/price-comparison/> (zuletzt abgerufen: 03.03.2023); 2) Internetseite des Herstellers/Anbieters: <https://www.similarweb.com/de/top-websites/germany/business-and-consumer-services/business-and-consumer-services/> (zuletzt abgerufen: 03.03.2023); 3) Reise und Tourismus: <https://www.similarweb.com/de/top-websites/germany/travel-and-tourism/> (zuletzt abgerufen: 03.03.2023); 4) Wetterinformationen: <https://www.similarweb.com/de/top-websites/germany/science-and-education/weather> (zuletzt abgerufen: 03.03.2023); Statista / krankenkasse.de (2022), <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/856392/umfrage/groesste-gesetzliche-krankenkassen-in-deutschland-nach-der-versichertenzahl/> (zuletzt abgerufen: 03.03.2023).

Für die Unterkategorie „Information über Produkte und Dienste“ liegt keine aktualisierte Umfrage von IfD Allensbach (2016) vor. Wir haben daher auf eine andere, aktuelle Datenbasis abgestellt: die Umfrage von Bitkom Research für das Jahr 2021. Diese befragt Online-Einkäufer ab 16 Jahren „Wie informieren Sie sich vor dem Online-Kauf eines Produktes?“. Die Umfrageergebnisse zu der Kategorie „Bewertungen / Kommentare anderer Nutzer“ verwenden wir jetzt als die Hauptinformationsquelle für den Online-Einkauf. Da

die Bewertungen anderer Nutzer allerdings selbst auf der Webseite von Online-Einkaufsportalen (z.B. amazon.de) zu finden sind, werden diese in der entsprechenden Dienstekategorie berücksichtigt. Nach Similarweb belegen dhl.de und idealo.de²¹ jeweils den ersten Platz der Branche „Dienstleistungen für Unternehmen und Verbraucher“ bzw. „eCommerce and Shopping“ (Stand: 07.03.2023). Sie werden somit als repräsentative Vertreter von den Informationsquellen „Internetseite des Herstellers / Anbieters bzw. Preisvergleich“ für webbasierte Messung ausgewählt.

Für die Unterkategorie „Reiseinformationen“ hat sich die Liste der Top-Produkte nach Angaben von Similarweb und Branchen Ranking nicht geändert. Bei dieser Unterkategorie finden die beiden Produkte booking.com und bahn.de weiterhin aufgrund ihrer grundsätzlichen Unterschiede ihrer Funktionalitätsmerkmale Eingang in die webbasierte Analyse (booking.com ist wesentlich bildlastiger als bahn.de).

Ein ähnliches Bild ergibt sich auch für die restlichen Unterkategorien „Ausbildungsinformationen und Gesundheitsinformationen“,²² für die die Identifikation der Top-Produkte sich ebenfalls nicht geändert hat. Diese Unterkategorien haben hinsichtlich ihrer Funktionalitätsmerkmale ein relativ homogenes Produktangebot. Daher haben wir bei diesen Unterkategorien jeweils nur einen Vertreter für die webbasierte Messung ausgewählt.

Zusammenfassend sind die repräsentativsten Top-Produkte für „Suchmaschinen, die das Suchen und Auffinden aller Arten von Informationen ermöglichen“ nach aktualisierten Statistiken die folgenden Webseiten:²³

- google.de (allgemeine Informationssuche)
- dhl.de (Information über Produkte und Dienste)
- idealo.de (Information über Produkte und Dienste)
- booking.com (Reiseinformationen)
- bahn.de (Reiseinformationen)
- wetteronline.de (Wetterinformationen)
- kursnet (Ausbildungsinformationen)
- tk.de. (Gesundheitsinformationen)

²¹ idealo.de oder testberichte.de können als spezifische Suchmaschinen betrachtet werden, die die Suche von Information über bestimmte Produkte und Dienstleistungen, beispielsweise hinsichtlich des Preises, Verfügbarkeit oder der Qualität, ermöglichen.

²² Gegenüber dem wik-zafaco-Gutachten 2021 haben wir in diesem Gutachten, die Unterkategorie „Informationssuche bei Behörde“ unter dem Dienst „Nutzung elektronischer Behördendienste“ betrachtet. Die Kategorie „Wetterinformationen“ findet erstmals Berücksichtigung.

²³ Quelle siehe Anhang 2 dieser Studie.

2.1.2.3 Grundlegende Online-Werkzeuge für die Aus- und Weiterbildung

Die im Internet angebotenen Werkzeuge für die Aus- und Weiterbildung sind sehr vielfältig. Im ersten wik-zafaco-Gutachten 2021 wurde auf die Studie der Bertelsmann-Stiftung „Monitor Digitale Bildung“ (2017) zurückgegriffen. Hierbei konnten durch ein zusätzliches Herunterbrechen der Unterkategorien in digitale Lernmedien (Lernspiele, Webinars, Videoangebote, etc.) konkrete Top-Produkte identifiziert werden.²⁴ Wie bereits im Abschnitt 2.1.1.3 erläutert, liegt zum Zeitpunkt der Datenerhebung für dieses Gutachten keine aktualisierte Fassung der oben genannten Studie oder vergleichbare Studien vor. Die aus der Studie Bertelsmann-Stiftung (2017) gebildeten Unterkategorien zu den festgelegten, digitalen Lernmedien wurden aus dem ersten wik-zafaco-Gutachten 2021 auch für dieses Gutachten übernommen. Die Top-Produkte wurden für die jeweiligen digitalen Lernmedien anhand aktualisierter Statistiken – sofern vorhanden – überprüft (siehe Tabelle 4).²⁵

24 Es wurde der Treiber für die Nutzung von Lernmedien zwischen privat und beruflich unterschieden. Das privat motivierte Lernen erfolgt selbständig und hauptsächlich über informelle Kanäle (beispielsweise über wikipedia.org oder bei Lernvideoangeboten auf youtube.com). Für eine beruflich veranlasste Weiterbildung werden in der Regel Online-Seminare, sogenannte „Webinare“ oder webbasiertes Lernen gewählt (wik-zafaco-Gutachten (2021), S. 23).

25 YouTube und Wikipedia erscheinen weiterhin auf dem allgemeinen Top 50 Ranking (auf Platz 2 und 6) von Similarweb (2023). fahrschule.de, studyflix.de und wbstraining.de erscheinen auf den Top 5 Ranking von Similarweb bei der Branche „Wissenschaft und Bildung“ (<https://www.similarweb.com/de/top-websites/germany/science-and-education/>, Stand: 07.03.2023). wbstraining.de auf dem Platz 1 und fahrschule.de auf dem Platz 4 bei der Rubrik „Business-Training“ (<https://www.similarweb.com/de/top-websites/germany/science-and-education/business-training/>, Stand: 07.03.2023); während studyflix.de auf Platz 1 bei der Rubrik „Mathematik“ ist (<https://www.similarweb.com/de/top-websites/germany/science-and-education/math/>, Stand: 07.03.2023).

Tabelle 4: Ranking und Funktionalitätsmerkmale von Top-Produkten im Bereich der Aus- und Weiterbildung

Rang	Δ	Produktname	Nutzung privat [%]	Nutzung beruflich [%]	Webseite des Produkts	Top 5 Branche Rang	Top 50 Allg. Rang	Echtzeit	Video	Audio	Bilder	Text	Upload	Werbung	Messung 2023
Nutzung für Lern- oder Bildungszwecke															
1	-	Wikipedia oder andere Wikis	71%	71%	de.wikipedia.org	1	6		(X)	X	X	X	(X)		X
2	-	Videoangebote	60%	27%	www.youtube.com	1	2	(X)	X			X	(X)	X	Online-Inhalte Dienste
3	-	Elektronische Tests oder Übungen	20%	48%	www.fahrschule.de	4	>50	(X)			X	X		X	X
Schul- oder Hochschulbildung															
1	-	Digitale Lernspiele, Simulationen	12%	34%	anton.app	-	>50			X	X	X			X
2	-	Lern Apps	15%	27%	studyflix.de	1	>50		X		X	X		X	
3	-	Lernmanagement-system	4%	k.A.	moodle.de	-	>50	X					X	X	
Weiterbildung aus privatem Interesse															
1	-	Webseiten mit fachlichen Inhalten	37%	63%	scholar.google.de	1	1				(X)	X			X
2	-	Clouddienste	33%	40%	www.google.com/drive	-	-						X	X	Teleheimarbeit
Weiterbildung aus beruflichem Interesse															
1	-	WBT, Webbasiertes Lernen	10%	90%	www.wbstraining.de	1	>50	X	X	(X)	X	X	X		Teleheimarbeit
2	-	Webinar	11%	85%	www.webex.com	-	>50	X			(X)	X	X		Teleheimarbeit
3	-	MOOCs (Massive Open Online Course)	1%	k.A.	www.edx.org	-	>50	X	X		X	X	X		Teleheimarbeit

Quelle: wik – erstellt auf Basis von Schmid, U. / Goertz, L. / Behrens, J. (2017): Monitor Digitale Bildung. Die Schulen im digitalen Zeitalter. Bertelsmann-Stiftung. 15.09.2017, S. 24-25.
https://www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/files/BSt/Publikationen/GrauePublikationen/BSt_MDB3_Schulen_web.pdf. Zuletzt abgerufen: 22.09.2023.

Die identifizierten, webbasierten Top-Produkte der jeweiligen Unterkategorie werden nur dann für die webbasierte Messung aufgenommen, sofern diese nicht vorwiegend von Upload-Angeboten (google.drive, moodle.de) oder determinierten Anforderungen, beispielsweise von Videostreaming (youtube.com, studyflix.de) oder Livestreaming (webex.com, wbstraining.de, moodle.de und edx.org) geprägt sind. Diese Produkte, die anstelle über eine webbasierte Messung über die abstrakten Mindestanforderungen oder Dateivolumina berücksichtigt werden können, sind bei den Online-Inhaltediensten (Videostreaming) bzw. Teleheimarbeit-Diensten (Videokonferenzen, Clouddienste) relevant und werden separat ausgewertet. Diese Vorgehensweise wird in Kapitel 3.2 erläutert.

Exkurs: Distanzunterricht

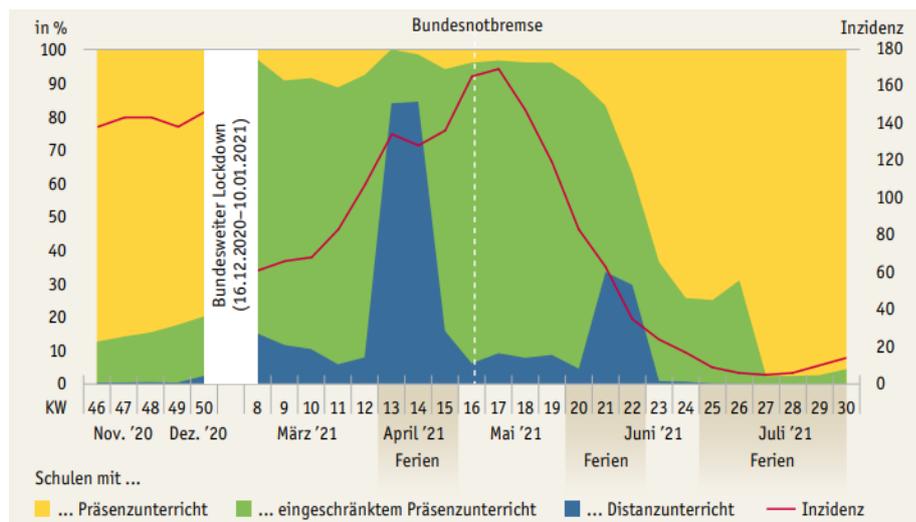
Dienste im Kontext des Distanzunterrichts sind durch den Dienstekatalog des Anhang V erfasst. Neben den Werkzeugen für Aus- und Weiterbildung sind darunter auch Videokonferenzen, Videostreaming und E-Mail zu fassen.

Distanzunterricht ist vom sog. „Home-Schooling“ (Hausunterricht) zu unterscheiden. Beim Distanzunterricht sind Schulen und Lehrer für das Lernen der Schüler verantwortlich, beim Homeschooling (Hausunterricht) sind es die Eltern. Beim Distanzunterricht können zwei Arten unterschieden werden:²⁶

- „synchroner Distanzunterricht: gleichzeitig stattfindendes eLearning z.B. in einer Audio- oder Videokonferenz“,
- „asynchroner Distanzunterricht: örtlich und zeitlich ungebundenes eLearning z.B. mittels Lernplattformen, Lernvideos oder per elektronischer Übermittlung“.

Die Relevanz vom Distanzunterricht gegenüber dem Präsenzunterricht wird für Deutschland im zeitlichen Verlauf der Covid-19-Pandemie in der nachstehenden Abbildung dargestellt.

Abbildung 4: Organisation des Schulunterrichts zwischen Nov 2020 und Jul 2021 (in %)



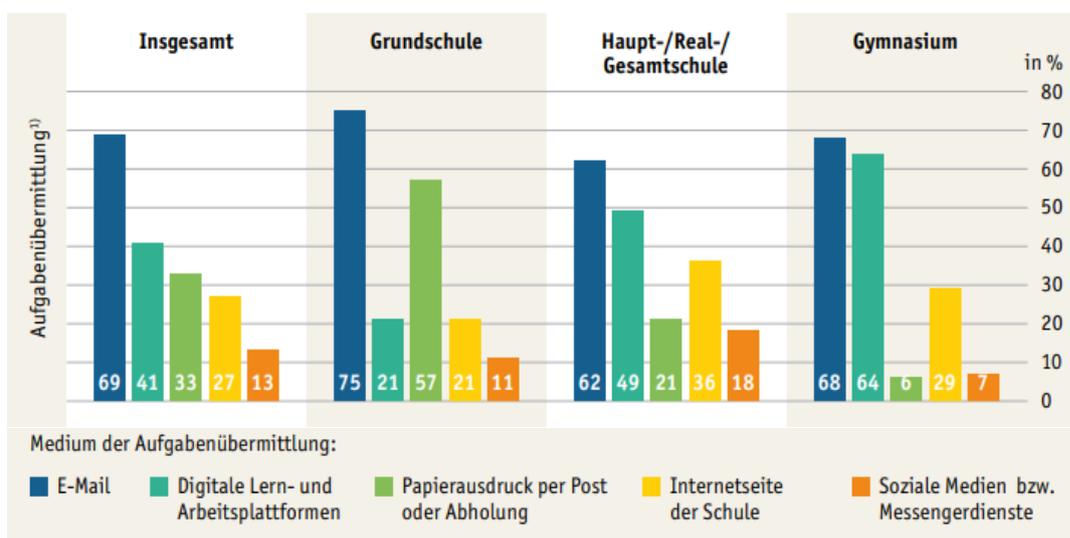
Quelle: Auszug aus Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation, Deutsches Institut für Erwachsenenbildung, Deutsches Jugendinstitut, Deutsches Zentrum für Hochschul- und Wissenschaftsforschung, Leibniz-Institut für Bildungsverläufe, Soziologisches Forschungsinstitut an der Universität Göttingen sowie die Statistischen Ämter des Bundes und der Länder (2022). Bildung in Deutschland 2022. Ein indikatorgestützter Bericht mit einer Analyse zum Bildungspersonal. (Tab D1-4web). DOI: 10.3278/6001820hw auf Basis von Sekretariat der KMK, Schulstatische Informationen zur Covid-19-Pandemie; täglicher Lagebericht des RKI zur Coronavirus-Krankheit 2019.

26 Stadt Nürnberg (2020/21).

Die nachfolgenden Ausführungen illustrieren die Relevanz des Distanzunterrichts in Deutschland:

„Im April 2020 waren viele Schulen noch unzureichend mit digitaler Infrastruktur ausgestattet: Nur 33% der Lehrkräfte gaben an, dass ihre Schulen (sehr) gut mit digitalen Hilfsmitteln auf den Distanzunterricht vorbereitet waren (Robert Bosch Stiftung, 2021). Dies änderte sich bis zum 2. Lockdown kaum. Gleichwohl hat die Mehrzahl der Lehrkräfte Wege gefunden, um ihren Schüler:innen auf digitalem Wege Unterrichtsmaterialien zu übermitteln. Dies geschah überwiegend per E-Mail (69%), gefolgt von digitalen Lern- und Arbeitsplattformen (41%)“.²⁷

Abbildung 5: Kontaktwege zur Übermittlung von Lernmaterial im Frühjahr 2020 (in %)



Quelle: Auszug aus Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation, Deutsches Institut für Erwachsenenbildung, Deutsches Jugendinstitut, Deutsches Zentrum für Hochschul- und Wissenschaftsforschung, Leibniz-Institut für Bildungsverläufe, Soziologisches Forschungsinstitut an der Universität Göttingen sowie die Statistischen Ämter des Bundes und der Länder (2022). Bildung in Deutschland 2022. Ein indikatorgestützter Bericht mit einer Analyse zum Bildungspersonal. DOI: 10.3278/6001820hw auf Basis von Schulbarometer (2020).

- „Distanzunterricht hat selbstständiges Lernen und Umgang mit digitalen Geräten befördert“.
- Daher wird teilweise Distanzunterricht als Mittel zur Bekämpfung von Lehrmangel in einigen Bundesländern eingesetzt, sowie auch als neuer, pädagogischer Ansatz eingeführt (andere Rolle des Lehrers und die Eigenverantwortung).²⁸

²⁷ Leibniz-Institut für Bildungsforschung et al. (2022).

²⁸ Peters, F. (2022).

2.1.2.4 Online-Zeitungen oder Online-Nachrichten

Die aktualisierten Statistiken zu „Anzahl der Visits der Nachrichtenportale in Deutschland“ im Januar 2023 von Statista/IVW zeigen, dass Bild.de, n-tv.de und der Spiegel die meist-besuchten Nachrichtseiten (ohne Angebotszusammenschluss)²⁹ in Deutschland sind. Abgesehen von den fehlenden Daten für die Tagesschau³⁰ sind die identifizierten Top-Produkte im Einklang mit Similarweb Rankings. Die nachstehende Tabelle zeigt die Auflistung der identifizierten Top-Online-Nachrichtenportale.

Tabelle 5: Ranking und Funktionalitätsmerkmale von Top-Produkten im Bereich Online-Zeitungen/Online-Nachrichten

Rang	Δ	Produktname	Nutzung [#Visits]	Webseite des Produkts	Top 5 Branche Rang	Top 50 Allg. Rang	Echtzeit	Video	Audio	Bilder	Text	Upload	Werbung	Messung 2023
1	-	Bild.de	489 Mio.	www.bild.de	1	7		X	X	X	X	X	X	X
2	-	t-online	426 Mio.	www.t-online.de	2	10		X	X	X	X	X	X	
3	↑1	Tagesschau	-	www.tagesschau.de	3	15	(X)	X	X	X	X			X
4	-	n-tv.de	252 Mio.	www.n-tv.de/	4	16	(X)	X	X	X	X		X	
5	-	Focus Online	215 Mio.	www.focus.de/	5	20		X	X	X	X		X	
6	↓3	der Spiegel	207 Mio.	www.spiegel.de	-	24	(X)	X	X	X	X		X	
7	-	lppen.Media	288 Mio.		-	-								

Quelle: wik – erstellt auf Basis von Statista / IVW (2023). <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/154154/umfrage/anzahl-der-visits-vonnachrichtenportalen/> (zuletzt abgerufen: 07.03.2023).

Wir ziehen für die webbasierte Messung nur die repräsentativsten Produkte heran (bild.de und tagesschau.de). Da mit Blick auf die Funktionalitätsmerkmale (Video, Audio, Text, etc.) die Webseiten im Bereich der Online-Zeitungen/Online-Nachrichten ein relativ homogenes Bild darstellen, erachten wir einen Verzicht auf Messungen von weiteren Produkten für vertretbar.³¹

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

Auf Basis von aktualisierten, klickbasierten Verkehrsaufkommen von Similarweb zeigt die Tabelle 6 die meistbesuchten Webseiten für den Online-Kauf und Bestellungen von Waren oder Dienstleistungen in Deutschland (Stand: März 2023). Bei diesen Produkten, die

²⁹ Laut Angaben von Statista reflektieren die Zahlen für T-Online, Focus Online und Ippen.Media ihren Angebotszusammenschluss und sind somit „mit den Einzelangeboten nur einschränkbar vergleichbar“. Diese Problematik wurde ebenfalls im wik-zafaco-Gutachten (2021), S. 25, erkannt.

³⁰ Die Tagesschau ist ein Nachrichtenportal der ARD. Statistiken von IVW umfassen nur Onlineauftritte von Werbeträgern. Die IVW darf deshalb als gemeinnütziger Verein die Zugriffszahlen von ARD und ZDF im Internet nicht ausweisen.

³¹ Im ersten wik-zafaco-Gutachten 2021 hatten wir auch eine webbasierte Messung von spiegel.de vorgenommen. Da jedoch die Quellen für spiegel.de eine abnehmende Relevanz zeigen und wir feststellen konnten, dass die von uns für die Messungen ausgewählten Produkte für die Nachrichtenportale über vergleichbare Funktionalitätsmerkmale verfügen, haben wir für dieses Gutachten 2023 auf weitere Messungen verzichtet.

zu den Top-10-Produkten der allgemeinen Rankings gehören, liegen lediglich leichte Unterschiede hinsichtlich der Funktionalitätsmerkmale vor. Diese finden sich hauptsächlich in der Darstellung von Werbung und der Verfügbarkeit von Produktvideos.

Tabelle 6: Ranking und Funktionalitätsmerkmale von Top-Produkten zum Online-Einkauf und Online-Bestellung

Rang	Δ	Produktname	Nutzung	Webseite des Produkts	Top 5 Branche Rang	Top 50 Allg. Rang	Echtzeit Video	Audio	Bilder	Text	Upload	Werbung	Messung 2023
Kauf/ Bestellung von Waren oder Dienstleistungen													
1	-	Amazon	-	www.amazon.de	1	5	(X)		X X		(X)		X
2	-	Ebay	-	www.ebay.de	2	7	(X)		X X		(X)		
3	-	Ebay-Kleinanzeige	-	www.ebay-kleinanzeigen.de	3	10			X X		X		X
Herunterladen von Software (ohne Spiele)													
1	↑2	Ccleaner (46,35 MB)	-	www.ccleaner.com	1	>50							
2	↑20	Googleplay Store für Amazon-Fire-Tablets (51,61 MB)	-	play.google.com	2	>50							
3	↑6	Windows 10 Update Assistent (8,31 MB)	-	www.microsoft.com	3	>50							
4	↑16	Firefox 64 Bit (55,51 MB)	-	www.mozilla.org	4	>50							

Quelle: wik – erstellt auf Basis von Similarweb (2023): Top Website-Ranking: Meistbesuchte Websites in Deutschland, Branche: Marktplatz: <https://www.similarweb.com/de/top-websites/germany/e-commerce-and-shopping/marketplace/> (zuletzt abgerufen: 03.03.2023); Kolar, S. (2023): Top-Software 2022: Die beliebtesten Downloads des Jahres. <https://www.computerbild.de/artikel/cb-Ratgeber-Software-Downloads-Diese-Grat-Programme-laedt-Deutschland-4473835.html> (zuletzt abgerufen: 16.08.2023).

Bei dem Online-Kauf bzw. Herunterladen von digitalen Produkten sind laut Angaben von Computerbild.de und Chip.de die Coronavirus-19 bezogenen Produkte (wie Coronavirus-Live-Karte, etc.) aus dem Top-Ranking ausgestiegen und stattdessen durch Software für die Optimierung, Wartung und Aktualisierung für Betriebssysteme (Ccleaner, Windows 10 Update Assistent) sowie von App-Stores und Browser-Apps (Google Play Store und Firefox) ersetzt worden.³² Hierbei ist die herunterzuladende Dateigröße der Software der Treiber der erforderlichen Internetanforderungen; sonstige webbasierte Merkmale sind dabei vernachlässigbar.³³ Die Dateigröße der vier „Top-Software 2022: die beliebtesten Downloads des Jahres“³⁴ liegt zwischen 8 und 55 MB (siehe Tabelle 6).

³² COVID-19-bezogene Produkte fanden im wik-zafaco-Gutachten 2021 keinen Eingang. Stattdessen wurde, ähnlich wie in Tabelle 6 dargestellt, Software für die Optimierung, Sicherheit und Aktualisierung für Betriebssysteme vorgezogen (Windows Update, Avast Free Antivirus und Ccleaner), siehe wik-zafaco-Gutachten (2021), S. 26.

³³ wik-zafaco-Gutachten (2021), S. 26.

³⁴ Gemessen nach der Download-Zahl, abzüglich der Downloads 2021 (Kolar, S. (2023)).

2.1.2.6 Arbeitssuche und Werkzeuge für die Arbeitssuche

Stellenausschreibungen, Unternehmensbewertungen oder Bewerbungstrainings werden in sogenannten Online-Jobbörsen angeboten.³⁵ Im Gegensatz zum ersten wik-zafaco-Gutachten 2021 waren aktualisierte Statistiken derselben Quelle zu Marktanteilen von Online-Jobbörsen nicht vorhanden.³⁶ Aus diesem Grund wurde auf die aktualisierten klickbasierten Verkehrsaufkommen von Similarweb abgestellt.³⁷ Daten von Similarweb stimmen bei zwei von den drei Top-Produkten (Bundesagentur für Arbeit und StepStone) mit den identifizierten Top-Produkten im ersten wik-zafaco-Gutachten 2021 überein. Diese beiden Top-Produkte sind hinsichtlich ihrer Funktionalitätsmerkmale unterschiedlich und qualifizieren sich deshalb für die quantitative Analyse.

Tabelle 7: Ranking und Funktionalitätsmerkmale von Top-Produkten im Bereich der Arbeitssuche und Werkzeuge für die Arbeitssuche

Rang	Δ	Produktname	Nutzung	Webseite des Produkts	Top 5 Branche Rang	Top 50 Allg. Rang	Echtzeit Video	Audio	Bilder	Text	Upload	Werbung	Messung 2023
1	-	Bundesagentur für Arbeit	-	www.arbeitsagentur.de	1	>50	(X)	(X)	X	(X)			X
2	↑	Indeed	-	de.indeed.com	2	>50			(X)	X	(X)		
3	↓1	Stepstone	-	www.stepstone.de	3	>50	(X)		X	X	(X)		X

Quelle: wik – erstellt auf Basis von. Similarweb (2023). Top Website-Ranking: Meistbesuchte Websites in Deutschland, Branche „Jobs und Karriere“: <https://www.similarweb.com/de/top-websites/ger-many/jobs-and-career/> (zuletzt abgerufen: 03.03.2023).

2.1.2.7 Berufliche Vernetzung

Berufliche Vernetzung im Internet stellt eine Sonderform der sozialen Netzwerke dar. Im wik-zafaco-Gutachten 2021 wurde anhand einer Umfrage von Statista im Jahr 2018 Xing, LinkedIn und Facebook als „soziale Netzwerke, die für die Vernetzung mit Unternehmen den höchsten Anteil an Kandidaten“ hatten, identifiziert.³⁸ Da diese Umfrage seitdem nicht aktualisiert wurde, wird in diesem Gutachten auf eine alternative Onlinebefragung von Statista zu den „beliebtesten sozialen Netzwerke in Deutschland im Jahr 2022“ abgestellt.³⁹ Auf dieser Basis werden die Werte von den rein beruflich motivierten sozialen Netzwerken (LinkedIn und Xing)⁴⁰ aktualisiert.

³⁵ Laut einer Umfrage von Statista / softgarden e.recruitment GmbH machten im Jahr 2020 die Stellenausschreibungen in einer Online-Jobbörse 41,9% der Bewerber aus (Statista / softgarden e-recruiting GmbH (2020)).

³⁶ Es gibt eine Vielzahl von Quellen zu den „besten Jobportalen“ im Jahr 2022/ 2023 (z.B. Schlegel, L. (2023)). Allerdings werden „Top-Produkte“ nicht in Hinsicht ihrer Qualität, sondern auf Basis ihrer Verbreitungsgrad definiert.

³⁷ Similarweb branchen-basierte Rangordnung für die Rubrik „Jobs und Karriere“.

³⁸ Siehe Statista / monster (2018).

³⁹ Statista (2022b).

⁴⁰ Bei der von Statista / softgarden e.recruitment GmbH im Jahr 2020 vorgenommenen Untersuchung werden von dem gesamten Spektrum an sozialen Netzwerken nur Xing und LinkedIn aufgenommen und als „Businessnetzwerke“ bezeichnet.

Tabelle 8: Ranking und Funktionalitätsmerkmale von Top-Produkten zur beruflichen Vernetzung

Rang	Δ	Produktname	Nutzung [%]	Webseite des Produkts	Top 5 Branche Rang	Top 50 Allg. Rang	Echtzeit Video	Audio	Bilder	Text	Upload	Werbung	Messung 2023
1	↑1	LinkedIn	13%	de.linkedin.com	-	39	(X)		X	X	X	(X)	X
2	↓1	Xing	9%	www.xing.com	-	>50	(X)		X	X	X	(X)	

Quelle: wik – erstellt auf Basis von Statista (2022b). <https://de.statista.com/prognosen/999733/deutschland-beliebteste-soziale-netzwerke> (zuletzt abgerufen: 07.03.2023).

Zwischen den oben dargestellten Top-Produkten zur beruflichen Vernetzung (xing.com und linkedin.com) sind kaum Unterschiede hinsichtlich der Funktionalitätsmerkmale festzustellen. Da allerdings dieses Jahr LinkedIn Xing überholt hat,⁴¹ und dies mit der allgemeinen Rangliste von Similarweb im Einklang steht, findet LinkedIn anstelle von Xing Eingang in die webbasierte Messung.

2.1.2.8 Online-Banking

Auf Basis einer Onlinebefragung von Statista im Jahr 2022 an Personen zwischen 18 bis 64 Jahren zu den „beliebtesten Geldinstituten für das Privatkonto in Deutschland im Jahr 2022“⁴² wurde die Liste der meistgenutzten Banken, die im ersten wik-zafaco-Gutachten 2021 mit einer anderen Datenquelle identifiziert wurde (Mobile Banking, 2018), im Wesentlichen bestätigt.⁴³ Da diese Quelle jedoch keine direkten Rückschlüsse auf die Online-Nutzung der Bankdienstleistungen an Festnetzanschlüssen erlaubt, nehmen wir wie bereits im wik-zafaco-Gutachten 2021 auf Basis von Zahlangaben der Deutschen Bundesbank an, dass dieses Ranking mit der Nutzung von Diensten im Bereich Online-Banking korrespondiert.⁴⁴

⁴¹ Dieser Trend konnte bereits im wik-zafaco-Gutachten (2021) beobachtet werden. LinkedIn war nicht bei der ersten Momentaufnahme (Juni 2021) auf der allgemeinen Rangliste von Similarweb aufgelistet. Einen Monat später (Juli 2021) war LinkedIn unter den Top 50 (auf Platz 49) gelistet (siehe wik-zafaco-Gutachten (2021). S. 28). Zum Zeitpunkt der aktualisierten Momentaufnahme (März 2023) ist LinkedIn weiterhin unter den Top 50 (auf Platz 39).

⁴² Die konkrete Frage lautet „Bei welchem Geldinstitut haben Sie Ihr hauptsächlich genutztes Bankkonto?“ Statista (2022a).

⁴³ Diese Rangfolge ist im Einklang mit dem Bericht der Deutschen Bundesbank (2022).. Laut der Deutschen Bundesbank besaßen im Jahr 2021 nahezu die Hälfte der Befragten (46%) ein Girokonto bei einer Sparkasse, gefolgt von den Volks- und Raiffeisenbanken (26%), Banken der „Cash Group“ (Commerzbank, Deutsche Bank, HypoVereinsbank und Postbank (18%)) und Direktbanken (Comdirekt Bank, Deutsche Kreditbank (DKB), ING-DiBa (14%)).

⁴⁴ Die Mehrheit der Befragten nutzt für das Onlinebanking die Webseite der Bank (70 %), bei der sie ein Konto haben, um ihre Bankgeschäfte abzuwickeln (Deutsche Bundesbank (2022)).

Tabelle 9: Ranking und Funktionalitätsmerkmale von Top-Produkten zum Online-Banking⁴⁵

Rang	Δ	Produktname	Nutzung [%]	Webseite des Produkts	Top 5 Branche Rang	Top 50 Allg. Rang	Echtzeit	Video	Audio	Bilder	Text	Upload	Werbung	Messung 2023
1	-	Sparkasse	37%	www.sparkasse.de	-	>50								
2	-	Volksbank/ Raiffeisenbank	13%	www.vr.de	-	>50								X
3	-	Commerzbank	8%	www.commerzbank.de	5	>50								
4	↑1	Deutsche Bank	7%	www.deutsche-bank.de	>5	>50								X
5	↓1	Postbank	6%	www.postbank.de	2	>50								
6	↓3	ING-DiBa	5%	www.ing.de	4	>50								
7	-	paypal	-	www.paypal.com	1	18								

Quelle: wik – erstellt auf Basis von Statista (2022a). <https://de.statista.com/prognosen/999886/deutschland-beliebteste-geldinstitute-fuer-das-privatkonto> (zuletzt abgerufen: 08.03.2023).

Notwendig für die Durchführung der webbasierten Messung ist der Online-Zugriff auf ein Konto bei der betreffenden Bank. Entsprechend müssen Personen, die die Messung durchgeführt haben, über ein Konto bei diesen Banken verfügen. Aus diesem Grund werden – ebenfalls wie im ersten wik-zafaco-Gutachten 2021 – die Top-Produkte vr.de und deutsche-bank.de für die quantitative Analyse ausgewählt. Diese ausgewählten Produkte (vr.de und deutsche-bank.de) weisen einen Funktionsumfang auf, der dem der identifizierten Top-Produkte zum Online-Banking weitestgehend entspricht (siehe obenstehende Tabelle).⁴⁶

2.1.2.9 Nutzung elektronischer Behördendienste

Das ursprüngliche Onlinezugangsgesetz (OZG) aus dem Jahr 2017 hatte das verpflichtende Ziel, bis Ende 2022 sämtliche Leistungen der Verwaltung auch digital anzubieten. Dieses Ziel wurde nicht erreicht, Bund, Länder und Kommunen bieten flächendeckend 33 von 575 Services online an.⁴⁷ Der Gesetzentwurf zur Änderung des Onlinezugangsgesetzes (OZG 2.0; Stand: 22.05.2023) des Bundesministeriums des Innern und für Heimat sollte die Voraussetzungen dafür schaffen, dass Bund, Länder und Kommunen bis spätestens 2024 dafür Sorge tragen, dass 15 besonders wichtige Verwaltungsleistungen in ganz Deutschland digital beantragt werden können. Darunter fallen z.B. die Ummeldung, das Elterngeld, die Eheschließung, die Kfz-An- und Ummeldung, die Baugenehmigung, der Führerschein und das Wohngeld.⁴⁸ Das bedeutet, dass zurzeit nicht alle Bürgerdienste – auch wenn es von den Bürgern gewünscht ist – online angeboten werden können.

⁴⁵ PayPal schneidet weiterhin auf Platz 18 beim Ranking von Similarweb ab. Allerdings zählt PayPal als online Bezahl dienstbetreiber, der hauptsächlich beim Dienst „Online-Einkauf oder Bestellung von Waren und Dienstleistungen“ genutzt wird (wik-zafaco-Gutachten (2021), S. 29).

⁴⁶ wik-zafaco-Gutachten (2021), S. 29.

⁴⁷ Beamten Bund und Tarif Union (2023).

⁴⁸ Bundesministerium des Innern und für Heimat (2023).

Im ersten wik-zafaco-Gutachten 2021 wurde anhand der Studie „eGovernment Monitor 2020“ von der Initiative D21 und der TU-München eine Momentaufnahme der Top-Produkte im Jahr 2020 auf Basis der derzeit verfügbaren Online-Bürgerdienste identifiziert. Zwei Jahre später wird auf Basis derselben Studie für das Jahr 2022 („eGovernment Monitor 2022“) die Identifikation der Top-Produkte von elektronischen Bürgerdiensten aktualisiert.⁴⁹

Tabelle 10: Ranking und Funktionalitätsmerkmale von Top-Produkten zur Nutzung elektronischer Behördendienste

Rang	Δ	Produktname	Nutzung [%]	Webseite des Produkts	Top 5 Branche Rang	Top 50 Allg. Rang	Echtzeit	Video	Audio	Bilder	Text	Upload	Werbung	Messung 2023
1	/	Informationssuche zu Zuständigkeit/ Öffnungszeiten etc.	84% (2020)	service.berlin.de	>5	>50	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)		X
2	↑3	Elektronische Steuererklärung	73%	www.elster.de	>5	>50					(X)	(X)		X
3	-	Online Terminvereinbarung	70%	service.berlin.de	>5	>50	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)		X
4	/	Digital Kommunikation mit der Behörde	46% (2020)											Dienst (1)
5	/	Beantragung vom Führungszeugnis und Bestellung von Urkunden	36% - 37%	www.stadt-koeln.de	>5	>50	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)		X
6	↑1	Beantragung von Ausbildungsförderung und Arbeitslosengeld	32% - 34%	www.arbeitsagentur.de	>5		(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)		Dienst (6)
7	↑1	Beantragung Kindergeld	33%	www.arbeitsagentur.de	>5	>50	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)		Dienst (6)
8	-	An-, Um- und Abmeldung eines Wohnsitzes	21%	serviceportal.hamburg.de	>5	>50	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)		

Quelle: wik – erstellt auf Basis von Initiative D21 e. V./Technische Universität München (TUM) (2022), <https://initiatived21.de/publikationen/egovernment-monitor/2022> (zuletzt abgerufen: 22.09.2023).

Online-Bürgerdienste, die von eGovernment Monitor im Jahr 2020 analysiert wurden (elektronische Steuererklärung, Beantragung von Kindergeld und Beantragung von staatlicher Unterstützungsleistungen⁵⁰), zeigen im Jahr 2022 einen signifikanten Anstieg ihres Verbreitungsgrades. Vor allem die Nutzung der elektronischen Steuererklärung ist von 45 % im Jahr 2020 auf 73 % im Jahr 2022 gestiegen. Das von dem Finanzamt angebotene Produkt zur elektronischen Steuererklärung elster.de nehmen wir daher für die quantitative Analyse auf.

Die Beantragung von Transferleistungen (z.B. Arbeitslosengeld, Kindergeld) werden oft zentral organisiert. Diese Anträge können online bei der Bundesagentur für Arbeit gestellt werden. Die Webseite der Bundesagentur für Arbeit wurde bereits als ein Top-Produkt

⁴⁹ Die konkrete Frage lautet „Haben Sie diesen Behördenvorgang schon einmal online erledigt?“ eGovernment Monitor (2022), S. 19.

⁵⁰ Der Online-Bürgerdienst „Beantragung von staatlicher Unterstützungsleistungen“ im Jahr 2020 wird mit den Online-Bürgerdiensten „Ausbildungsförderung“ und „Arbeitslosengeld“ im Jahr 2022 verglichen.

beim Anhang V-Dienst „(6) Arbeitssuche und Werkzeuge für die Arbeitssuche“ identifiziert. Diese Webseite findet entsprechend Eingang in die quantitative Analyse.

Die restlichen Bürgerdienste, inkl. Informationen zu Zuständigkeit, Öffnungszeiten und Online-Terminvereinbarung, werden dezentral von den Ländern bzw. Kommunen verwaltet (z.B. Beantragung von Führungszeugnis, Bestellung von Urkunden, An-, Um- und Abmeldung eines Wohnsitzes). Wie im wik-zafaco-Gutachten 2021 werden für diese dezentralen Bürgerdienste die Webseiten (online Bürgerservices) von Berlin und Köln für die webbasierte Messung verwendet.⁵¹

2.1.2.10 Soziale Medien und Sofortnachrichtenübermittlung

Auf Basis von aktualisierten Werten von Statista/ faktenkontor.de für das Jahr 2021/22 zu den meistverwendeten sozialen Netzwerken (nach Anteil der Internetnutzer) hat sich die Rangordnung der im ersten wik-zafaco-Gutachten 2021 identifizierten Top-Produkte nicht geändert.

Tabelle 11: Ranking und Funktionalitätsmerkmale von Top-Produkten im Bereich der sozialen Medien und Sofortnachrichtenübermittlung

Rang	Δ	Produktname	Nutzung [%]	Webseite des Produkts	Top 5 Branche Rang	Top 50 Allg. Rang	Echzeit	Video	Audio	Bilder	Text	Upload	Werbung	Messung 2023
1	-	Youtube	71%	www.youtube.com	-	2	(X)	X			X	X	X	X
2	-	Whatsapp	71%	www.whatsapp.com	4	25	X	X	X	X	X	X		
3	-	Facebook	63%	www.facebook.com	1	3	(X)	X		X	X	X	X	X
4	-	Instagram	49%	www.instagram.com	2	11	(X)	X		X	X	X	X	

Quelle: wik – erstellt auf Basis von Statista / faktenkontor.de (2022), <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1026109/umfrage/beliebteste-soziale-netzwerke-in-deutschland/> (zuletzt abgerufen: 08.03.2023)

Die webbasierten Webseiten YouTube und Facebook sind grundsätzlich hinsichtlich ihrer Funktionalitätsmerkmale (YouTube ist video-lastig und Facebook ist traditionell bilder-lastig) unterschiedlich und qualifizieren sich für eine webbasierte Messung.

Obwohl der Sofortnachrichtenübermittlungsdienst WhatsApp als ein Top-Produkt an zweiter Position gelistet ist, haben wir es trotz seiner weiten Verbreitung nicht in die Auswahl der Dienste zur Konkretisierung der technischen Mindestanforderungen aufgenommen. Dies ist insbesondere durch das tendenziell geringe Datenvolumen begründet, welches mit den Sofortnachrichten verbunden ist. Leistungsmerkmale von WhatsApp, wie beispielsweise die Übermittlung von Fotos oder Videos, finden auch bei den anderen Top-Produkten Berücksichtigung, so dass die Vernachlässigung dieses Dienstes für die

⁵¹ Die An-, Um- und Abmeldung eines Wohnsitzes kann zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Gutachtens weder in Berlin noch in Köln online beantragt werden, sondern in Hamburg. Dies reflektiert die Heterogenität der Verfügbarkeit von kommunalen Online-Bürgerdiensten. Die online An-, Um- und Abmeldung eines Wohnsitzes wird aktuell – zum Teil aufgrund der fehlenden Verfügbarkeit – nicht von der Mehrheit der Bürger genutzt.

Quantifizierung von technischen Mindestanforderungen als unkritisch eingestuft werden kann.

2.1.2.11 Anrufe und Videoanrufe (Standardqualität: SD)

Auf Basis der Verbraucherbefragung zur Nutzung von Online-Kommunikationsdiensten⁵² der Bundesnetzagentur (2021)⁵³ wird mit Abstand WhatsApp (93 %), gefolgt von Skype (20 %), Zoom (18 %) und Microsoft Teams (14 %) als die meistverbreiteten Produkte für Internet- und Videotelefoniedienste identifiziert.⁵⁴ Sie sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 12: Ranking und Funktionalitätsmerkmale von Top-Produkten im Bereich der Anrufe und Videoanrufe

Rang	Δ	Produktname	Nutzung [%]	Webseite des Produkts	Top 5 Branche Rang	Top 50 Allg. Rang	Echtzeit	Video	Audio	Bilder	Text	Upload	Werbung	Messung 2023
1	-	Whatsapp	93%	www.whatsapp.com	./.	./.	X							
2	-	Skype	20%	www.skype.com	./.	./.	X							
3	-	Zoom	18%	https://zoom.us/de	./.	./.	X							
4	-	MS Teams	14%	www.microsoft.com/de-de/microsoft-teams	./.	./.	X							

Quelle: wik – erstellt auf Basis von Bundesnetzagentur (2021), https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Digitales/OnlineKom/befragung_lang21.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (zuletzt abgerufen: 15.08.2023).

Anrufe und Videoanrufe werden in der Regel App-basiert durchgeführt (hier ist ein vorheriger Download der App und die Erstellung eines Nutzerkontos erforderlich).⁵⁵ Die Nutzung des vom Anschlussnetzbetreibers angebotenen Telefondienstes ist in dieser Statistik nicht erfasst.

Da es sich bei Telefonie und Videotelefonie um Dienste mit kontinuierlichen Datenströmen handelt, finden diese Produkte nicht Eingang in die webbasierte Messung. Ihre Mindestanforderungen werden – wie im ersten wik-zafaco-Gutachten 2021 – über Standards und Formaten aus Herstellerangaben ermittelt (siehe Abschnitt 3.2 Dienste mit determinierten Mindestanforderungen).

⁵² Online-Kommunikationsdienste umfassen Messenger-, Internet- und Videotelefoniedienste.

⁵³ Bundesnetzagentur (2021), S. 13.

⁵⁴ Das Ranking der Bundesnetzagentur (2021) beinhaltet ferner Facebook Messenger (39%), Instagram Direct Messages (25%) und Telegram (16%). Da diese Online-Kommunikationsdienste vorwiegend als Messenger (Sofortnachrichten) verwendet werden, werden sie aus der Liste von Top-Anbietern von Videoanrufen ausgeschlossen.

⁵⁵ Deshalb ist eine Validierung des Rankings aus der Verbraucherbefragung der Bundesnetzagentur mit Statistiken von Similarweb zum webbasierten Verkehrsaufkommen der Anbieterwebseite nicht möglich.

2.2 Online-Inhaltedienste

2.2.1 Methodische Vorgehensweise, Definition und Abgrenzung

Online-Inhaltedienste sind im Gesetzestext nicht weiter konkretisiert worden.⁵⁶ Eine Definition des Begriffs Online-Inhaltedienste findet sich in der EU-Verordnung zur grenzüberschreitenden Portabilität von Online-Inhaltediensten im Binnenmarkt,⁵⁷ die im wik-zafaco-Gutachten 2021 aufgegriffen und seinerzeit mit den nachfolgenden Anwendungsgebieten konkretisiert wurde:

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

Auch aus der Gesetzesbegründung geht – wie aus dem Gesetzestext – hervor, dass es sich um eine „für Verbraucher marktübliche Nutzung“⁵⁸ handeln müsse. Daher werden die im Abschnitt 2.2.1 konkretisierten Online-Inhaltedienste in einem weiteren Schritt nach Maßgabe ihres Verbreitungsgrades evaluiert.

Auf Basis der Ergebnisse der aktualisierten Online-Studie ARD/ZDF für das Jahr 2022 wird festgestellt,⁵⁹ welche von den aufgelisteten Online-Inhaltediensten von der Mehrheit der Bevölkerung genutzt wird. In diesem Gutachten wird die marktübliche Nutzung erneut daran festgemacht, ob mehr als 50 Prozent der Bevölkerung den betrachteten Online-Inhaltedienst nutzen. Mit anderen Worten: Nutzt die Mehrheit der Bevölkerung den betrachteten Dienst, so wird dieser von uns als „marktüblich“ eingestuft.⁶⁰

56 In der EU-Studie (2016) wurden diese seinerzeit nicht als grundlegende Dienste im Sinne einer Mindestversorgung eingestuft (wik-zafaco-Gutachten (2021), S. 8).

57 Siehe den Verweis auf die EU-Verordnung (2017/1128) in der Gesetzesbegründung: Bundesrat Drucksache 29/21, 01.01.21, S. 416, https://www.bundesrat.de/SharedDocs/drucksachen/2021/0001-0100/29-21.pdf?__blob=publication-File&v=1.

58 Siehe TKG § 157, Abs. 3, Satz 3.

59 ARD/ ZDF (2022).

60 Hierbei können unterschiedliche Nutzungshäufigkeiten als Maßstab herangezogen werden. Die von der ARD/ ZDF in den letzten Online-Studien verwendeten typischen Nutzungshäufigkeiten sind „täglich“, „wöchentlich“, „monatlich“, „selten“ und „nie“. Befragungsergebnisse liegen nicht für jede Nutzungshäufigkeit vor. In diesem Gutachten wird die kumulierte Nutzungshäufigkeit „mind. selten“ durchgehend verwendet. Diese setzt sich auf die Summe aller Nutzungshäufigkeiten, in denen der Dienst verwendet wird (von „täglich“ bis „selten“), zusammen.

2.2.2 Marktübliche Online-Inhaltedienste

Audio- und Video-Internetdienste

Die Umfragestatistiken der ARD/ZDF Online-Studie für das Jahr 2022 zeigen, dass Online-Video/- und Audioangebote weiterhin von der Mehrheit der Bevölkerung (über 80 %) verwendet werden (siehe Tabelle 13).

Tabelle 13: Internetnutzung: Video und Audio (mind. selten genutzt, in %)

Merkmal	Bezeichnung	ARD/ZDF 2020	ARD/ZDF 2022	Änderung [%-Punkte]
Video	Video im Internet (netto) ¹	83 %	88 %	+5 %
Audio	Audio online (netto)	75 %	82 %	+7 %

Quelle: Darstellung von wik auf Basis von ARD/ZDF (2022), https://www.ard-zdf-onlinestudie.de/files/2022/ARD_ZDF_Onlinestudie_2022_Publikationscharts.pdf, S. 17 und 23.

Anmerkung: ¹Inkl. Live-Fernsehen im Internet.

Durch eine weitere Differenzierung zwischen zeitversetzten („on-demand“) und Echtzeit („live“) Online-Video/- und Audioangeboten können detaillierte Befragungsergebnisse der ARD/ZDF Online-Studien den im Abschnitt 2.2.1 konkretisierten Online-Inhaltediensten zugeordnet werden. Diese sind in Tabelle 14 dargestellt.

Tabelle 14: Video/Audio und Online-Inhalte-Dienste (mind. selten genutzt, in %)

Dienst	Bezeichnung	ARD/ZDF 2020	ARD/ZDF 2022	Änderung [%-Punkte]
1. Video on Demand	Nutzung Video-Streaming	¹	77 %	-
2. Internetfernsehen	Fernsehen live über das Internet	29 %	44 %	+15 %
3. Internetradio	Radioprogramme live im Internet	35 %	50 %	+15 %
4. Musikstreaming & 5. Musikplattformen	Musik über Streamingdienste	41 %	53 %	+12 %
	Musik über YouTube	52 %	58 %	+6 %
	Podcasts oder Radiosendungen auf Abruf	²	55 %	-

Quelle: Darstellung von wik auf Basis von ARD/ZDF Online Studie 2020 und 2022.

Anmerkung: ¹„Fernsehsendungen bei Mediatheken und YouTube u.a.“65 %; „andere Videos online (alle weitere Videoangebote, die keine Fernsehsendung sind bzw. deren Absender kein Fernsehsender ist)“ 76 %; „Filme/Videos bei Streamingdiensten“ 47 %.

²„Podcasts hören“ 27 %; Radiosendungen/Beiträge aus Radiosendungen auf Abruf im Internet hören 26 %.

Laut Angaben von ARD/ZDF 2022 werden Videostreaming / Video on Demand (77 %), sowie Musikstreaming inkl. Musikplattformen (über 50 %) weiterhin von der Mehrheit der Bevölkerung genutzt. Internetradio (live) wurde im letzten wik-zafaco-Gutachten 2021 nicht als „marktüblich“ eingestuft. Aktualisierte Umfrageergebnisse von ARD/ZDF zeigen einen bedeutsamen Anstieg von Internetradio von 35 % im Jahr 2020 auf 50 % im Jahr 2022. Mit der Überschreitung des Grenzwertes (50 %) wird erstmalig Internetradio

von der Mehrheit der Bevölkerung verwendet, als „marktüblich“ angesehen und somit für die weitere Analyse berücksichtigt.

Sonstige Online-Inhaltedienste

Für weitere nicht Video- und Audio-basierte Online-Inhaltedienste wird überprüft, ob sie bereits in anderen Diensten nach §157 TKG zu finden sind. Hierbei wurde auf verschiedene Quellen zurückgegriffen, die eine Einschätzung zur Verbreitung dieser Online-Inhaltedienste geben. Die recherchierten Werte und Quellen sind in der nachfolgenden Tabelle 15 dargestellt. Die Erkenntnisse stellen sich wie folgt dar:

„Online-Lexika“ sind bereits im Anhang V-Dienst „Grundlegende Online-Werkzeuge für die Aus- und Weiterbildung“ als „Wikipedia oder andere Wikis“ berücksichtigt.

„File Hosting“ hat mit 33 % zwar keine große Verbreitung, ist jedoch auf Grund seiner Zugehörigkeit zur Teleheimarbeit und auch den Anhang V-Diensten Bestandteil der für die Mindestanforderungen zu untersuchenden Dienste.⁶¹

Tabelle 15: Internetnutzung: sonstige Online-Inhaltedienste (in %)

Dienst	Bezeichnung	Anteil der Befragten	Jahr	Datenquelle
6. Blogs	Blogs (soziale Medien)	22 %	2021/22	Statista/Faktenkontor
7. Internetforen	Foren (soziale Medien)	30 %	2021/22	Statista/Faktenkontor
8. Online-Lexika	Wikipedia oder andere Wikis	77 %	2017	Studie Bertelsmann-Stiftung
9. File Hosting	Clouddienste (z.B. Google Drive, Dropbox)	33 %	2017	Studie Bertelsmann-Stiftung
10. Online-Spiele	Internetnutzung für Online-spiele	25 % ¹	2021	Statista/VuMA

Quelle: wik auf Basis von Statista / faktenkontor.de (2022); Studie Bertelsmann-Stiftung, Schmid, U. et al. (2017); und Statista / Arbeitsgemeinschaft Verbrauchs- und Medienanalyse (2021).

Anmerkung: Mind. selten (d.h. Summe aller Häufigkeitskategorien bis auf „nie“ und „keine persönliche Internetnutzung“).

Die folgenden Dienste werden aufgrund ihres zu geringen Verbreitungsgrades als nicht marktüblich eingestuft:

Blogs (22 %) und Foren (33 %) werden nach Angaben von Statista/Faktenkontor zu den „meistgenutzten sozialen Medien“ für das Jahr 2021/22 nicht von der Mehrheit der Bevölkerung genutzt.

⁶¹ Clouddienste (z.B. Google Drive, Dropbox) werden bei unserer Datenerfassung im Anhang V-Dienst unter der Rubrik „Grundlegende Online-Werkzeuge für die Aus- und Weiterbildung“ berücksichtigt, sind aber auch im Bereich der sozialen Medien und dort geteilten Bildern oder Dokumenten von Relevanz. – Für die Ableitung von Mindestanforderungen für den Internetzugangsdienst ist es letztlich nachrangig, in welcher Kategorie die relevanten Dienste gelistet sind.

Ein ähnliches Bild ergibt sich auch für Online-Spiele.⁶² Laut der aktualisierten Umfrageergebnisse von der Verbrauchs- und Medienanalyse (VuMA) für das Jahr 2021 wird das Internet für Online-Spiele lediglich von 25 % der Bevölkerung (17,4 Mio.) selten genutzt.⁶³

Daher bleiben Blogs, Internetforen und Online-Spiele in unserer weiteren Analyse außer Betracht.

2.2.3 Top-Produkte

Für die Identifizierung von Top-Produkten der Online-Inhaltedienste wurde auf Umfrageergebnisse der Online-Studie von ZDF/ARD zum Video- und Musikstreaming und auf die Tagesreichweiten von Radioangeboten zurückgegriffen. Diese werden in Tabelle 16 dargestellt.

Tabelle 16: Nutzung von Video- und Musikstreaming (mind. selten, Angaben in %) und Internetradio (Tagesreichweite, Angaben in Mio. Hörer pro Stunde Mo-Fr. 6-18 Uhr – nur Werbeträger)

Dienst	Top-Produkte	Nutzung	Jahr	Datenquelle
Videostreaming (inkl. Video on Demand)	YouTube	70 %	2022	ZDF/ARD
	ARD/ZDF Mediathek	52 %	2022	
	Netflix	49 %	2022	
	Arte Mediathek	31 %	2022	
	Amazon Prime-Video	47 %	2022	
	Disney	25 %	2022	
Musikstreaming & Musikplattformen	Spotify	34 %	2022	ZDF/ARD
	Amazon Music	25 %	2022	
	YouTube Music	21 %	2022	
Internetradio	Radio NRW	1,5 Mio.	2022	MA 2022 Audio I
	Bayern 1	1,1 Mio.	2022	
	WDR 2	1,0 Mio.	2022	
	SWR 3	0,9 Mio.	2022	

Quelle: wik auf Basis von ARD/ZDF Online Studie 2022 und Schröder, J. (2022), <https://www.mee-dia.de/marktdaten-medien/blitz-analyse-der-reichweiten-2022-i-audio-ma-viele-grosse-radiosen-der-verlieren-hoerer-c265abf822e4fc9870de9299e62c173b>. Letzter Zugriff: 31.07.2023)

⁶² Online-Spiele sind von Computer-Spielen zu unterscheiden. „Computer-Spiele“ ist ein Oberbegriff und bezieht sich allgemein auf Spiele, die mit Hilfe eines Computers gespielt werden können, unabhängig davon, ob das Spiel eine Internetverbindung benötigt.

⁶³ Arbeitsgemeinschaft Verbrauchs- und Medienanalyse (VuMA). (17. November 2021).

2.3 Teleheimarbeit inkl. VPN

2.3.1 Relevante Anwendungen der Teleheimarbeit

Teleheimarbeit ist dadurch charakterisiert, dass die Arbeitsleistung nicht am Unternehmensstandort, sondern von zu Hause erbracht wird. Hierbei kommen Telekommunikationsdienste unterstützend zum Einsatz.⁶⁴ Der Internetzugang und damit die berufliche Nutzung von Online-Tools dient hauptsächlich der Kommunikation, Kollaboration und dem Datenaustausch. Die berufsspezifischen Anwendungen können entweder auf dem Rechner des Anwenders oder aber auch auf Rechnern der Firma oder in der Cloud installiert sein. Viele Anwendungen sind berufsübergreifend von Bedeutung (so z.B. Textverarbeitung, Tabellenkalkulation oder auch E-Mail-Programme), es gibt aber auch je nach Beruf sehr unterschiedliche Anwendungen (SAP, AutoCAD, o.a.).

Relevante Nutzungsformen der Teleheimarbeitsdienste sind⁶⁵

- E-Mail, Telefonie, Videotelefonie
- Videokonferenz-Systeme
- Datenaustausch (mit dem Unternehmensserver)
- cloudbasierte Dienste
- Remote-Desktop Anwendungen
- VPN-Dienste⁶⁶

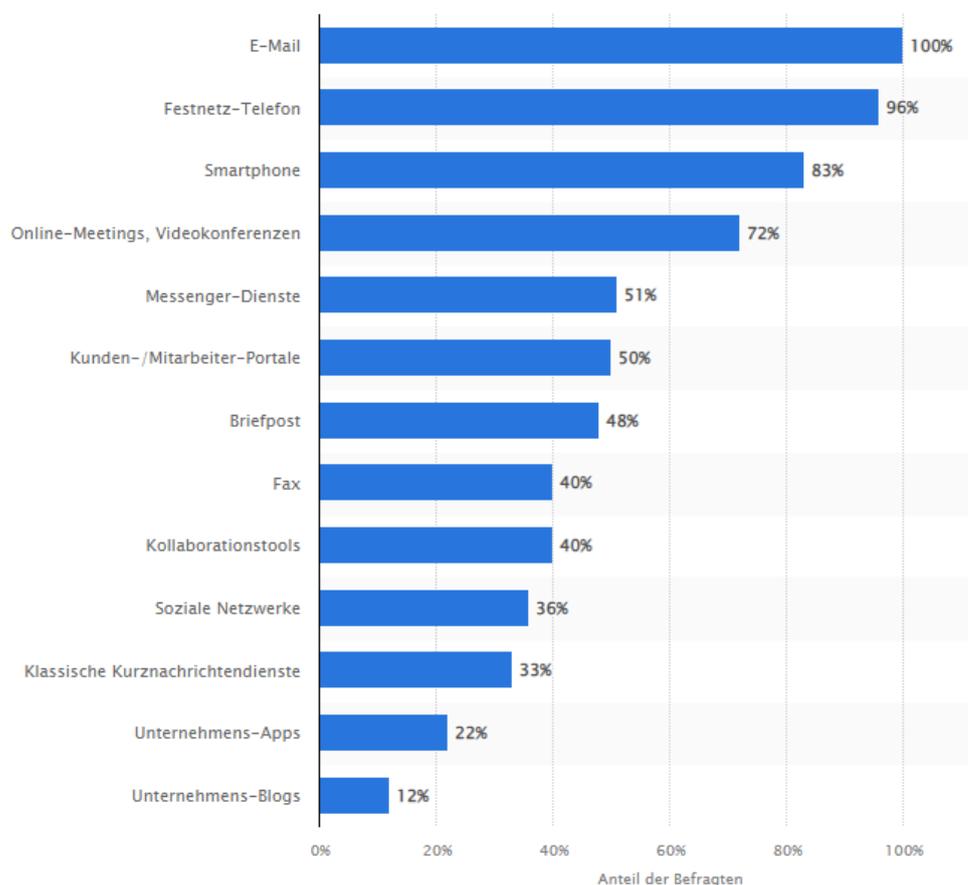
Dienste für die interne und externe Unternehmenskommunikation sind i.d.R. unabhängig vom betrachteten Wirtschaftszweig oder dem konkreten Berufsbild. Entsprechend lassen sich hierfür statistische Angaben über die Verbreitung dieser Dienste finden. Die nachstehende Abbildung stellt die Nutzungshäufigkeit der wichtigsten Kanäle (online und offline) für die interne und externe Unternehmenskommunikation im Jahr 2022 dar.

⁶⁴ Siehe hierzu auch die Ausführungen und Definition im wik-zafaco-Gutachten (2021), Abschnitt 2.4. Dort wird auch auf die begriffliche Abgrenzung von Teleheimarbeit und mobilem Arbeiten eingegangen. Für die hier vorgenommene technische Analyse ist diese Unterscheidung jedoch nicht von Bedeutung.

⁶⁵ Vgl. wik-zafaco-Gutachten (2021), Abschnitt 2.4.

⁶⁶ Laut Statista / CyberDirekt (2022) wird eine verschlüsselte VPN-Verbindung von 54,5 % der Befragten als Sicherheitsmaßnahmen für ihre Mitarbeitenden im Home-Office ergriffen. Darüber lagen nicht-online-basierte Maßnahmen: „Virenschutz auf genutztem Endgerät“ (61,7 %), „Firewall auf genutztem Endgerät“ (56,1 %) und „Einrichtung starker Passwörter“ (54,8 %).

Abbildung 6: Kanäle für die interne und externe Unternehmenskommunikation



Quelle: Statista auf Basis von Bitkom Research (2022).

Onlinedienste wie E-Mail (100 %), Online-Meetings/Videokonferenzen (72 %) sind die am weitestgehenden berufsübergreifenden Kommunikationsdienste der Teleheimarbeit. Aber auch die Nutzung von Messenger-, Kunden- und Mitarbeiterportalen⁶⁷ ist bei mindestens der Hälfte der Befragten im Einsatz. Dienste, die über die genannten Kommunikationskanäle hinausgehen, sind der Datenaustausch (mit dem Unternehmensserver oder auch mit Kunden), die Nutzung von Anwendungen sowie der Einsatz von Verschlüsselungstechniken (VPN).

Die Nutzung von Anwendungen kann dabei auf verschiedene Art und Weisen erfolgen:

- lokal auf dem Rechner des Nutzers,
- als Remote-Desktop-Anwendung (auf einen Rechner im Unternehmen),
- als cloudbasierte Anwendung.

⁶⁷ Bei Mitarbeiterportalen handelt es sich um Informationsportale, deren Angebote den Mitarbeitern über ein Login zugänglich gemacht werden. Die technischen Leistungsmerkmale sind daher mit denen einer Webseite vergleichbar.

Diese Umsetzungsmöglichkeiten sind unabhängig von konkreten, berufsspezifischen Anwendungsprofilen. Sind Anwendungen lokal auf dem Rechner des Nutzers installiert, so werden die Anwendungsdaten in der Regel mittels Datentransfer zum Austausch mit Kollegen oder auch nur zur Sicherung an die Unternehmensserver übertragen.

Für daten- und rechenintensive Anwendungen kommen i.d.R. Remote-Desktop-Anwendungen zum Einsatz. Diese haben den Vorteil, dass zum einen die leistungsfähigen Rechenkapazitäten und Netzwerkressourcen des Unternehmens verwendet werden können, zum anderen, dass sich der Datenaustausch zwischen „Homeoffice“ und Unternehmensnetzwerk auf die „Video“-Anzeige (am Remote-Desktop) sowie die Tastatur- und Mauseingaben beschränken.

Cloudbasierte Anwendungen werden über den Browser ausgeführt, wobei einzelne Skripte oder Teile der Anwendung auf dem lokalen Rechner des Nutzers ausgeführt werden. Die spezifischen Anwendungsdateien werden auf den Servern in der Cloud verwaltet bzw. gespeichert.⁶⁸ Sie bieten den Vorteil einer vernetzten Nutzung auch über das Netzwerk des Unternehmens hinaus.

Es ist davon auszugehen, dass sich die Anforderungen an den Datenaustausch in Abhängigkeit der Berufsgruppe unterscheiden. Auch ist davon auszugehen, dass die jeweiligen Rahmenbedingungen einen Einfluss auf die Nutzungsform im Kontext der Teleheimarbeit haben werden. Unterschiede können auch innerhalb einzelner Berufsgruppen relevant sein. Statistische Daten liegen hierzu nicht vor.

Die Nutzung von Verschlüsselungsverfahren, wie sie durch den Einsatz von Virtual Private Networks (VPN) zum Einsatz kommen, wird normalerweise von den Unternehmen für die Nutzung von Teleheimarbeit vorgeschrieben. Es handelt sich hierbei um eine Verschlüsselungstechnik zum Schutz der unternehmensbezogenen Daten.⁶⁹

2.3.2 Spezifische Anforderungen von Selbständigen und Freiberuflern

In diesem Gutachten soll der Frage nachgegangen werden, welche spezifischen Anforderungen an den Internetzugang von Selbständigen und Freiberuflern ausgehen. Im Abschnitt 2.3.1 wurden bereits Online-Tools für die Teleheimarbeit identifiziert, die nicht-berufsspezifisch sind. Diese sind allgemeine Tools, die auch für Selbständige und Freiberufler für die grundlegende Kommunikation, Kollaboration und Datenaustausch von Bedeutung sind. Um sonstige berufsspezifische Online-Tools zu identifizieren, die nur für Selbständige und Freiberufler relevant sind, haben wir in diesem Abschnitt eine Differentialanalyse vorgenommen. Hierbei wird untersucht, inwiefern sich Selbständige und Freiberufler von Nicht-Selbständigen und Nicht-Freiberuflern unterscheiden. Dazu haben wir zunächst eine Abgrenzung der zugehörigen Berufsgruppen vorgenommen und versucht

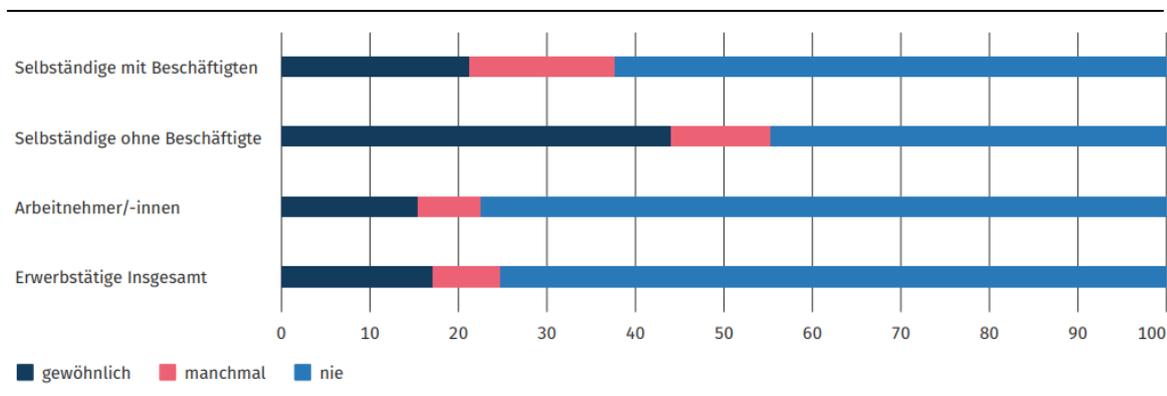
⁶⁸ Vgl. wik-zafaco-Gutachten (2021), Abschnitt 2.4.4.

⁶⁹ Vgl. wik-zafaco-Gutachten (2021), Abschnitt 2.4.1.

zu identifizieren, für welche Gruppen das Arbeiten von zu Hause überhaupt eine Bedeutung hat sowie welche Besonderheiten für diese Gruppen ggf. zu beachten sind.

Mit Selbständigen ist zunächst keine bestimmte Berufsgruppe gemeint. Hierbei handelt es sich lediglich um eine Charakterisierung des Arbeitsstatus, der selbständig und damit nicht abhängig beschäftigt ist. Im hier betrachteten Kontext kann diese Stellung als ein Indikator für die Relevanz für das Arbeiten von zu Hause angesehen werden. Daten des Statistischen Bundesamtes zeigen, dass Selbständige – vor allem Selbständige ohne feste Beschäftigung (sog. Solo-Selbständige) – deutlich häufiger von zu Hause arbeiten (55,5 %) als Arbeitnehmer (22,7 %).

Abbildung 7: Erwerbstätige, die von zu Hause arbeiten nach Stellung im Beruf 2021 (Anteil in %)



Quelle: Statistisches Bundesamt, Destatis (2023b). Erwerbstätige, die von zu Hause aus arbeiten - Statistisches Bundesamt ([destatis.de](https://www.destatis.de)). Zuletzt besucht: 24.07.2023.

Da für dieses Gutachten das Arbeiten von zu Hause im Fokus steht, können Selbständige mit Beschäftigten aus der Untersuchung ausgeklammert werden.⁷⁰ Freie Berufe⁷¹ werden zu einem großen Teil in Selbständigkeit ausgeführt. Nachfolgend erläutern wir, welche Berufsgruppen hierzu zählen und wie sich für sie die Bedeutung des Internetzugangs im Sinne einer Teleheimarbeit darstellt.

⁷⁰ Eine Betrachtung von Kanzleien, Gemeinschaftspraxen oder anderen Arten von Zusammenschlüssen von Freiberuflern ist nicht Gegenstand dieses Gutachtens.

⁷¹ Das Steuerrecht definiert freiberufliche Tätigkeit in § 18 Abs. 1 Nr. 1 Satz 2 Einkommensteuergesetz (EStG) als: "selbständig ausgeübte wissenschaftliche, künstlerische, schriftstellerische, unterrichtende oder erzieherische Tätigkeit, die selbständige Berufstätigkeit der Ärzte, Zahnärzte, Tierärzte, Rechtsanwälte, Notare, Patentanwälte, Vermessungsingenieure, Ingenieure, Architekten, Handelschemiker, Wirtschaftsprüfer, Steuerberater, beratenden Volks- und Betriebswirte, vereidigten Buchprüfer, Steuerbevollmächtigten, Heilpraktiker, Dentisten, Krankengymnasten, Journalisten, Bildberichterstatter, Dolmetscher, Übersetzer, Lotsen und ähnlicher Berufe".

Freie Berufe
Partnerschaftsgesellschaftsgesetz (§1 Abs. 2, Satz 1 PartGG)

„Die Freien Berufe haben im allgemeinen auf der Grundlage besonderer beruflicher Qualifikation oder schöpferischer Begabung die persönliche, eigenverantwortliche und fachlich unabhängige Erbringung von Dienstleistungen höherer Art im Interesse der Auftraggeber und der Allgemeinheit zum Inhalt“.

Unter den Freiberuflern und Selbständigen stellt unsere Analyse auf sogenannten Solo-Selbständige in Freien Berufen (1,47 Mio.) ab. Diese lassen sich nach Berufsgruppen und Berufsbezeichnungen weiter differenzieren, wie in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 17: Selbstständige in freien Berufen in Deutschland 2022 nach Berufen (Grundgesamtheit: 1,47 Mio.)

Berufsgruppe	Freier Beruf	Anzahl	Anteil
Freie Heilberufe	Ärzte	114.459	8 %
	Zahnärzte	47.697	3 %
	Physiotherapeuten	47.007	3 %
	Psychotherapeuten	36.317	2 %
	Apotheker	14.285	1 %
	Tierärzte	11.889	1 %
	Andere freie Heilberufe	159.231	11 %
Rechts-, wirtschafts- und steuerberatende Freie Berufe	Rechtsanwälte	120.041	8 %
	Steuerberater, Steuerbevollmächtigte	61.001	4 %
	Unternehmensberater	51.351	3 %
	Wirtschaftsprüfer, vereidigte Buchprüfer	8.160	1 %
	Andere rechts-, wirtschafts- und steuerberatende Freie Berufe	157.767	11 %
Technische und naturwissenschaftliche Freie Berufe	Architekten	54.672	4 %
	Sachverständige	22.493	2 %
	Beratende Ingenieure	17.582	1 %
	Patentanwälte	4.118	0 %
	Nur-Notare	1.714	0 %
	Andere technische u. naturwissenschaftliche Freie Berufe	116.301	8 %
	Andere freiberuflich tätige Ingenieure	80.734	5 %
Freie Kulturberufe	Freie Kulturberufe	343.943	23 %

Quelle: wik auf Basis von Statista/BARMER; diverse Quellen (Berufsorganisationen/amtliche Statistiken); IFB Uni Erlangen-Nürnberg und Bundesverband der Freien Berufe e.V. (2023) auf Basis der Darstellung des Instituts für Freie Berufe (IFB) (<https://www.freie-berufe.de/freie-berufe/fakten/>).

Nach Angaben von Statista und des Bundesverbands der Freien Berufe e.V. sind freie Kulturberufe⁷² (23 %), Ärzte (8 %), Rechtsanwälte (8 %) die wichtigsten Freiberufe im Bereich der Solo-Selbstständigen.

Eine Analyse der Bedeutung von Teleheimarbeit bei verschiedenen Berufszweigen hatte für die folgenden Gruppen⁷³ eine empirische Evidenz gezeigt (vgl. Anhang 1):

- Informatik-, Informations- und Kommunikationstechnologieberufe.
- Unternehmensführung und -organisation.
- Finanzdienstleistungen, Rechnungswesen und Steuerberatung.
- Recht und Verwaltung.
- Sprach-, Literatur-, Geistes-, Gesellschafts- und Wirtschaftswissenschaften, Medien, Kunst, Kultur und Gestaltung.

Diese decken sich zu einem großen Teil mit den Berufsfeldern von Solo-Selbstständigen. Rechts-, wirtschafts- und steuerberatende Freie Berufe oder auch technische und naturwissenschaftliche Freie Berufe sind Berufsgruppen, bei denen am häufigsten von zu Hause aus gearbeitet wird.

Bei rechtsberatenden Berufen ist der Austausch von digitalen Dokumenten oder der Remote-Zugriff auf diese als besonders relevant anzusehen. Bei wirtschafts- und steuerberatende Berufe ist auch den Zugriff auf Daten und Anwendungen des Rechnungswesens von Bedeutung. Verbreitete IT-Lösungen, wie beispielsweise die von DATEV, setzen browserbasierte Lösungen und Remotedesktop-Realisierungen ein.⁷⁴

Bei technischen Berufen haben sogenannte Computer-Aided-Design (CAD) Programme eine Verbreitung, die sich sowohl durch den großen Umfang verarbeiteter Daten als auch der damit in Zusammenhang stehenden großen Rechenleistung auszeichnen. Um diese Anwendungen vom heimischen Arbeitsplatz zu nutzen, können als Teleheimarbeitsanwendung entweder Remote-Desktop-Lösungen oder auch Cloud-Anwendungen eingesetzt werden. Ein Beispiel ist die „[AutoCAD Web-App](#)“, die eine browserbasierte Cloud-

72 Laut dem Statistischen Bundesamt werden Kulturberufe weiterhin differenziert. Dazu gehören Berufe der technischen Mediengestaltung, Fototechnik und Fotografie, Buch-, Kunst-, Antiquitäten- und Musikfachhandel, Veranstaltungsservice und -management, Medien-, Dokumentations- und Informationsdienste, Lehrtätigkeiten an außerschulischen Bildungseinrichtungen, Geisteswissenschaften, Verlags- und Medienwirtschaft, Redaktion und Journalismus, Produkt- und Industriedesign, Innenarchitektur, visuelles Marketing und Raumausstattung, Kunsthandwerk und bildende Kunst, Kunsthandwerkliche Keramik- und Glasgestaltung, Kunsthandwerkliche Metallgestaltung, Musikinstrumentenbau, Musik-, Gesangs- und Dirigententätigkeiten, Schauspiel, Tanz und Bewegungskunst, Moderation und Unterhaltung, Theater-, Film- und Fernsehproduktion, Veranstaltungs-, Kamera- und Tontechnik, Bühnen- und Kostümbildnerie, Requisite, Museumstechnik und -management (.Statistisches Bundesamt, Destatis (2020b) [Tabelle]).

73 Zusätzlich zu den allgemeinen, berufsübergreifenden Tools konnten für diese Berufsgruppen berufsbezogene Online-Tools identifiziert werden.

74 DATEV (2023). Für den Internetzugang wird eine Kaufempfehlung von „ab DSL 6000“ gegeben.

Anwendung darstellt und auch über mobile Endgeräte nutzbar ist.⁷⁵ Systemseitig werden Anforderungen an den Browser, nicht jedoch an den Internetzugang benannt.⁷⁶

Bei freien Heilberufen (beispielsweise Selbständige Ärzte, Zahnärzte) ist zu erwarten, dass diese Berufe aufgrund der Arbeitstätigkeit und deren Gerätekoppelung in der Regel nicht von zu Hause aus ausgeübt werden können.⁷⁷ Tätigkeiten, wie beispielsweise das Versenden von Rechnungen, ist für diese Berufsgruppen dennoch von Relevanz.

Freie Kulturberufe sind sehr heterogen.⁷⁸ Zu ihnen zählen Sprach-, Literatur-, Geistes-, Gesellschafts- und Wirtschaftswissenschaften, Medien, Kunst, Kultur und Gestaltung.⁷⁹ Allerdings liegen zu dieser Berufsgruppe keine Statistiken zur Nutzung von Teleheimarbeit vor. Über den Zusammenhang Solo-Selbständige und Bedeutung der Teleheimarbeit für diese Berufsgruppen ließe sich nur sehr indirekt ein Zusammenhang ableiten.⁸⁰ Aufgrund des breiten Spektrums von Anwendungsfeldern konnte keine spezifische Analyse für die einzelnen Gruppen und der von ihnen verwendeten Anwendungen durchgeführt werden. Es kann jedoch festgehalten werden, dass die in Abschnitt 2.3.1 genannten Dienstekategorien der Teleheimarbeit auch für Solo-Selbständige von Bedeutung sind. Berufsfeldspezifische Anwendungen dürften in der Regel lokal oder cloudbasiert genutzt werden.

2.3.3 Generelle Anforderungen an den Internetzugang für das Arbeiten von zu Hause

Mit der Analyse der Anforderungen von Selbständigen und freien Berufen an den Internetzugang wurde verdeutlicht, dass trotz der Unterschiedlichkeit der Berufsfelder und ihrer Anwendungen die telekommunikationsspezifischen Anforderungen in vielen Belangen vergleichbar sind, auch wenn sie sich in der Häufigkeit ihrer Nutzung oder auch der Datenintensität voneinander unterscheiden. Um die Heterogenität dieser Anforderungen zu beschreiben, fehlen uns entsprechende Statistiken.

Die meistgenutzten Kommunikationskanäle umfassen E-Mail, Telefonie und Videokonferenzen, die sich in ihrem Einsatz gegenüber Kollegen oder Externen nicht unterscheiden

75 Autodesk (2023a).

76 Autodesk (2023b).

77 Dies wäre im Einklang mit empirischen Befunden und Statistiken für die Branche „Gesundheitswesen“. Siehe Mergener (2020).

78 Siehe FN 72.

79 Klassifikation der Bundesagentur für Arbeit, KldB. Dies beinhaltet die Unterkategorien 91 sprach-, literatur-, geistes-, gesellschafts- und wirtschaftswissenschaftliche Berufe, 92 Werbung, Marketing, kaufmännische und redaktionelle Medienberufe, 93 Produktdesign und kunsthandwerkliche Berufe, bildende Kunst, Musikinstrumentenbau, und 94 darstellende und unterhaltende Berufe (Bundesagentur für Arbeit (2020).

80 Die wichtigsten Kulturberufe für Solo-Selbständige sind laut Statistischem Bundesamt (Mikrozensus im Jahr 2018) die Lehrtätigkeiten an außerschulischen Bildungseinrichtungen (84 Tsd.), die technische Mediengestaltung (66 Tsd. Erwerbstätige), Redaktion und Journalismus (57 Tsd.), Kunsthandwerk und bildende Kunst (41 Tsd.), Musik-, Gesangs- und Dirigententätigkeiten (28 Tsd.) und Fototechnik und Fotografie (24 Tsd. Erwerbstätige). Statistisches Bundesamt, Destatis (2020b).

lassen, so dass in dieser Beziehung der Berufsgruppe von Selbständigen oder Freiberuflern keine besondere Rolle zukommt. Gleiches gilt auch für den Datenaustausch, der nicht nur gegenüber Kollegen des eigenen Unternehmens, sondern auch gegenüber Auftraggebern von Bedeutung ist.

Das Spektrum der Dienstenutzung bei Teleheimarbeit oder Solo-Selbständigkeit umfasst letztlich die Übertragung von diskreten Datenvolumina bis hin zu kontinuierlichen Datenübertragungen, wie sie mit interaktiven Echtzeitdiensten, beispielsweise Videokonferenzen, einhergehen. Remote-Desktop- oder auch cloudbasierte Anwendungen eröffnen den Nutzern die Möglichkeit, von zu Hause mit Hilfe ihres Internetzugangs auf externe Anwendungs- und Netzwerkressourcen zuzugreifen.

Berufsgruppenspezifische Anforderungen stehen in der Regel in engem Zusammenhang mit Anwendungen, die herkömmlich lokal auf dem Rechner des Anwenders installiert sind bzw. waren. Hier haben sich zwischenzeitlich mit cloudbasierten Anwendungen viele Angebote entwickelt, die diese browserbasierten Dienste unter Anwendung des Internetzugangs nutzbar machen.

Zu repräsentativen Produkten, die von Freiberuflern und Selbständigen genutzt werden, liegen keine allgemeinen Statistiken vor. Für dieses Gutachten haben wir beispielhafte Anwendungen, wie sie von verschiedenen Gruppen von Solo-Selbständigen bzw. Freiberuflern genutzt werden, identifiziert. Die nachfolgende Tabelle stellt für die verschiedenen Berufsgruppen von Freiberuflern bzw. Solo-Selbständigen beispielhaft Anwendungsbereiche und Produkte dar und ordnet diese den von uns als relevant erachteten Teleheimarbeitsanwendungen zu. Mit dieser Vorgehensweise, die von Freiberuflern und Selbständigen genutzten Dienste und Anwendungen in den bisherigen Katalog von Diensten und Anwendungen der Teleheimarbeit zuzuordnen, verzichten wir im weiteren Verlauf der Analyse auf eine berufsgruppenspezifische Konkretisierung der Anforderungen an den Internetzugang.

Tabelle 18: Anwendungen in freien Berufen und ihre Zuordnung auf Anwendungen der Teleheimarbeit

Berufsgruppe/Freiberufe	Anwendungsbereich	Produkt	Zuordnung
IT-Dienstleistung	Cloud-Computing-Plattform, etc.	MS Azure, IONOS Cloud Compute Engine, Cisco Intersight Cloud Operations-Plattform	Remote-Desktop Anwendungen
Unternehmensführung/-beratung, Versicherung und Finanzdienstleistung	Customer-Relationship-Management (CRM-Systeme)	Salesforce, SAP CRM	cloudbasierte Dienste
	Enterprise Ressource Planning (ERP)	SAP S/4HANA Cloud, Oracle ERP	cloudbasierte Dienste
	Datenerhebung	SurveyMonkey, Google Surveys, Microsoft Forms	Remote-Desktop Anwendungen
	Datenmanagement, etc.	MS Excel, Google Sheets	Remote-Desktop Anwendungen
Rechtsanwälte	Cloudspeicher & Datenaustausch (nach DSGVO-Compliance)	Tresorits	Datenaustausch
Technische Mediengestaltung	Fotobearbeitung, Videobearbeitung, Grafikdesign und Webentwicklung	Adobe Creative Cloud (Desktop, Apps, Cloud)	cloudbasierte Dienste
Redaktion und Journalismus	Web Content-Management-System (CMS)	WordPress, Shopify	Remote-Desktop Anwendungen
Übersetzung	Übersetzung	Translation Hub	Remote-Desktop Anwendungen
Content Creator / Social Media Manager	Search-Engine-Automation (SEO)	Google Search Console	Remote-Desktop Anwendungen
Kunsthandwerk	cloudbasierte Buchhaltungssoftware (allg. für kleine Unternehmen und Selbständige)	FastBill	cloudbasierte Dienste
Musiker	Audio-hosting	IBroadcast, YouTube Music, Soundcloud	Datenaustausch

Quelle: wik. Auswahl der Berufsgruppen auf Basis der Angaben vom Statistischen Bundesamt, Destatis (2022b). Auswahl der Freikulturberufe auf Basis der wichtigsten Kulturberufe für Solo-Selbständige laut dem Statistischem Bundesamt (Mikrozensus im Jahr 2018). Statistisches Bundesamt, Destatis (2020b). https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2020/04/PD20_145_216.html.

2.4 Anforderungen von Menschen mit Behinderung

Die Berücksichtigung der Anforderungen von Menschen mit Behinderung ist im EKEK Artikel 104 (2) Satz 3 sowie in den vom BEREC erarbeiteten Empfehlungen zu den Qualitätsanforderungen zu finden.⁸¹

⁸¹ BEREC (2020).

In diesem Abschnitt betrachten wir die Anforderungen von Menschen mit Behinderung⁸² bei der Nutzung von Internetdiensten. Hierzu stellen wir auf Leistungsmerkmale ab, die den Anforderungen von Menschen mit Behinderung Rechnung tragen und identifizieren, welche technischen Lösungsansätze in diesem Kontext von Relevanz sind.

Nachfolgend beschreiben wir Techniken und Realisierungsformen, die sich insbesondere an Menschen mit Behinderung richten.

Screenreader

Screenreader sind Tools, welche den schriftlichen, teilweise auch den graphischen Inhalt von Dokumenten und Webseiten für Menschen mit Sehbehinderung zugänglich machen. Manche Screenreader können auch eine Braillezeile ansteuern, welche die Inhalte zusätzlich zeilenweise in Blindenschrift darstellen.

Auf der einen Seite bieten einzelne Webseiten oder Applikationen direkt eine sogenannte Vorlesefunktion, die bei der Erstellung der Webseite durch den Anbieter implementiert wurde. Auf der anderen Seite können auch lokal installierte Anwendungen diese Funktion leisten. Bei mobilen Endgeräten sind diese häufig bereits Bestandteil des Betriebssystems. Typischerweise finden lokal installierte Anwendungen Verwendung.

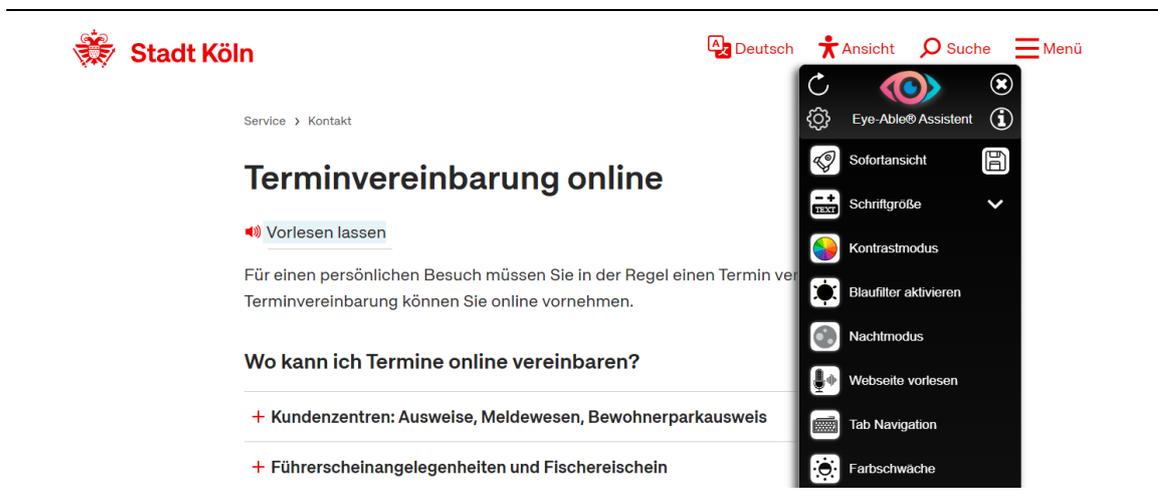
Im Fall einer direkten Implementierung als Bestandteil einer Webseite in Form einer Vorlesefunktion entspricht dies dem Dienst Audio.

Einer der bekanntesten Screenreader wird von Freedom Scientific angeboten. Freedom Scientific ist eine Marke der Vispero-Gruppe und weltweit führender Hersteller von elektronischen Hilfsmitteln für Menschen mit Sehbehinderungen:

<https://www.freedomsci.de/index.htm>

⁸² Nach § 2 Abs. 1 SGB IX sind Menschen behindert, „wenn ihre körperliche Funktion, geistige Fähigkeit oder seelische Gesundheit mit hoher Wahrscheinlichkeit länger als sechs Monate von dem für das Lebensalter typischen Zustand abweichen und daher ihre Teilhabe am Leben in der Gesellschaft beeinträchtigt ist“.

Abbildung 8: Beispiel – Webseiten mit Screenreader („vorlesen lassen“-Funktion oder über die Barrierefreiheits-Software „Eye-Able Assistant“)



Quelle: Stadt Köln. <https://www.stadt-koeln.de/artikel/71241/index.html>. Zuletzt besucht: 01.08.2023

Video-Transkription

Video-Transkription⁸³ ist eine Textbeschreibung des Videoinhalts und wird typischerweise in Textform eingebettet.

Bei einer Video-Transkription wird ein Videoinhalt zusätzlich in Textform wiedergegeben. Der verschriftliche Inhalt wird dann in den Videoinhalt eingebettet. Sehr ähnlich ist die Einbettung von Untertiteln in den laufenden Videoinhalt. Die Funktion muss durch den Videoanbieter für den Endnutzer vorbereitet werden. Zusätzliche Bandbreitenerfordernisse entstehen hierdurch nicht.

⁸³ Siehe hierzu beispielsweise bei YouTube. <https://support.google.com/youtube/answer/2734796#create>. Zuletzt besucht am 29.11.2022.

Abbildung 9: Untertitel im linearen Fernsehen: ARD



Quelle: ARD. <https://www.daserste.de/specials/service/untertitel-allgemein100.html>.
Zuletzt besucht: 21.08.2023

Hörfassungen von Videos

Eine Hörfassung von Videos (auch Audiodeskription genannt) ist eine Beschreibung des laufenden Video-Inhalts als zusätzliche Audio-Spur. Für Menschen mit Sehbehinderung wird hierbei der visuelle Inhalt zusätzlich beschrieben, um dem Inhalt des Videos folgen zu können.

Die Hörfassung eines Videos wird entweder in einer unterschiedlichen oder zusätzliche Audiospur bereitgestellt, alternativ kann es sich auch um eine modifizierte Variante des Videos handeln.⁸⁴ Die Funktion muss durch den Videoanbieter für den Endnutzer vorbereitet werden. Zusätzliche Bandbreitenerfordernisse entstehen hierdurch nicht.

⁸⁴ Hörfassungen von Videos werden meist mit unterschiedlichen Audiokanälen oder in unterschiedlichen Videos angeboten und sind somit technisch gleich zu behandeln.

Abbildung 10: Audiodeskription im linearen Fernsehen: ARD



Quelle: ARD. <https://www.daserste.de/specials/service/barrierefreie-angebote-ard-100.html>.
Zuletzt besucht: 21.08.2023

Barrierefreie Seiten mit Gebärdensprache

Barrierefreie Seiten mit Gebärdensprache⁸⁵ verlangen eine Auflösung von mindestens 320x240 Pixel und damit einen deutlich kleineren Wert als der von SD-Qualität.

Barrierefreie Seiten oder Videoinhalte mit Gebärdensprache bieten einen zusätzlichen Service für Menschen mit Hörbeeinträchtigung. Hierbei wird Audio-Inhalt zusätzlich in Gebärdensprache dargestellt. Bei der Darstellung der gebärdensprachlichen Inhalte werden diese in einem separaten Video eingeblendet, welches eine Mindestauflösung von 320x240 Pixeln aufweisen muss. Hiermit liegt die Videoqualität auch deutlich unterhalb der Auflösung eines Videoinhalts in SD Qualität. Die Funktion muss durch den Videoanbieter für den Endnutzer vorbereitet werden. Zusätzliche Bandbreitenerfordernisse entstehen hierdurch nicht.

⁸⁵ Vorgaben für Gebärdensprache im Web (BITV), <https://bik-fuer-alle.de/was-verlangt-die-bitv-138.html>.

Abbildung 11: Gebärdensprache im linearen Fernsehen: ARD



Quelle: ARD (2019). <https://www.daserste.de/specials/service/barrierefreie-angebote-ard-102.html>.
Zuletzt besucht: 21.08.2023.

Abbildung 12: Barrierefreie Seiten mit Gebärdensprache: Bundesagentur für Arbeit



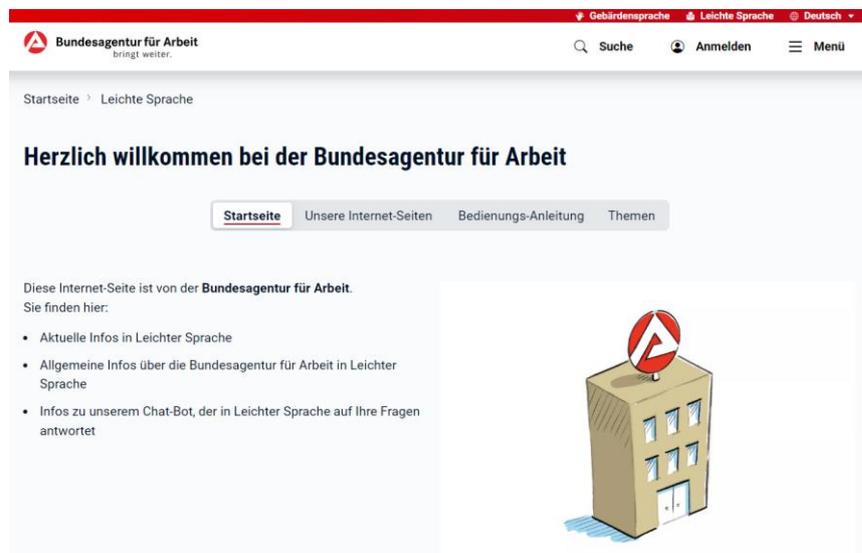
Quelle: Bundesagentur für Arbeit (2023b), [Informationen in Gebärdensprache | Bundesagentur für Arbeit \(arbeitsagentur.de\)](https://www.arbeitsagentur.de). Zuletzt besucht: 31.07.2023.

„Leichte Sprache“-Funktionen

Das Angebot von Webseiten mit leichter Sprache richtet sich an Menschen mit verminderter Kompetenz in der deutschen Sprache. Es werden z.B. nur kurze Sätze mit jeweils nur einer Aussage verwendet. Kompliziertere Konstruktionen der deutschen Grammatik (Genitiv, Konjunktiv usw.), aber auch Fremdwörter werden vermieden.

Die Inhalte der Webseiten mit leichter Sprache stellen eine Variante der Standard-Webseiten dar und müssen durch den Inhabeanbieter für den Endnutzer vorbereitet werden. Zusätzliche Bandbreitenerfordernisse entstehen hierdurch nicht.

Abbildung 13: Webseiten mit „Leichter Sprache“-Funktionen



Quelle: Bundesagentur für Arbeit (2023c), <https://www.arbeitsagentur.de/leichte-sprache>.
Zuletzt besucht: 01.08.2023.

Aus den aufgeführten Beispielen geht hervor, dass die zugehörigen Leistungsmerkmale auch aus anderen Diensten bekannt sind – insbesondere Audio- und Video – und dass diese, sofern nicht lokal auf dem PC installiert, mit denen der Dienste der Mindestversorgung vergleichbar sind. Eine explizite Analyse dieser Anforderungen wird daher in diesem Gutachten nicht weiterverfolgt.

3 Bottom-up-Ermittlung von dienstespezifischen technischen Mindestanforderungen

3.1 Zielsetzung und methodische Vorgehensweise

3.1.1 Zielsetzung, Dienstekategorien und Datenquellen

Das TKG sieht in § 157 (3) Satz 3 die Bestimmung von Mindestanforderungen in Bezug auf folgende konkrete Qualitätsparameter vor:⁸⁶

- die mindestens zur Verfügung stehende Datenübertragungsrate im Downstream und Upstream [Mbps],
- die maximal tolerierte Verzögerung (Latenz) [ms].

Das Gutachten zu weiteren Qualitätsparametern (Los 2), die ggf. bei der Festlegung von technischen Mindestanforderungen an den Internetzugang der Grundversorgung zu berücksichtigen sind, kam zu dem Ergebnis, dass eine Berücksichtigung der bestehenden Qualitätsparameter hinreichend sei.⁸⁷

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

Für die Ableitung von Qualitätsparametern für die jeweiligen Produkte bedarf es der Übersetzung einer für die Grundversorgung angestrebten Mindestqualität in korrespondierende QoS-Werte. Die Dienstqualität der Grundversorgung wird methodisch durch die sog. Quality of Experience (QoE) – im weiteren Verlauf des Gutachtens auch als „Nutzererfahrung“ bezeichnet – zum Ausdruck gebracht.⁸⁸

Ausgangspunkt für die Quantifizierung von technischen Parametern bildet die normative Vorgabe der angestrebten Dienstqualität der Grundversorgung. Hier setzen wir auf den

⁸⁶ Eine allgemeingültige Anwendung von Mindestanforderungen kann sich daher lediglich auf die Network Performance und die sie beschreibenden Parameter reduzieren, da eine Beurteilung der Qualität durch den Nutzer oder Beschränkungen, die (ggf.) aus dem technischen Equipment der Endnutzer oder Anbieter an den Enden der Verbindung entstehen, sehr heterogen und individuell ist. Für diese Network Performance Parameter verwenden wir im weiteren Verlauf die Bezeichnung QoS, wobei wir das Endnutzerequipment an beiden Enden der Netzverbindung ausschließen. Siehe wik-zafaco-Gutachten (2021), S. 51-65.

⁸⁷ Siehe wik-zafaco-Gutachten (2023).

⁸⁸ Siehe hierzu ebenfalls das wik-zafaco-Gutachten (2023).

im wik-zafaco-Gutachten 2021 verwendeten Festlegungen auf und unterscheiden weiterhin zwischen den folgenden Dienstekategorien:

- **Dienste mit kontinuierlichen Datenströmen** sind Dienste, die a priori⁸⁹ eine fest definierte Mindestbandbreite, die in IP-Netzen in Form einer virtuellen Verbindung emuliert wird, benötigen. Diese ist für die Übertragung eines kontinuierlichen Datenstroms erforderlich, der i.d.R. mit einer konkreten Datenübertragungsrate im Down- und Upstream beschrieben werden kann. Herkömmlich wurden diese Dienste über eine konstante Bitrate (CBR – constant bit rate) realisiert, die insbesondere für interaktive Echtzeit-Dienste wie Sprache oder Video-Konferenzdienste Anwendung fand.⁹⁰ Aufgrund dieser Zusammenhänge hatten wir diese Dienstekategorie im wik-zafaco-Gutachten 2021 auch als „Dienste MIT determinierten Mindestanforderungen“ bezeichnet.⁹¹
- **Dienste mit diskreten Datenvolumina** gehen mit einer variablen Bitrate einher (VBR – variable bit rate). Sie lassen sich durch die Übertragung eines diskreten Datenvolumens beschreiben. Beispiele für die Anwendung sind unter anderem webbrowsers-basierte Dienste, E-Mail oder auch Downloads. Hierbei ist die Ableitung von dienstespezifischen Mindestanforderungen an die Datenübertragungsrate a priori nicht technisch (durch Standards) vorgegeben. Daher hatten wir diese im wik-zafaco-Gutachten 2021 auch als „Dienste OHNE determinierte Mindestanforderungen“ bezeichnet.⁹² Daher führen wir webbasierte Messungen durch, um die benötigte Datenbasis für die Quantifizierung der Mindestanforderungen zu generieren. 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.⁹³

Die von uns angewendete methodische Vorgehensweise zur Quantifizierung der technischen Parameter und die Notwendigkeit verschiedener Ermittlungsmethoden unterscheidet sich für diese beiden Dienstekategorien.

Entsprechend der im wik-zafaco-Gutachten 2021 gewählten Methodik kommt eine Bottom-up-Methodik zum Ansatz, bei der die Höhe der gesuchten QoS-Parameter die Ziel-

⁸⁹ Durch die Trennung von Transport- und Anwendungsschicht in IP-Netzen können auf Anwendungsebene Verfahren angewendet werden, die eine Dienstrealisierung auch bei Verletzung dieser Anforderung (Verfügbarkeit der fest definierten Bandbreite) ermöglichen. Hierzu verweisen wir auf das wik-zafaco-Gutachten (2023).

⁹⁰ Hierbei sind sowohl Audio- als auch Video-Anwendungen (inkl. Streaming) durch den zugrundeliegenden Codec spezifiziert. 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. Diese (Video- und Audio-Standards) werden bei der Ermittlung der technischen Mindestanforderungen von Diensten mit kontinuierlichen Datenströmen herangezogen. wik-zafaco-Gutachten (2021), S. 55.

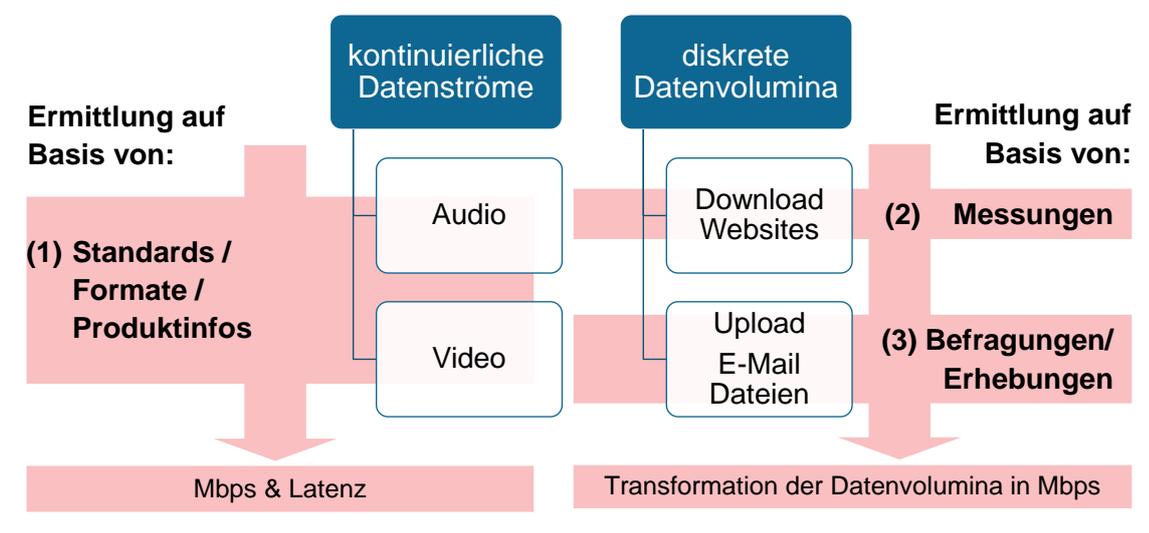
⁹¹ wik-zafaco-Gutachten (2021), Abschnitt 3.

⁹² wik-zafaco-Gutachten (2021), Abschnitt 3.

⁹³ wik-zafaco-Gutachten (2021), S. 55.

größe darstellt. Die in Kapitel 2 identifizierten Produkte bilden dabei die zentrale Datenbasis. Die nachfolgende Abbildung illustriert die für dieses Gutachten angewendeten Quellen und Ermittlungsmethoden der Bottom-up-Analyse.

Abbildung 14: Drei Methoden für die Ermittlung der Basisdaten



Quelle: In Anlehnung an wik-zafaco-Gutachten (2021), S. 69.

3.1.2 Angewendete Qualitätsmaßstäbe für die Dienstekategorien

Für Dienste mit kontinuierlichen Datenströmen wurde auf eine sogenannte Standardqualität abgestellt. Diese ist für die Anhang V-Dienste „Telefonie und Videotelefonie“ als solche benannt und wurde für die Telefonie mit der Qualität des PSTN festgelegt. Für Videoangebote – sowohl im Bereich Streaming als auch Videokonferenzen – wurde auf die SD-Qualität (Standard-Definition) als maßgebende Qualität abgestellt.

Für Dienste mit diskreten Datenvolumina wurde der Qualitätsmaßstab unter Rückgriff auf die Systematisierung von Diensten durch die ITU⁹⁴ sowie weitere QoE-Studien bzw. Empfehlungen abgeleitet. Da bei den Diensten dieser Kategorie ein definiertes Datenvolumen übertragen werden muss, ist die hierfür akzeptierte Übertragungsdauer⁹⁵ die bestimmende Größe für den Komfort auf Seiten des Nutzers. Bezugnehmend auf die von der ITU etablierte Kategorisierung von Diensten, wurden diese in Abhängigkeit ihrer Sensitivität hinsichtlich der tolerierten Übertragungsdauer vier verschiedenen Kategorien zugeordnet. Diese sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt. Die zur Ableitung der

⁹⁴ ITU-T G.1010 (11/2001), S. 6.

⁹⁵ Welche Nutzungs- bzw. Übertragungsdauer akzeptabel ist, ist letztlich eine subjektive Frage. Die Vorgabe bedarf daher eines Werturteils. So hat Google unter Einsatz von Analyse-Tools Erhebungen durchgeführt, wonach ein Anwender statistisch nach 4 Sekunden das Interesse verliert, eine Webseite zu besuchen, wenn deren Darstellung mehr Zeit in Anspruch nimmt („Goldene Google Regel“) (wik-zafaco-Gutachten (2021), S. 66).

Mindestanforderungen angewendeten Übertragungsdauern sind in der letzten Spalte benannt. Die Kategorie „responsive“ umfasst die Webseitenabrufe, welche einen Großteil der Anhang V-Dienste repräsentieren. Da hier ein Qualitätsmaßstab gemäß Grundversorgung festgelegt werden soll, wurde der von der ITU angegebene Wert nach oben angepasst. Bei der Festlegung des Wertes in Höhe von vier Sekunden wurde auf die sog. „Goldene Google Regel“ abgestellt.⁹⁶

Tabelle 19: Vergleich der zeitlichen Toleranz nach ITU, Google „Goldene Regeln“, Nielsen „useability concept“ und in der Untersuchung angewendete Werte

Kategorie	tolerierte Übertragungsdauer [s]	Ansatz für Mindestanforderungen [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-zafaco-Gutachten (2021), Tabelle 3-6.

Für die nicht-kritischen Dienste wurde auf eine Transformation des Datenvolumens, wie bereits in 2021, verzichtet.

Die Zuordnung der betrachteten Produkte zu den genannten Kategorien entspricht der im wik-zafaco-Gutachten 2021 gewählten und ist in der nachfolgenden Tabelle dargestellt. Da bei cloudbasierten Diensten auch Anwendung wie beispielsweise MS Office Anwendungen (Word, Excel, PowerPoint) berücksichtigt werden und nicht nur Filehosting, kommt für sie die Kategorie „responsive“ zur Anwendung.⁹⁷

⁹⁶ Siehe hierzu wik-zafaco-Gutachten (2021), Abschnitt 3.1.2. Es handelt sich hierbei um eine Empfehlung an die Entwickler von Webseiten, der zufolge der Seitenaufbau beim Nutzer nicht länger als 4 Sekunden in Anspruch nehmen sollte.

⁹⁷ Im wik-zafaco Gutachten 2021 wurde bei Clouddiensten lediglich das File-Hosting in der Kategorie „timely“ berücksichtigt.

Tabelle 20: Zuordnung der ITU-Kategorien auf die Produkte der Mindestversorgung

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-zafaco-Gutachten (2021), Tabelle 3-5.

Neben den gemessenen Werten für das Datenvolumen ist bei der Ermittlung der Mindestanforderungen ein Zuschlag für den Protokoll-Overhead des IP/TCP notwendig. Die Größe des Zuschlags ist von mehreren Faktoren abhängig, weshalb an dieser Stelle – wie im ersten wik-zafaco-Gutachten 2021 – auf die Empfehlungen des BEREC zurückgegriffen wird und ein pauschaler Aufschlag von 3 % für eine Bestimmung der IP-Payload veranschlagt wird. Dieser findet für alle Dienste Anwendung, für die wir, ausgehend vom Datenvolumen, eine Transformation in die abgeleitete Datenübertragungsrate vornehmen.

3.1.3 Transformation des Datenvolumens in Mbps (Dienste mit diskreten Datenvolumina)

Die Einordnung der Produkte in die Dienstekategorien impliziert eine Festlegung der angestrebten Dienstqualität im Sinne des Komforts, mit dem Nutzern die Inhalte über den Internetzugang zur Verfügung gestellt werden. Entsprechend der nachfolgend dargestellten Formel kann eine Transformation des Datenvolumens in die gesuchte Größe Mbps (Datenübertragungsrate) erfolgen.

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

Da für die Datengrundlage (Datenvolumen [MB]) je Produkt nicht nur eine Beobachtung, sondern mehrere Beobachtungen vorliegen, sind weitere methodische Festlegungen erforderlich, die bereits im wik-zafaco-Gutachten 2021 hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile erörtert wurden. Auch für dieses Gutachten wird daran festgehalten, die für ein Produkt gemessenen Durchschnittswerte für die Ableitung der dienstespezifischen Anforderungen an die Datenübertragungsrate heranzuziehen.

3.1.4 Latenzanforderungen

Die Mindestanforderungen an den Internetzugangsdienst sind nach § 157 Absatz 3 Satz 3 sowohl anhand der Datenübertragungsrate (Down- und Upstream) als auch anhand der Latenz (Verzögerung) zu definieren. Im wik-zafaco-Gutachten 2021 wurde herausgearbeitet, dass echtzeitorientierte Dialogdienste der Treiber für die Anforderungen an die Latenz sind. Als Maßstab für die angestrebte Qualität wurde seinerzeit die Qualitätsbewertung auf Basis der klassischen Sprachtelefonie herangezogen. Auf Basis von Analysen der Nutzerzufriedenheit in Abhängigkeit der Latenz konnte für diese eine Obergrenze von 150 ms abgeleitet werden. Die im wik-zafaco-Gutachten 2021 analysierten Zusammenhänge sind weiterhin gültig, weshalb eine erneute Betrachtung der Latenzanforderungen entfallen kann. Die Werte aus dem Gutachten 2021 haben somit weiterhin Bestand.

3.2 Dienste mit kontinuierlichen Datenströmen

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 des Produktes wird bei dieser Herangehensweise an der Höhe des Datenvolumens festgemacht. Da die Anforderungen an die Datenübertragungsrate vom Anbieter des Audio- oder Videoobjekts angegeben werden, haben wir auf diese Daten abgestellt. Wie bereits im wik-zafaco-Gutachten 2021 ermitteln wir somit unter Rückgriff auf Produktinformationsblätter

die zugehörigen QoS-Anforderungen. In den folgenden Abschnitten ist dargestellt, welche Produkte mit welchen Qualitäten und damit Datenübertragungsraten einhergehen.⁹⁸

Wie bereits in Abschnitt 3.1.1 angedeutet, erfordern die Dienste mit kontinuierlichen Datenströmen eine feste Datenübertragungsrate. Diese ist als eine Obergrenze für die betrachtete Dienstqualität zu verstehen. Die Leistungsfähigkeit der Anwendungen, die unabhängig von der Transportschicht realisiert werden, erlaubt vielfach auch eine Dienstrealisierung mit geringeren Datenübertragungsraten.⁹⁹ Diese Aspekte sind jedoch nur unter Berücksichtigung von Kapazitätsengpässen relevant und bleiben bei einer Analyse, die allein auf die Eigenschaften der jeweiligen Dienste abstellt, außer Betracht. Sie werden erst im Kontext der Parallelnutzung im Mehrpersonenhaushalt aufgegriffen.

3.2.1 Anrufe, Videoanrufe und -Konferenzen

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Anforderungen für Anrufe und Videoanrufe – (ohne VPN). In den Zellen sind jeweils die Werte für den Downstream wie auch den Upstream gelistet.

Tabelle 21: Bandbreitenanforderungen für Anrufe und Videoanrufe – (ohne VPN)

Anrufe und Videoanrufe	high-quality [Mbps]	720p HD [Mbps]	1080p HD [Mbps]	Quelle
Audio (G.711)	0,0922			Yu, Ajarmeh (2017)
Videoanrufe (1:1) über Skype	0,128 0,128 0,300 0,300	0,400 0,400 0,500 0,500	1,200 1,200 1,500 1,500	How much bandwidth does Skype need? Skype Support
Videoanrufe (1:1) über Teams	0,150 0,150	1,500 1,500	4,000 4,000	Prepare your organization's network for Teams - Microsoft Teams Microsoft Learn
Videoanrufe (1:1) über WhatsApp	0,700 0,700	-	-	Genug Datenvolumen für alles - PC-WELT (pcwelt.de)
Videoanrufe (1:1) über Zoom	0,600 0,600	1,200 1,200	3,000 3,800	Zoom system requirements: Windows, macOS, Linux – Zoom Support

Quelle: wik.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Anforderungen für Videokonferenzen.

⁹⁸ wik-zafaco-Gutachten (2021), S. 69; siehe auch Abbildung 14.

⁹⁹ Hierzu verweisen wir auf das Gutachten Qualitätsparameter, wik-zafaco Gutachten (2023).

Tabelle 22: Bandbreitenanforderungen für Videokonferenzen (in Mbps) – (ohne VPN)

Videokonferenzen	high-quality [Mbps]	720p HD [Mbps]	1080p HD [Mbps]	Quelle
Videokonferenz über Skype ¹	0,512 0,128 2,000 0,512	-	-	How much bandwidth does Skype need? Skype Support
Videokonferenz über Teams ²	0,250 0,250	2,500 2,500	4,000 4,000	Prepare your organization's network for Teams - Microsoft Teams Microsoft Learn
Videokonferenz über Whatsapp	0,700 0,700	-	-	Genug Datenvolumen für alles - PC-WELT (pcwelt.de)
Videokonferenz über Zoom	0,600 1,000	1,800 2,600	3,000 3,800	Zoom system requirements: Windows, macOS, Linux – Zoom Support

Quelle: wik

Anmerkung: ¹Skype hat Bandbreitanforderungen in Abhängigkeit von der Anzahl von Teilnehmern an der Videokonferenz (3, 5 und 7+ Teilnehmer). Dargestellt werden Down- und Upload- Anforderungen für 3 Teilnehmer. ²Meetings mit Screen Sharing.

3.2.2 Remote Desktop

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Bandbreitenanforderungen für verschiedene Remote-Desktop-Anwendungen auf Basis des Produkts MS Azure.

Tabelle 23: Bandbreitenanforderungen für Remote Desktop (Download in Mbps) nach Produktinformationen von MS Azure – (ohne VPN)

Remote Desktop Szenario	Default mode [Mbps]	H.264/AVC 444 mode [Mbps]
Idle	0,0003	0,0003
Microsoft Word	0,1 - 0,15	0,2 - 0,3
Microsoft Excel	0,15 - 2,0	0,4 - 0,5
Microsoft PowerPoint	4,0 - 4,5	1,6 - 1,8
Web Browsing	6,0 - 6,5	0,9 - 1,0
Image Gallery	3,3 - 3,6	0,7 - 0,8
Video playback	8,5 - 9,5	2,5 - 2,8
Fullscreen Video playback	7,5 - 8,5	2,5 - 3,1

Quelle: wik auf Basis von Microsoft (2022). [Remote Desktop Protocol bandwidth requirements Azure Virtual Desktop - Azure | Microsoft Learn](#). Letzter Zugriff: 02.08.2023.

Für die in die Quantifizierung einfließenden Anwendungen haben wir, wie bereits im wik-zafaco-Gutachten 2021, auf das Office-Paket abgestellt. Microsoft unterscheidet dabei zwischen einem Standardmodus und dem H.264/AVC 444 Videomodus, wobei letzterer

qualitativ höherwertiger ist, da er das verwendete Videokompressionsverfahren in Abhängigkeit der verfügbaren Übertragungskapazitäten einstellen kann.¹⁰⁰ Für unsere Analyse haben wir auch diesmal auf den H.264/AVC 444 Videomodus abgestellt. Anwendungen mit den maximalen Anforderungen an die Datenübertragungsrate, wie sie durch Videowiedergabe im Vollbildmodus benötigt werden, haben wir dabei jedoch vernachlässigt.¹⁰¹

3.2.3 Videostreaming

Seit dem ersten wik-zafaco-Gutachten 2021 hat sich kaum eine Änderung in Bezug auf Qualitätsstufen und Datenübertragungsraten von Videostreaming ergeben.¹⁰²

Grundsätzlich entscheiden die meisten Streaming-Plattformen automatisch die Qualitätseinstellung (Auflösung); sie wird i.d.R. adaptiv an die verfügbare Datenübertragungsrate angepasst. Der Nutzer hat meist die Möglichkeit manuell auf die Qualität zuzugreifen. Beispielsweise bietet Netflix diese Funktion an.¹⁰³

Die Bandbreitenanforderungen für die identifizierten Top-Anbieter von Videostreaming werden nach Qualitätsstufen in der nachstehenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 24: Bandbreitenanforderungen für Videostreaming (Download in Mbps)

Video-Streaming	SD (480p)	HD (720p)	HD (1080p)	Ultra HD (4K)	Quelle
YouTube	1,1	2,5	5,0	20,0	Systemanforderungen und von YouTube unterstützte Geräte - YouTube-Hilfe (google.com)
Netflix	-	3,0	5,0	15,0	Internet connection speed recommendations (netflix.com)
Amazon Prime Video	1,0	-	5,0	15,0	Video in 4K Ultra HD auf dem Fire TV-Gerät ansehen - Amazon-Kundenservice Prime Video: Help

Quelle: wik auf Basis von Produktinformationen.

¹⁰⁰ Die Anwendung nutzt dabei i.d.R. selbständig das in der jeweiligen Konstellation passende Kompressionsverfahren. Die Verwendung des in der letzten Spalte dargestellten Videokompressionsverfahrens greift insbesondere dann, wenn viele Grafikinhalte am Bildschirm verarbeitet werden. Im Fall von Word und Excel – die in der Regel wenig Grafikinhalte haben – ist die Datenübertragungsrate im H.264/AVC 444 Videomodus sogar höher (und damit die Kompression geringer).

¹⁰¹ wik-zafaco-Gutachten (2021), S. 109.

¹⁰² In dem genannten Gutachten boten manche Betreiber kein Video-Streaming in SD-Qualität mehr an, diese Betreiber sind bei dem aktuellen Gutachten nicht mehr relevant. Die großen, hier genannten Streaming-Anbieter stellen ihre Inhalte aktuell alle in SD-Qualität bereit.

¹⁰³ Netflix (2023).

Bei der Auswahl der Produkte für die Grundversorgung haben wir an einer Qualität in SD, Standard-Definition, festgehalten.

3.2.4 Musik-Streaming

Videoplattformen, wie beispielsweise YouTube, haben sich seit ihrer Gründung (YouTube 2005) kontinuierlich weiterentwickelt.¹⁰⁴ Neben der Vielfalt der Inhalte hatte sich auch die Qualität der Auflösung stetig verbessert und steht damit im Einklang mit den Fortschritten in der Bildschirm- und Fernsehtechnologie.¹⁰⁵ In den ersten Jahren bis 2008 war die vorherrschende Auflösung Standard-Definition (SD), typischerweise mit einer Auflösung von 480p oder darunter. Ende 2009 ermöglichte die vorschreitende Technologie den Übergang von SD zu High Definition (HD) und damit das Hochladen und Streamen von Inhalten mit einer Auflösung von 720p oder 1080p.¹⁰⁶ Ein Jahr später kündigte YouTube 4k als nächste verfügbare Videoauflösung an.¹⁰⁷ Mittlerweile gibt es auch noch höhere Auflösungen als 4K. Diese sind jedoch noch nicht sehr verbreitet.¹⁰⁸

Im Vergleich zum ersten wik-zafaco-Gutachten 2021 hat sich kaum eine Änderung in Bezug auf Qualitätsstufen und Datenübertragungsrate von Musik-Streaming ergeben.

Im Bereich der Musik-Streaming ist eine Tendenz in Richtung „Lossless Audio Streaming“ (Verlustbefreite Audioqualität) ersichtlich. Diese wird von vielen Anbietern bereits gestellt. Der größte Anbieter Spotify hat ebenfalls "Spotify Hi-Fi" angekündigt. Hierbei sollen Songs in CD-Qualität, also ebenfalls „Lossless Audio Streaming“ angeboten werden. Diese Option ist zum Zeitpunkt der Recherche (17.04.2023) nicht verfügbar.

104 McFadden, C. (2023).

105 Corning (2023).

106 Biggs, B. (2009).

107 Sarukkai, R. (2010).

108 Mittlerweile gibt es bereits 8K Inhalte, allerdings sind diese auf dem Streaming Markt sehr rar. Von den größeren Streaming Diensten, die wir hier aufführen, kann lediglich Youtube Inhalte mit einer 8K Auflösung zur Verfügung stellen. Siehe <https://thetechrover.com/what-8k-content-is-available-in-2023/>. Seit 2010 können 8K Inhalte bei Youtube laut Google schon hochgeladen werden, offiziell als diese gelabelt sind sie erst ab 2015. Da gab es allerdings auch noch kaum Bildschirme, die diese Auflösung abbilden konnten. Siehe hierzu:

<https://9to5google.com/2015/06/08/videos-supporting-8k-resolution-starting-to-appear-on-youtube/>.

Auch heute sind Monitore/Fernseher, die 8K auflösen können, noch recht teuer (bei Media Markt kosten diese Geräte ab 2000€, die meisten liegen zwischen 4000 und 8000 Euro). Es gibt also mittlerweile noch höhere Auflösungen als 4K, aber verbreitet sind diese noch nicht. Bei Youtube werden sie unter den Systemanforderungen auch noch nicht gelistet.

Tabelle 25: Bandbreitenanforderungen für Musikstreaming (Download in Mbps)

Musik-Streaming	Niedrig	Standard	Hoch	Sehr hoch	Quelle
Spotify	0,160	0,320	-	-	Audioqualität - Spotify
Amazon Music	-	0,320	0,850	3,730	Amazon.de: Amazon Music HD FAQs: Musik-Downloads
YouTube Music	0,048	0,128	0,256	-	Audioqualität auswählen oder ändern - YouTube Music-Hilfe (google.com)

Quelle: wik auf Basis von Produktinformationen.

Auch für Musikstreaming haben wir bei der Auswahl der Produkte für die Grundversorgung einer Qualität in SD, Standard-Definition, festgehalten.

3.2.5 Internetradio

Die analysierten Radiosender bieten eine Bandbreite von 0,128 Mbps als Standard Qualität an. Hierbei ist MP3 das gängigste Format.¹⁰⁹

Tabelle 26: Bandbreitenanforderungen für Internetradio (Download in Mbps)

Internetradio	Niedrig	Standard	Hoch	Quelle
Bayern1	0,064	0,128	0,256	Internetradio: BR-Programme richtig einstellen Technik Inhalt Unternehmen BR.de
WDR2	-	0,128	-	HTTP-Streams der WDR-Radios - Digitalradio - Dialog - Unternehmen - WDR
SWR3	-	0,128	-	SWR3 über das Internet empfangen

Quelle: wik auf Basis von Produktinformationen.

Anmerkung: Angaben in MP3-Format.

¹⁰⁹ MP3 (ISO MPEG Audio Layer 3) ist ein Audioformat, das die Original-Musik-Datei stark komprimiert wiedergibt. Die Komprimierung erlaubt eine relevante Reduktion des Datenvolumens, was dieses Format für Streaming-Angebote attraktiv macht. Durch die Komprimierung ist MP3 allerdings immer verlustbehaftet. Dieser Verlust ist allerdings nicht unbedingt hörbar, wobei es hier Unterschiede in Abhängigkeit der Auflösung gibt. Siehe hierzu Angaben von Magix, einem großen Hersteller von Audiosoftware): <https://www.magix.com/de/musik-bearbeiten/audioformate/mp3/>.

3.3 Dienste mit diskreten Datenvolumina

Für die Quantifizierung der technischen Mindestanforderungen von Diensten mit diskreten Datenvolumina greifen wir auf zwei verschiedene Datenerhebungsmethoden zurück:

- **Webbasierte Messungen:** Zur Ermittlung der übertragenen Datenmenge bei Nutzung eines Browsers. Die in Kapitel 2 identifizierten repräsentativsten Top-Produkte werden als Grundlage für die webbasierte Messung herangezogen. Diese finden bei denjenigen Top-Produkten Anwendung, denen eine webbrowsersbasierte Realisierung zu Grunde liegt.
- **Befragungen/Erhebungen:** Zur Ermittlung der durchschnittlichen Datenmenge für den E-Mail-Dienst haben wir einen Fragenkatalog an fünf große Betreiber von E-Mail-Plattformen versendet und die gewonnenen Daten ausgewertet. In den übrigen Fällen (beispielsweise bei Diensten mit Herunter- oder Hochladen von Dateien) werden die Datenvolumina unter Rückgriff auf Studien und sonstige Desk Research ermittelt.

3.3.1 Webbasierte Messungen

3.3.1.1 Vorgehensweise

Wie im ersten wik-zafaco-Gutachten 2021 wird anhand der Developer-Edition des Google-Chrome Browsers („Entwicklertools“) das übertragene Datenvolumen bei Nutzung eines Browsers gemessen. Dabei ist aus Nutzersicht das Datenvolumen relevant, das für die erste Darstellung von Inhalten benötigt wird, da bereits ab diesem Moment der Nutzer damit beginnen kann, sich den Inhalt der Webseite zu erschließen, während weitere nachgelagerte Inhalte währenddessen nachgeladen werden. Dabei handelt es sich um das Datenvolumen, das bis zum Zeitpunkt des sogenannten Onload Events heruntergeladen wurde („Daten@Load [MB]“).¹¹⁰ Dieser Maßstab findet für die Erhebung des Datenvolumens Anwendung und wird des Weiteren als Basis für Ermittlung der dienstebezogenen, technischen Mindestanforderung herangezogen.

Für die Durchführung der webbasierten Messung bzw. Anwendung des Entwicklertools müssen die identifizierten Produkte in konkrete Abrufe von Webseiten („Klicks“) oder auf sogenannte „Nutzungsvorgänge“ heruntergebrochen werden (Gegenstand der Messungen). Als Nutzungsvorgänge wurden typische, messbare Aktionen von Usern auf den Webseiten ausgewählt, welche von diesen üblicherweise durchgeführt werden. Der erste

¹¹⁰ Für eine Anleitung zur Durchführung der webbasierten Messung mit den „Entwicklertools“ siehe wik-zafaco-Gutachten (2021), S. 71-73.

Nutzungsvorgang ist hierbei immer der Aufruf der Webseite. Die folgenden Nutzungsvorgänge orientieren sich am Aufbau und den Inhalten der Webseite.¹¹¹ Sofern möglich wurden für dieses Gutachten die Nutzungsvorgänge aus dem ersten wik-zafaco-Gutachten 2021 übernommen.¹¹²

Die aus Kapitel 2 identifizierten repräsentativsten Top-Produkte werden jeweils mit bis zu sechs Messungen pro Nutzungsvorgang und bis zu fünf Nutzungsvorgänge gemessen.¹¹³ Jedes Produkt hat somit bis zu 30 Messbeobachtungen (siehe Beispieldarstellung in Abbildung 15).

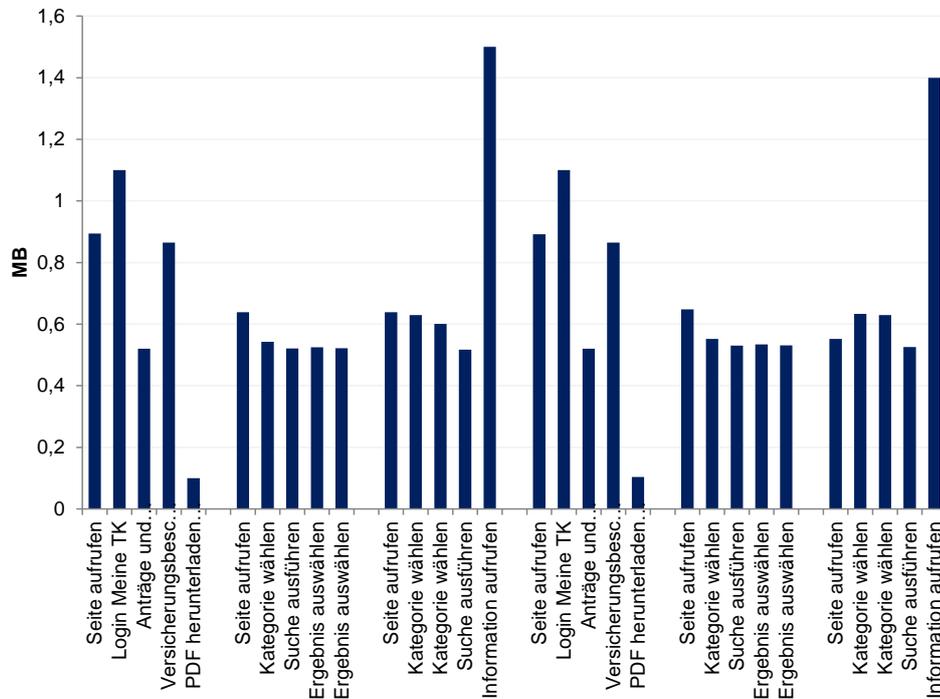
Für die methodische Vorgehensweise verweisen wir auf das wik-zafaco-Gutachten 2021 (Abschnitt 3.2.3).

111 Bei den Nutzungsvorgängen im ersten Gutachten wurden in den verschiedenen Messungen einzelne Parameter variiert, z.B. der Suchbegriff verändert (beispielsweise bei google.de, amazon.de, idealo.de, etc.).

112 Sollten im Rahmen der Aktualisierung von Top-Produkten neue Produkte identifiziert werden (wie beispielsweise wetteronline.de, dhl.de oder linkedin.com), dann sind diese Produkte dementsprechend mit einem neuen Set von Nutzungsvorgängen ausgestattet.

113 Eine Abweichung von den standardmäßigen fünf Messungen hat sich im Einzelfall aus der Struktur der Webseite des jeweiligen Produktes ergeben, so auch bereits im wik-zafaco-Gutachten (2021), S. 74.

Abbildung 15: Beispiel für webbasierte Messung von Top-Produkten (Techniker Krankenkasse (tkk.de)) und deren gemessene Nutzungsvorgänge. Hier: „Suchmaschinen“, die das Suchen und Auffinden aller Arten von Informationen ermöglichen



Quelle: wik.

Bei den identifizierten 30 zu messenden Produkten entsteht ein Datensatz mit bis zu 900 Messbeobachtungen. Alle gemessenen Top-Produkte und deren Nutzungsvorgänge werden im Anhang 2 zu dieser Studie dargestellt.

Die webbasierten Messungen wurden in der Zeit von April bis Mai 2023 durchgeführt. Die nachstehende Tabelle stellt Statistiken zu den webbasierten Messergebnissen dar.

Tabelle 27: Messergebnisse anhand des Entwicklertools für webbasierte Produkte

Webseite	Datenvolumen (Daten@Load) [MB]				
	Min.	Mittelwert	Median	Max.	N
www.google.de	0,62	1,92	1,90	3,50	30
www.ideal.de	0,98	1,22	1,20	1,60	30
www.dhl.de	0,78	1,37	1,10	2,80	30
www.booking.com	0,50	1,89	1,40	4,00	30
www.bahn.de	0,31	0,84	0,83	1,30	28
www.arbeitsagentur.de/kursnet	0,73	1,80	1,20	5,10	28
www.tk.de	0,10	0,67	0,58	1,50	30
service.berlin.de	0,33	0,78	0,61	1,70	30
verwaltung.bund.de/portal/	1,20	1,73	1,60	2,50	30
www.wetteronline.de	1,20	2,45	2,40	4,10	30
de.wikipedia.org	0,11	0,43	0,29	3,10	30
scholar.google.de	0,05	0,06	0,06	0,07	30
www.fahrschule.de	0,04	0,87	0,75	2,00	30
anton.app/de	0,12	0,77	0,65	2,30	30
www.bild.de	1,00	1,95	1,70	3,20	30
www.tagesschau.de	0,79	0,97	0,99	1,40	30
www.amazon.de	0,68	1,64	1,60	3,10	30
www.ebay-kleinanzeigen.de	0,54	2,14	2,10	3,50	28
www.arbeitsagentur.de	0,32	1,57	1,75	2,90	30
www.stepstone.de	0,84	2,95	3,20	3,90	30
de.linkedin.com	0,25	2,19	2,90	4,90	26
www.vvr-bank.de	0,50	0,75	0,60	1,20	24
www.deutsche-bank.de	1,00	2,22	2,15	3,90	26
www.stadt-koeln.de	0,24	1,20	0,95	2,00	24
www.elster.de	1,00	1,03	1,00	1,40	30
www.youtube.com	0,10	0,37	0,12	1,70	30
www.facebook.com	0,41	3,60	4,35	5,00	30
www.office.com/launch/word	0,10	0,93	0,57	2,30	30
www.office.com/launch/excel	0,10	1,21	0,50	3,10	30
www.office.com/launch/powerpoint	0,11	1,71	0,69	6,40	30

Quelle: wik

3.3.1.2 Vergleich gegenüber der webbasierten Messergebnisse 2021

Im Rahmen der Plausibilitätsprüfung der webbasierten Messungen für das Jahr 2023 wurden die aktualisierten Messergebnisse mit den Messergebnissen aus dem wik-zafaco-Gutachten 2021 verglichen. Anhand dieses Abgleichs konnten folgende empirische Befunde festgestellt werden, die für eine Einordnung und Bewertung der Ergebnisse von Bedeutung sind.

Befund 1: Webseiten haben sich zwischenzeitlich in ihrer Gestaltung geändert.

Während es zu erwarten ist, dass der Inhalt der Webseite regelmäßig aktualisiert wird und somit auch die datenvolumenrelevanten Merkmale (beispielsweise die Qualität und/oder Anzahl von Texten, Bildern, Videos), haben zwischenzeitlich einige Produkte auch ihre Webseiten-Darstellung partiell oder komplett geändert. Das betrifft vor allem bahn.de (partiell) und arbeitsagentur.de/kursnet (komplett). Für das Produkt „arbeitsagentur.de/kursnet“ (die ehemalige „kursnet-finden.arbeitsagentur.de“) hat sich die Struktur der Webseite so geändert, dass die im ersten wik-zafaco-Gutachten 2021 verwendeten Nutzungsvorgänge nicht erneut angewendet werden konnten. Daher mussten in diesen Fällen zum Teil neue Nutzungsvorgänge definiert und gemessen werden. Aufgrund derartiger Veränderungen ist es für einige Webseiten – bei denen die Nutzungsvorgänge sich geändert haben – nicht möglich, das jetzt gemessene Datenvolumen sinnvoll mit dem der Vorstudie zu vergleichen.

Abbildung 16: Beispiel – neue Webseiten-Darstellung des Produkts „Kursnet“



Quelle: Screenshot (Kursnet / Bundesagentur für Arbeit (2023a)). <https://www.arbeitsagentur.de/kursnet>.
Letzter Zugriff: 02.08.2023

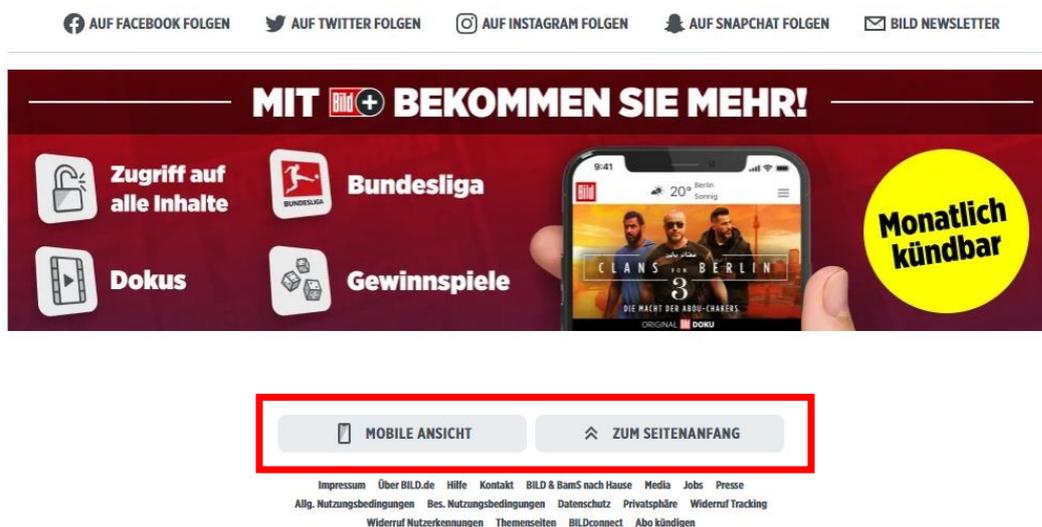
Befund 2: Mobil- vs. Klassischer Webansicht.

Einige Webseiten (beispielsweise bild.de) verfügen über eine automatische Weiterleitung auf die Mobilversion. Die URL wechselt dann z.B. von bild.de zu m.bild.de. Entgegen unserer Erwartung zeigt zum Zeitpunkt der Überprüfung¹¹⁴ die Mobilversion signifikant höhere Datenvolumen als die klassische Webversion auf.

¹¹⁴ Stand der Überprüfung: 27.04.2023. Datenmessungen: 12.04.2023 bis 26.04.2023.

Abbildung 17: Beispiel – Datenvolumen und Mobile- vs. Webansicht

BILD FOLGEN



Quelle: Screenshot Bild.de (2023): Startseite. Mobilansicht / klassische Ansicht [Screenshot]. In bild.de: <https://www.bild.de/>. Zuletzt abgerufen: 02.08.2023.

Befund 3. Systematische Änderung der Webseite

Im ersten wik-zafaco-Gutachten 2021 wurde anhand der webbasierten Messungen Ebay-Kleinanzeigen als Treiber für die dienstebezogenen Mindestanforderungen festgestellt. Hierzu wurden folgende mögliche Begründungen gegeben:¹¹⁵

„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.“

Die aktualisierte Messung von Ebay-Kleinanzeigen hat eine starke Reduktion des übertragenen Datenvolumens ergeben. Die Startseite von Ebay-Kleinanzeigen, die im ersten wik-zafaco-Gutachten 2021 einen hohen Wert gezeigt hatte, hat sich auf das Niveau der meisten Nutzungsvorgänge angepasst. Durch die neuen Messergebnisse kann es als eine Anpassung eines ehemaligen Ausreißers nach unten interpretiert werden.

¹¹⁵ Die auf Basis der Nutzungsvorgänge abgeleiteten Mindestanforderungen an die Datenübertragungsraten 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 (wik-zafaco-Gutachten (2021), S. 115).

Für google.de ist dagegen eine systematische Erhöhung der Datenanforderung aller Nutzungsvorgänge ersichtlich. Im Vergleich zu „Kursnet“, das einer Umstrukturierung der Webseite unterlag, ist bei Kleinanzeigen¹¹⁶ und google.de keine offensichtliche Änderung der Darstellung oder Struktur der Webseiten ersichtlich.

Befund 4. Grenzen der Stichprobe bei Diensten mit Produktenportalen

Im Rahmen der abschließenden Überprüfung der Datenmessungen wurde eine stärkere Streuung der Datenvolumina bei Amazon festgestellt. Diese ist auf die große Auswahl der verfügbaren Produkte zurückzuführen (ca. 250 Mio. Produkte laut Angaben von Amazon Business). Die Webseiten der in Amazon angebotenen Produkte variieren hinsichtlich der Anzahl und Qualität von Bildern/Videos.

Für eine bessere Einschätzung über die Spanne der Datenvolumina wurde die Stichprobe für den Nutzungsvorgang „Produkt aufrufen“ um zusätzliche 60 Datenmessungen erweitert. Auf Basis der erweiterten Stichprobe für Amazon beträgt das maximale Datenvolumen beim „Produkt aufrufen“ 7,4 MB und im Mittelwert 3,1 MB. Dies liegt über den bisherigen 1,6 MB für Amazon – allerdings unter Facebook (3,6 MB) und innerhalb der Spanne über alle Nutzungsvorgänge hinweg (0,1 – 5,1 MB).

Befund 5. Änderung des Treibers der Mindestanforderungen

Treiber der Mindestanforderung im ersten wik-zafaco-Gutachten 2021 waren (1) Ebay-Kleinanzeigen, (2) Bild und (3) Facebook. Auf Basis der aktualisierten Messung sind die Treiber (1) Facebook, (2) StepStone und (5) Wetteronline.

Diese Befunde deuten darauf hin, dass sich die Gestaltung von Webseiten dynamisch verändert. Die Änderungen sind dabei sowohl von technischer als auch von inhaltlicher Natur.

3.3.2 Messergebnisse und abgeleitete Datenübertragungsraten für webbrow-ser-basierte Produkte auf Basis der Nutzungsvorgänge

In den nachfolgenden Tabellen sind die Ergebnisse der Transformation von gemessenen Datenvolumina in die gesuchte dienstespezifische Datenübertragungsrate dargestellt.

¹¹⁶ Vormals Ebay-Kleinanzeigen.

Tabelle 28: Webbasierte Anhang-V Dienste – abgeleitete Datenübertragungsraten

Anhang V-Dienst	Webseite	Datenvolumen inkl. UDP/ TCP [MB]	Download [Mbps]
(2) Suchmaschinen, die das Suchen und Auffinden aller Arten von Informationen ermöglichen	www.google.de	1,98	3,96
	www.idealo.de	1,26	2,52
	www.dhl.de	1,41	2,81
	www.booking.com	1,94	3,89
	www.bahn.de	0,87	1,73
	www.arbeitsagentur.de/kursnet	1,86	3,71
	www.tk.de	0,69	1,38
(3) Grundlegende Online-Werkzeuge für die Aus- und Weiterbildung	www.wetteronline.de	2,52	5,04
	de.wikipedia.org	0,44	0,89
	scholar.google.de	0,06	0,12
	www.fahrschule.de	0,90	1,80
(4) Online-Zeitungen oder Online-Nachrichten	anton.app/de	0,80	1,59
	www.bild.de	2,01	4,01
(5) Online-Einkauf oder Online-Bestellung von Waren und Dienstleistungen	www.tagesschau.de	0,99	1,99
	www.amazon.de	1,69	3,39
(6) Arbeitssuche und Werkzeuge für die Arbeitssuche	www.ebay-kleinanzeigen.de	2,21	4,42
	www.arbeitsagentur.de	1,62	3,23
(7) Berufliche Vernetzung	www.stepstone.de	3,04	6,08
	de.linkedin.com	2,25	4,50
(8) Online-Banking	www.vvr-bank.de	0,77	1,55
	www.deutsche-bank.de	2,28	4,56
(9) Nutzung elektronischer Behördendienste	service.berlin.de	0,81	1,61
	www.stadt-koeln.de	1,24	2,47
	verwaltung.bund.de/portal/	1,79	3,57
	www.elster.de	1,06	2,13
(10) Soziale Medien und Sofortnachrichtenübermittlung	www.youtube.com	0,39	0,77
	www.facebook.com	3,70	7,41

Quelle: wik auf Basis von webbasierten Messungen (Entwicklertool).

Anmerkung: Das Datenvolumen bezieht sich auf den Mittelwert von Daten@Load aller Nutzungsvorgänge eines Produkts. Der UDP/TCP Aufschlag beträgt einheitlich 3 %.

Tabelle 29: Webbasierte Teleheimarbeit – abgeleitete Datenübertragungsraten

Teleheimarbeit	Webseite	Datenvolumen inkl. UDP/TCP [MB]	Download [Mbps]
Cloudbasierte Dienste	www.office.com/launch/word	0,96	1,92
	www.office.com/launch/excel	1,25	2,49
	www.office.com/launch/powerpoint	1,76	3,51

Quelle: wik auf Basis von webbasierten Messungen (Entwicklertool).

Anmerkung: Das Datenvolumen bezieht sich auf den Mittelwert des Daten@Load aller Nutzungsvorgänge eines Produkts. Der UDP-/TCP-Aufschlag beträgt einheitlich 3 %.

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.¹¹⁷

3.3.3 Befragungen/Erhebungen zur Dateigröße

3.3.3.1 E-Mail

Für die Ermittlung der durchschnittlichen Größe von E-Mails im Jahr 2023 haben wir, wie im ersten Gutachten, eine Marktbefragung durchgeführt. Diese bestand im Wesentlichen aus denselben Fragen, die im ersten wik-zafaco-Gutachten 2021 für die Ableitung der durchschnittlichen Größe von E-Mails relevant waren.^{118, 119} An der Befragung nahmen dieselben E-Mail-Anbieter wie im ersten wik-zafaco-Gutachten 2021 teil.¹²⁰ Davon haben wir Datenrückläufe von zwei E-Mail-Anbietern bekommen. Diese können aus den folgenden Gründen nicht in die Analyse Eingang finden:

- Der vom Anbieter eingesetzte Zeitraum für die Datenerhebung ist zu kurz (z.B. lediglich ein Tag); die erhobenen Werte des Anbieters sind im Vergleich zu seinem vergangenen Rücklauf instabil und somit für eine Aktualisierung nicht geeignet.
- Es wurden Durchschnittswerte pro Tag (anstelle pro E-Mail) übermittelt. Ohne Angabe zur zugrundeliegenden Anzahl von E-Mails konnte keine durchschnittliche Größe einer E-Mail errechnet werden.

Angesichts der nicht verwendbaren Datenlieferungen für das Jahr 2023 haben wir auf die Ergebnisse der letzten Rückläufe zu unserer Datenerhebung zu E-Mails im Jahr 2021 abgestellt. Nachstehende Tabelle zeigt die Ergebnisse aus der Marktbefragung 2021.

¹¹⁷ wik-zafaco-Gutachten (2021), S. 119.

¹¹⁸ Im Vergleich zum Fragebogen 2021 wurde der Fragebogen 2023 um diejenige Fragen gekürzt, die sich durch das erste wik-zafaco-Gutachten 2021 irrelevant gezeigt haben.

¹¹⁹ Siehe Anhang dieser Studie.

¹²⁰ Befragt wurden fünf E-Mail-Anbieter, die im deutschen Markt vertreten sind. Darunter Anbieter der im Abschnitt 2.1.2.1 gezeigten Top-Produkte im Bereich „E-Mail“.

Tabelle 30: Befragung 2021 – abgeleitetes Datenvolumen von E-Mails

E-Mail	Datenvolumen empfan- gener E-Mails	Datenvolumen gesende- ter E-Mails	Ø-Datenvolumen von E-Mails
mit Attachment	0,728 MB	1,076 MB	0,902 MB
ohne Attachment	0,061 MB	0,054 MB	0,057 MB

Quelle: wik-zafaco-Gutachten (2021).

Das durchschnittliche Datenvolumen wird somit unverändert mit 0,90 MB für E-Mails mit Attachment und 0,06 MB für E-Mails ohne Attachment zum Ansatz gebracht.

Für die tolerierte Übertragungsdauer kam die Kategorie „timely“ mit zehn Sekunden zur Anwendung. Da E-Mails sowohl empfangen als auch versendet werden, wurde eine Symmetrie für Up- und Download angesetzt.

Die abgeleiteten Datenübertragungsraten für beruflich veranlasste E-Mails berücksichtigen dabei den VPN-bedingten Aufschlag von 6 %.¹²¹

Tabelle 31: E-Mails und abgeleitete Datenübertragungsrate

E-Mail	Ø-Datenvolumen von E-Mails	Download und Upload [in Mbps]	
		privat (ohne VPN)	beruflich (mit VPN)
mit Attachment	0,902 MB	0,744	0,788
ohne Attachment	0,057 MB	0,047	0,050

Quelle: wik-zafaco-Gutachten (2021).

3.3.3.2 Datenaustausch

Den Dienst „Datenaustausch“ haben wir unabhängig vom tatsächlich verwendeten Speicherort untersucht (z.B. zum/vom Unternehmensserver, mittels E-Mail-Anhang oder zum/vom Cloud-Speicher) und auf die Dateigröße abgestellt.

Die Anforderungen des Datenaustauschs für Down- und Upload sind stark von der von Nutzer zu Nutzer variierenden Dateigröße und damit einzelfallabhängig. Deshalb hatten wir bereits im ersten wik-zafaco-Gutachten 2021 die Ermittlungsmethodik auf spezialisierte Studien abgestellt, die auf einer möglichst großen und aktuellen Datengrundlage basierten. Im Zeitraum April bis Juni 2023 hatten wir im Rahmen der Aktualisierung der Mindestanforderungen noch aktuellere Studien (ab 2022) auf Basis einer vergleichbaren Datengrundlage gesucht. Unserer Desktop-Research folgend liegen zum Zeitpunkt der

¹²¹ wik-zafaco-Gutachten (2021), S. 120.

Untersuchung keine neuen belastbaren Studien vor, die im Rahmen der Aktualisierung von durchschnittlichen Dateigrößen verwendet werden können.

Aus diesem Grund werden die im wik-zafaco-Gutachten 2021 verwendeten Ergebnisse der Studie von Dinneen und Nguyen (2021) fortgeschrieben. In dieser Studie wird eine durchschnittliche Dateigröße von 1,5 MB (arithmetisches Mittel) auf Basis von 49 Millionen Dateien aus 348 Nutzern aus dem Jahr 2021 ermittelt. Die nachstehende Tabelle zeigt wie bereits 2021 die durchschnittliche Dateigröße und ihre Transformation in Datenübertragungsraten (Download und Upload) für den Dienst ‚Datenaustausch‘ sowohl aus beruflichem als auch aus privatem Zweck.

Tabelle 32: Durchschnittliche Dateigröße und abgeleitete Datenübertragungsrate

Datenaustausch	Ø-Dateigröße (arithmetisches Mittel)	Download und Upload [in Mbps]	
		privat (ohne VPN)	beruflich (mit VPN)
mit Attachment	1,5 MB	1,24	1,31

Quelle: wik-zafaco-Gutachten (2021) auf Basis von Dinneen and Nguyen (2021). S.58.

Für die tolerierte Übertragungsdauer kam die Kategorie „timely“ mit zehn Sekunden zur Anwendung. Die Mindestanforderungen für beruflich veranlassten Datenaustausch berücksichtigen dabei den VPN-bedingten Aufschlag von 6 %.

3.4 Anforderungen der Dienstekategorien und Treiber für die Mindestanforderungen für den Internetzugangsdienst

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die aktualisierten Ergebnisse für Anhang V-Dienste auf vergleichbarem Niveau liegen, wie bereits im wik-zafaco-Gutachten 2021. Der Treiber E-Bay-Kleinanzeigen wurde durch facebook auf einem nun insgesamt etwas geringeren Niveau von 7,4 Mbps (ggü. 7,7 Mbps im Download) abgelöst.

Der Treiber für den Download bei der Teleheimarbeit ist unverändert (cloudbasierte Dienste), geht jedoch jetzt mit höheren Anforderungen an die Datenübertragungsrate einher als noch 2021.

Video-Streaming bleibt mit SD-Qualität unverändert der Treiber bei den Online-Inhaltdiensten. Der neu hinzugekommene Dienst „Internetradio“ spielt hinsichtlich der Anforderungen an die Datenübertragungsrate keine Rolle.

Der Upload wird durch den Datenaustausch getrieben, dem eine unveränderte Datenbasis zugrunde liegt (6 % VPN-Aufschlag für Teleheimarbeit).

Als Treiber für die technischen Anforderungen an den Internetzugangsdienst der Grundversorgung lassen sich damit die Anhang V-Dienste für den Download und die Teleheimarbeit für den Upload identifizieren. Dies ist gegenüber 2021 ein unverändertes Bild.

Tabelle 33: Ergebnis der dienstebezogenen Mindestanforderungen

	2021		2023	
	Down [Mbps]	Up [Mbps]	Down [Mbps]	Up [Mbps]
Anhang V-Dienste (max)	7,7	1,2	7,4	1,2
Teleheimarbeit (max)	2,2	1,3	3,5	1,3
Online-Inhaltedienste (SD)	3,0	-	3,0	-
Gesamt (max)	7,7	1,3	7,4	1,3

Treiber		
	Download	Upload
Anhang V-Dienste	(10) soziale Medien	Datenaustausch private Zwecke
Teleheimarbeit	Cloudbasierte Dienste (SaS)	Datenaustausch berufliche Zwecke
Online-Inhaltedienste	Video-Streaming	

Quelle: wik.

Die abgeleiteten Werte sind das Ergebnis einer Momentaufnahme. Die Analysen und Messungen haben gezeigt, dass sowohl kurz als auch mittelfristige Änderungen der Inhalte, des Aufbaus oder der technischen Realisierung der Webseiten zu beobachten sind und dass diese die hier abgeleiteten Werte beeinflussen. Dennoch können wir über die Vielzahl von durchgeführten Messungen – auch über die beiden Gutachten hinweg – eine gewisse Stabilität feststellen.

Für die Darstellung der Einzelergebnisse verweisen wir auf den Anhang dieser Studie.

4 Parallelnutzungsszenarien in Mehrpersonenhaushalten

Die bisherige Ermittlung von Mindestanforderungen in Kapitel 2 und 3 stellt darauf ab eine Mindestdatenübertragungsrate für den Internetzugang zu bestimmen, die die Nutzung der in § 157 Absatz 3 TKG spezifizierten Dienste ermöglicht. Methodisch wurde dazu auf die Eigenschaften des Dienstes bzw. der für die Dienste identifizierten repräsentativen Produkte abgestellt. Auch bedurfte es Vorgaben zu dem angestrebten Niveau der Nutzererfahrung (tolerierte Übertragungsdauern und Standard-Qualität/Definition).

Die alltägliche Nutzung eines Internetzugangs ist jedoch nicht auf eine sequenzielle Nutzung von einzelnen Diensten beschränkt. Die parallele Nutzung von Online-Diensten kann sowohl durch einen Nutzer als auch für mehrere Haushaltsmitglieder, die sich einen gemeinsamen Internetzugang teilen, gleichzeitig erfolgen. Eine zeitgleiche Nutzung des Internetzugangs durch mehrere Nutzer oder Dienste ist im Mehrpersonenhaushalt nichts Ungewöhnliches.

Aufgabe dieses Gutachtens ist unter anderem die Beschreibung von im Alltag relevanten Parallelnutzungsszenarien in Mehrpersonenhaushalten. Dazu sind relevante Parallelnutzungsszenarien zu identifizierend, die im weiteren Verlauf des Gutachtens herangezogen werden (siehe Abschnitt 5 und 5.4), um die mit einer Parallelnutzung einhergehenden Anforderungen an die Datenübertragungsrate zu ermitteln.

Bereits im wik-zafaco-Gutachten 2021 wurde auf die Parallelnutzung im Mehrpersonenhaushalt und die methodischen Restriktionen einer Ableitung entsprechender technischer Mindestanforderungen eingegangen.¹²² Eine Quantifizierung wurde aber seinerzeit nicht vorgenommen. In diesem Kapitel 4 machen wir eine Bestandsaufnahme erläutern, welche Aspekte bei einer Quantifizierung von Datenübertragungsraten im Fall der Parallelnutzung zu berücksichtigen sind und was für methodische Schlussfolgerungen sich daraus für unsere weitere Analyse ergeben.¹²³

4.1 Im Alltag relevante Parallelnutzungsszenarien – Begriffsklärung und Datenbasis

Konstellationen der Parallelnutzung von Internetdiensten in Mehrpersonenhaushalten sind vielfältig. Um sie zu beschreiben, berücksichtigen wir die folgenden Dimensionen:

- WER? – d.h., wie viele und welche Personen im Haushalt?
- WAS? – d.h., welche Dienste?
- WANN? – d.h., zu welchem Zeitpunkt?

¹²² Siehe wik-zafaco-Gutachten (2021), Kapitel 3.5.

¹²³ Im wik-zafaco-Gutachten 2021 wurde bereits ausgeführt, dass die Latenz im Kontext der Parallelnutzung nicht weiter zu untersuchen ist. Siehe wik-zafaco-Gutachten (2021), S. 125 f.

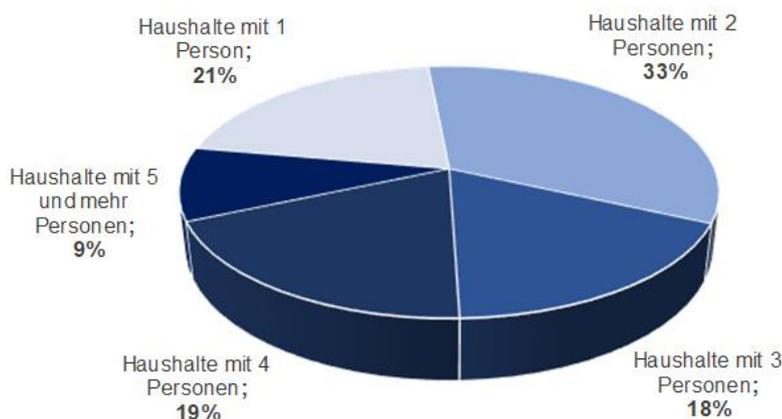
Um eine Datenbasis für die Quantifizierung von technischen Mindestanforderungen der Parallelnutzung in Mehrpersonenhaushalten zu gewinnen, haben wir eine Recherche zur Nutzung von Internetdiensten durchgeführt.

4.1.1 WER? – Haushaltsgröße und Haushaltsmitglieder für die Parallelnutzung – Datenbasis

Anzahl der nutzenden Personen

Für eine Einschätzung, wie viele Personen in Deutschland gemeinsam in einem Haushalt leben, haben wir auf die Angaben von Destatis zurückgegriffen (siehe Abbildung 18). Haushalte mit zwei Personen haben dabei mit 33 % das höchste Gewicht. Haushalte mit einer, drei oder vier Personen haben mit gut bzw. knapp 20 % eine geringere, aber innerhalb dieser Gruppe untereinander eine annähernd gleiche Häufigkeit.

Abbildung 18: Verteilung von Haushaltsmitgliedern nach Haushaltsgröße (in %)



Quelle: Darstellung wik auf Basis von Statistischem Bundesamt, Destatis (2021). Stand: 17.03.2023 / 10:43:58.

Die für Deutschland dargestellten Häufigkeiten bringen zum Ausdruck, dass auch Haushalte mit mehr als zwei Personen ein relevantes Gewicht haben und dass zu erwarten ist, dass sich die haushaltsbezogene Internetnutzung allein wegen der Anzahl von Haushaltsmitgliedern relevant unterscheiden kann.

Parallelnutzung von Diensten durch eine Person

Prinzipiell ist selbst eine einzelne Person in der Lage, mehrere Internetdienste parallel zu nutzen und entsprechend „parallel“ Übertragungskapazitäten in Anspruch zu nehmen. Es kann daher die parallele Dienstenutzung danach unterschieden werden, ob diese

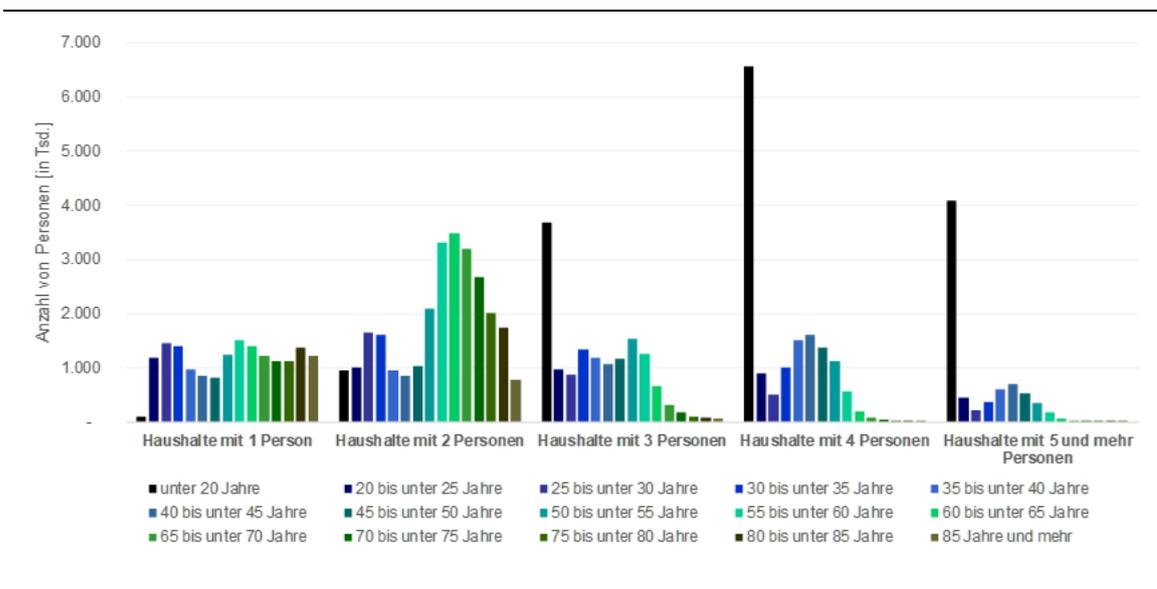
- durch eine Person oder
- durch mehrere Haushaltsmitglieder erfolgt.

Typische Konstellationen für die Parallelnutzung von Internetdiensten sind beispielsweise Internetrecherchen parallel zu einem Videostream oder einer Videokonferenz oder auch der zeitgleiche Empfang von E-Mails oder (Video-)Anrufen, deren Zeitpunkt der Empfänger selbst nicht steuern kann.

Altersbezogene Dienstenutzung

Neben der Frage, wie viele Personen in einem Haushalt den Internetzugang potentiell nutzen können, ist die Bestimmung des Bedarfs an Übertragungskapazität von den jeweils genutzten Diensten abhängig. Hier gehen wir davon aus, dass sich die genutzten Dienste in Abhängigkeit des Alters der Nutzer unterscheidet (siehe hierzu Abschnitt 4.1.2). Informationen über die in den jeweiligen Haushaltsgrößen vertretenen Altersklassen finden sich ebenfalls bei Destatis (siehe Abbildung 19). Die Darstellung verdeutlicht, welche Altersklassen in welchen Haushaltskonstellationen am häufigsten vertreten sind.

Abbildung 19: Anzahl von Haushaltsmitgliedern nach Altersgruppe je Haushaltsgröße



Quelle: wik auf Basis von Statistischem Bundesamt, Destatis (2021). Stand: 17.03.2023 / 10:43:58.

Die vorstehende Abbildung zeigt Muster hinsichtlich Haushaltsgröße und Altersgruppen. Während Haushalte mit einer Person von allen Altersklassen gleichmäßig vertreten sind (außer von Personen unter 20 Jahre), sind Haushalte mit zwei Personen von eher älteren Altersklassen (von 50 Jahre bis 70 Jahre) stark repräsentiert. Personen unter 20 Jahre (z.B. Kinder) sind ein wichtiges Merkmal von Haushalten ab drei Personen.

4.1.2 WAS? – Altersgruppen-typische Internetdienste – Datenbasis

Im ersten Abschnitt der Analyse dienstespezifischer Mindestanforderungen (Kapitel 2 und 3) wurde gezeigt, dass die technischen Anforderungen an die Datenübertragungs-

rate im Down- oder Upstream für die verschiedenen Dienste unterschiedlich hoch ausfallen. Daher ist für die Analyse einer Parallelnutzung im Mehrpersonenhaushalt auch von Bedeutung, welche Dienste vorwiegend genutzt werden. Um hierzu eine Einschätzung zu gewinnen, haben wir auf die Ergebnisse der jüngsten ARD/ZDF Onlinestudie 2022 zurückgegriffen. Die altersgruppenbezogenen Befunde stellen wir nachfolgend dar.

Tabelle 34 stellt die Tagesreichweiten nach Altersgruppen aus den Ergebnissen der ARD/ZDF Onlinestudie im Jahr 2022 dar. Hierbei wird nach medialer Internetnutzung (Video-, Audio- und Artikelangebote), Internetnutzung zur Individualkommunikation (beispielsweise E-Mail oder Chatten) und sonstiger Internetnutzung differenziert (Online-Banking, Internetsuche, soziale Netzwerke, etc.).

Tabelle 34: Onlinenutzung 2022 nach Altersgruppe (Tagesreichweite in %)

	mediale Internetnutzung (Video, Audio, Artikel)	Individualkommunikation (E-Mail, Chatten)	sonstige Internetnutzung
14-29 Jahre	97 %	62 %	70 %
30-49 Jahre	83 %	53 %	48 %
50-69 Jahre	65 %	39 %	33 %
ab 70 Jahren	38 %	22 %	16 %
Gesamtbevölkerung	72 %	45 %	42 %

Anmerkung: Laut der ARD/ ZDF Onlinestudie (2022) umfasst die Tagesreichweite „alle Personen, die in mind. einem Viertelstunden-Intervall eine Tätigkeit ausüben“.

Quelle: wik auf Basis von Beisch, N. und Koch, W. (2022).

Tabelle 35: Onlinenutzung 2022 nach konkreter Tätigkeit (Tagesreichweite in %)

	Video/ Bewegtbilder (inkl. Live-TV)	Audio (inkl. Live Radio)	Online- suche	Soziale Netzwerke	Online- Banking
14-29 Jahre	88 %	73 %	46 %	39 %	16 %
30-49 Jahre	61 %	49 %	31 %	18 %	10 %
50-69 Jahre	36 %	30 %	23 %	10 %	3 %
ab 70 Jahren	20 %	16 %	11 %	1 %	2 %
Gesamtbevölkerung	51 %	42 %	28 %	16 %	8 %

Anmerkung: Laut der ARD/ ZDF Onlinestudie (2022) umfasst die Tagesreichweite „alle Personen, die in mind. einem Viertelstunden-Intervall eine Tätigkeit ausüben“.

Quelle: wik auf Basis von Beisch, N. und Koch, W. (2022).

Die Ergebnisse der Onlinestudie lassen folgende Schlussfolgerungen zu:

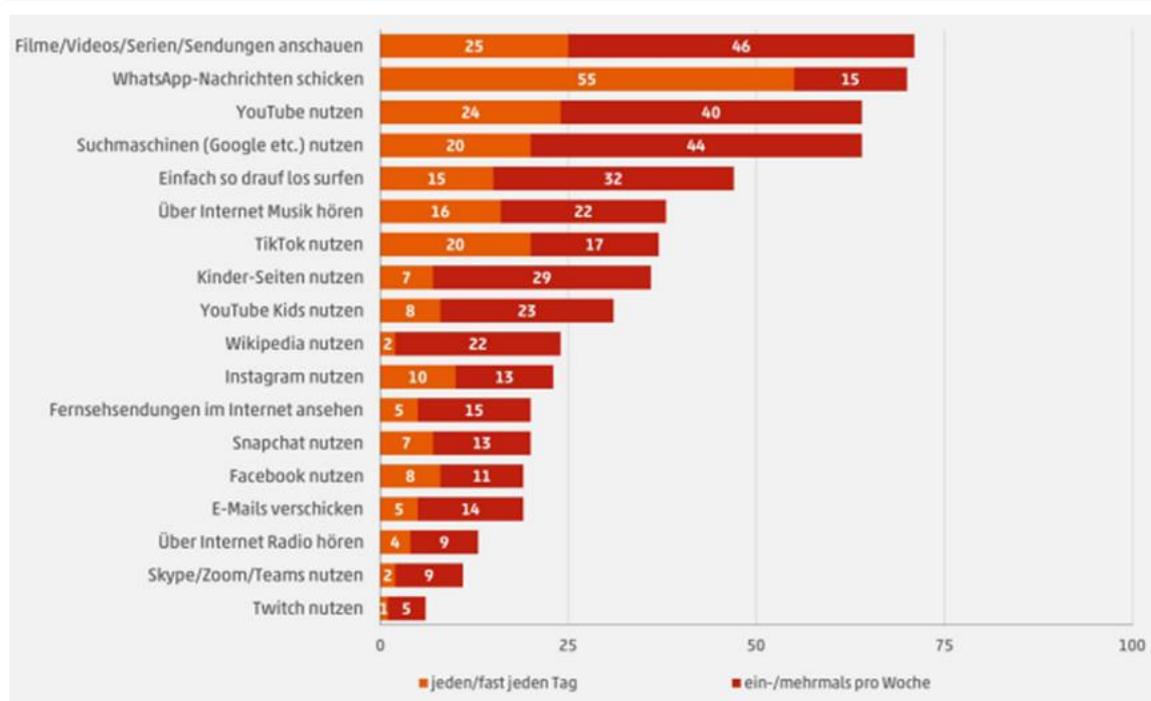
- Die Internetnutzung ist in den höheren Altersgruppen weniger verbreitet als in den jüngeren.
- Die Spreizung der Internetnutzung ist zwischen Altersgruppen sehr hoch.
- Die mediale Internetnutzung (Video und Audio) zeigt über alle Altersgruppen hinweg die höchsten Tagesreichweiten.

Kinder und Schüler unter 14 Jahren sind nicht Bestandteil der Analysen der ARD/ ZDF Onlinestudie (2022) und ARD/ ZDF Massenkommunikation Trends (2022). Zur Identifikation der relevantesten Dienste für Kinder zwischen 6 und 13 Jahren haben wir die Ergebnisse der KIM-Studie (2022) zum Medienverhalten und zur Mediennutzung von Kindern herangezogen.

Innerhalb dieser Altersgruppe (6 bis 13 Jahre) ist die Internetnutzung stark vom Alter abhängig. Während lediglich 12 % der 6-7 jährigen Kinder jeden bzw. fast jeden Tag das Internet nutzen, gilt dies bereits für 65 % der 12-13 jährigen Kinder.

Im Durchschnitt sind die beliebtesten Dienste, die von Kindern jeden bzw. fast jeden Tag genutzt werden, Sofortnachrichten z.B. über WhatsApp (55 %), Videostreaming von Filmen, Serien oder Sendungen (25 %), YouTube (24 %), Onlinesuche z.B. über Google (20%) und soziale Netzwerke wie TikTok (20 %).

Abbildung 20: Internet-Tätigkeiten von Kindern zwischen 6 und 13 Jahren (2022)



Quelle: Feierabend, S. et al. (2023). KIM-Studie 2022. S. 30.

Somit wird das mediale Internet (z.B. Videostreaming) nicht nur von Erwachsenen, sondern auch von Kindern häufig genutzt. Unterschiede in der Internetnutzung zwischen Erwachsenen und Kindern sind relativ eindeutig: Während für Erwachsene höhere Tagesreichten beobachtet werden können als für Kinder, hat bei Kindern die Nutzung von sozialen Netzwerken einen höheren Stellenwert als bei Erwachsenen. Von Erwachsenen werden einige Dienste genutzt, beispielsweise Online-Banking, die bei Kindern bis 13 Jahren keine Rolle spielen. Die Inanspruchnahme und Nutzungshäufigkeit von Online-

Diensten kann somit sehr stark altersklassenabhängig sein. Diese Zusammenhänge sind im Kontext der Parallelnutzung von Relevanz und kommen bei Mehrpersonenhaushalten ab drei Personen zum Tragen (siehe Abbildung 19).

4.1.3 WANN? – Dauer und Zeitbezug der Nutzung von Internetdiensten – Datenbasis

Zu Beginn des Abschnitts hatten wir bereits die Bedeutung der Gleichzeitigkeit der Internetnutzung im Sinne der zeitgleichen Belegung von Übertragungskapazitäten hervorgehoben. Daher sind Dauer und Zeitbezug der Nutzung von Internetdiensten für unsere Fragestellung von Bedeutung. Zur Dauer und zum Zeitbezug der Internetnutzung konnten wir ebenfalls Ergebnisse der ARD/ ZDF Onlinestudie 2022 heranziehen.

Wie in Tabelle 36 dargestellt, steht die Verbreitung der nach Altersklassen erhobenen Nutzung von Internetdiensten im Einklang mit der Nutzungsdauer dieser Dienste.

Tabelle 36: Nutzungsdauern 2022 nach Altersgruppe (in Stunden pro Tag)

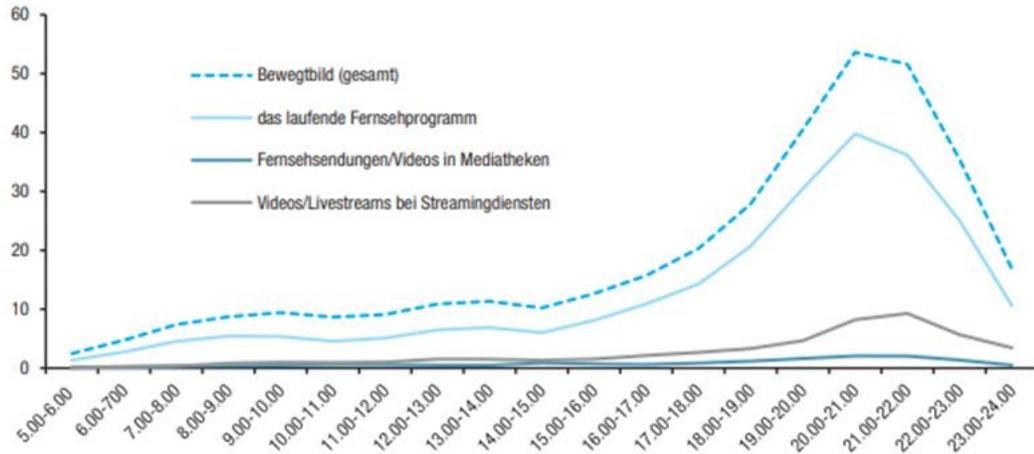
	mediale Internetnutzung	Individual-kommunikation	sonstige Internetnutzung
14-29 Jahre	4,7 Stunden	1,6 Stunden	2,2 Stunden
30-49 Jahre	3,4 Stunden	1,2 Stunden	1,1 Stunden
50-69 Jahre	1,8 Stunden	0,7 Stunden	0,7 Stunden
ab 70 Jahren	0,8 Stunden	0,4 Stunden	0,2 Stunden
Gesamtbevölkerung	2,7 Stunden	1 Stunde	1 Stunde

Quelle: wik auf Basis von Beisch, N. und Koch, W. (2022).

Der Studie zufolge verwendet der Durchschnitt der über 14-Jährigen 2,7 Stunden am Tag für mediale Internetnutzung.

Über die Verteilung der Internetnutzung im Tagesverlauf gibt die Statistik von ARD/ ZDF Massenkommunikation Trends (2022) für Video- und Audionutzung im Tagesverlauf Auskunft. Diese liefert somit auch Anhaltspunkte für eine Parallelnutzung. Einschränkend ist jedoch anzumerken, dass diese Studie sich nicht ausschließlich auf Online-Inhalte beschränkt: D.h., Angaben zu Video- und Audionutzung können den Konsum linearer und nicht-linearer Fernsehsendungen umfassen. Dabei geht aus den Daten nicht hervor, ob das lineare TV über das Internet genutzt wird.

Abbildung 21: Bewegtbildnutzung im Tagesablauf (linearer und nicht-linearer Konsum, Gesamtbevölkerung, Stundendurchschnittsreichweiten in %)

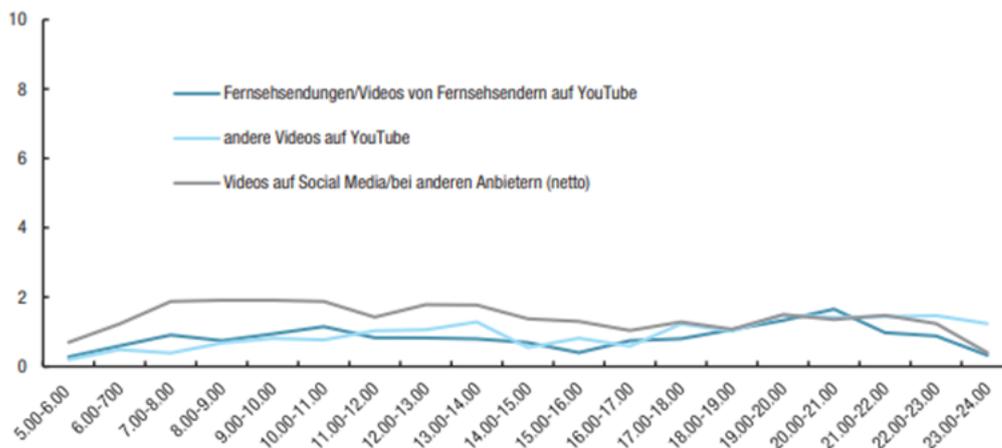


Quelle: Egger, A. und Rhody, A. (2022), S. 434.

Aus den Darstellungen kann geschlussfolgert werden, dass in Bezug auf Videoangebote (linear und nicht-linear) die Nutzung in Abhängigkeit der Tageszeit über die Kanäle hinweg ähnlich ist. Für nicht-lineare Angebote wie Streamingdienste (inkl. Mediatheken) wird der Spitzenwert ab 21:00 Uhr – und damit etwa eine Stunde später als beim klassischen linearen Fernsehprogramm – erreicht. Die Nutzung weiterer, nicht-linearer Videoinhalte auf Streamingplattformen ist davon weitestgehend entkoppelt. Das zeigt auch die Abbildung 22 mit dem Streamingdienst YouTube sowie anderen sozialen Netzwerken. Hier gibt es keinen signifikanten Nutzungsspeak. Der Konsum hält sich über den Tag hinweg relativ stabil.¹²⁴

¹²⁴ Während abends in der Regel mehr Zeit für längere Videoinhalte zur Verfügung steht, stellen (kurze) Videos auf YouTube und soziale Netzwerke „snackable Content“ dar, der unabhängig von der Tageszeit konsumiert werden kann (Egger, A. und Rhody, A. (2022), S. 435-436). Diese auf aggregierter Ebene dargestellten Angaben geben eine Indikation, lassen jedoch nur beschränkt Schlussfolgerungen auf haushaltsbezogene Nutzungsprofile zu.

Abbildung 22: Videonutzung im Internet (nicht-linearer Konsum) im Tagesablauf (Gesamtbevölkerung, Stundendurchschnittsreichweiten in %)



Quelle: Egger, A. und Rhody, A. (2022). S.435.

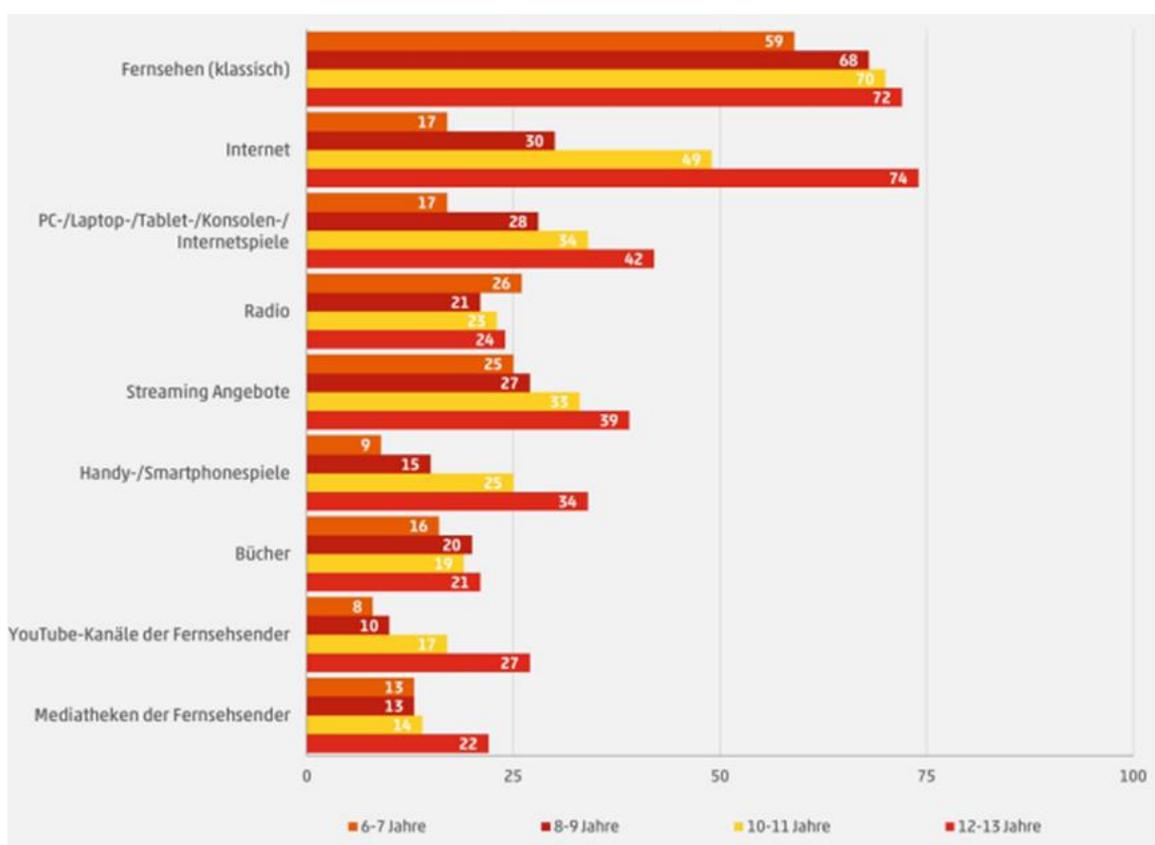
Die von Destatis verfügbaren Statistiken sind für die Ableitung von Parallelnutzungsszenarien aus folgenden Gründen nicht geeignet: Die von Destatis berücksichtigten Dienste im Bereich der IKT-Nutzung in privaten Haushalten beschränken sich dabei auf E-Mail, Informationssuche, Videotelefonie, Internet-Banking und soziale Netzwerke. Weitere Dienste der in §157 Absatz 3 Satz 3 festgelegten, finden keine Berücksichtigung.¹²⁵

Um Informationen über den Zeitbezug von Kindern (< 14 Jahre) zu erfassen, wurde ebenfalls auf die KIM-Studie (2022) zurückgegriffen. Die Nutzungsdauer von Kindern ist im Durchschnitt geringer als bei Personen ab 14 Jahren. Diese liegt bei 17 Minuten für 6-7 Jährige, bis 74 Minuten für 12-13-Jährige (siehe untenstehende Abbildung 23).¹²⁶

¹²⁵ Auch sind die Destatis-Angaben in Bezug auf den Zeitbezug der Nutzung für unsere Analyse nicht verwertbar: Sie basieren auf einem Zeitraum von drei Monaten, weswegen aus ihnen keine Rückschlüsse über die tägliche Nutzung und den Zeitbezug gezogen werden können. Statistisches Bundesamt, Destatis (2022a).

¹²⁶ Vor allem bei jüngeren Kindern wird die Nutzungsdauer durch die Eltern reguliert. Hier spricht man auch von einer „Kontrolle der Bildschirmzeit“. Zu den Angaben siehe Feierabend, S. et al. (2023), S.74.

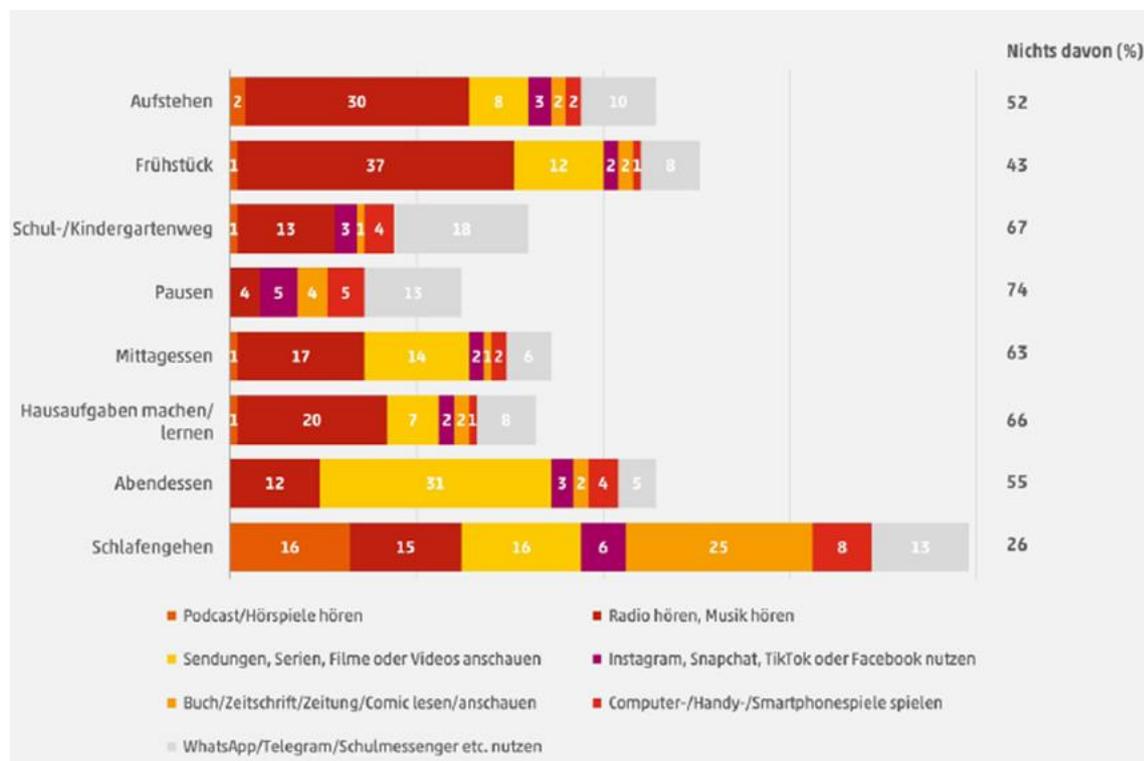
Abbildung 23: Geschätzte tägliche Nutzungsdauer verschiedener Medien (in Minuten)



Quelle: Feierabend, S. et al. (2023), S.72.

Zu den beliebtesten Diensten von Kindern außerhalb der Schul- und Kindergartenzeiten zählen Sofortnachrichten (über WhatsApp, Telegramm, Schulmessenger etc.) sowie das Schauen von Sendungen, Serien oder Filmen. Die Nutzung ist dabei gut über den Tag verteilt (siehe nachfolgende Abbildung 24).

Abbildung 24: Nutzung von Medien in Tagesverlauf 2022



Quelle: Feierabend, S. et al. (2023), S.18.

Aus den in diesem Abschnitt ermittelten Statistiken ist ersichtlich, dass die mediale Internetnutzung sowohl von Erwachsenen als auch von Kindern weit verbreitet ist und sich auch über den ganzen Tagesverlauf erstreckt. Die Nutzungsformen und auch -dauern der medialen Internetnutzung sind dabei durchaus unterschiedlich. Von sogenannten ‚snackable‘ Inhalten, die lediglich mit kurzen Abrufen einhergehen, sind Streamingdienste, die über einen längeren Zeitraum genutzt werden, zu beobachten (oft während der Peak-Zeiten).

Auf dieser Informationsbasis werden folgende Ausgangsfragestellungen zur Internetnutzung (WER? WAS? WANN?) zur Identifikation von alltagsrelevanten Parallelnutzungskonstellationen in Mehrpersonenhaushalten angenähert:

- WER? Erwachsene in Haushalten bis 2 Personen, Erwachsene und Kinder in Haushalten von 3 bis 5 Personen.
- WAS? An erster Stelle wird zwischen privater und beruflicher Internetnutzung differenziert. Zur beruflichen Nutzung werden die im Abschnitt 2.3 identifizierten Teleheimarbeit-Dienste (E-Mail, Videokonferenzen und cloudbasierte Diensten bzw. Datenaustausch) herangezogen. Für die private Internutzung sind das mediale Internet (Videostreaming), Individualkommunikation (E-Mail oder Sofortnachrichten) und sonstige Internetnutzung (Online-Einkauf oder soziale Netzwerke) die meist verbreiteten Online-Dienste (siehe Tabelle 34, Tabelle 35 und Abbildung

20). Die Zuordnung dieser Dienste zu einem Haushaltsmitglied erfolgt in Abhängigkeit von seiner Altersgruppe (Erwachsene oder Kinder).

- WANN? Die Internetnutzung im beruflichen bzw. schulischen Kontext erfolgt tagsüber, während die Internetnutzung im privaten Kontext vorwiegend abends erfolgt (oft während Peak-Zeiten). Aufgrund der Tageszeitunabhängigkeit von bestimmten, relevanten Diensten (z.B. kurze YouTube-Videos mit ‚Snackable‘ Inhalt) wird zusätzlich eine privat-berufliche Parallelnutzungskonstellation betrachtet.

4.2 Parallelnutzung und kumulierte Anforderungen an die Kapazität des Internetzugangs (Mbps)

Anzahl der Haushaltsmitglieder als Treiber für die benötigte Datenübertragungsrate des Internetzugangs

Werden in einem Haushalt Internetdienste von mehreren Personen gleichzeitig genutzt, so ist allgemein zu erwarten, dass sich die Anforderungen an die Datenübertragungsraten im Vergleich zur isolierten Nutzung eines Dienstes erhöhen. Nutzen zwei Personen einen Videostream, so ist davon auszugehen, dass dafür eine höhere Datenübertragungsraten benötigt wird, als wenn nur eine Person einen Videostream nutzt.

Jeder Nutzer löst mit dem von ihm genutzten Dienst einen spezifischen Bedarf an Datenübertragungsraten aus. Vereinfacht ausgedrückt ergeben sich die Anforderungen an die Datenübertragungsraten für den Internetzugang aus der Summe der einzelnen, parallel genutzten Dienste.¹²⁷ Davon ausgehend, dass jeder Dienst eine bestimmte Datenübertragungsraten erfordert, sind für den Fall der Parallelnutzung kumulierte Anforderungen an die Datenübertragungsraten des Internetzugangs zu bestimmen (additive Anforderungen sowohl im Down- als auch Upstream).

Je mehr Personen in einem Haushalt gemeinsam leben, desto wahrscheinlicher erachten wir die Möglichkeit der parallelen Nutzung von Internetdiensten. Die Anzahl der Personen in einem Haushalt verstehen wir daher als einen Treiber für die benötigte Datenübertragungsraten des Internetzugangs.

4.3 Dienstespezifische Datenübertragungsraten und Besonderheiten im Fall der Parallelnutzung

Die bisher in Kapitel 2 und 3 dieser Studie für die Dienste abgeleiteten technischen Mindestanforderungen haben die zeitgleiche Nutzung nicht beachtet. Die in Kapitel 3 abgeleiteten dienstespezifischen Anforderungen an die Datenübertragungsraten basieren allein

¹²⁷ Dabei wird an dieser Stelle noch keine Aussage über die Höhe der mit den jeweiligen Diensten einhergehenden Datenübertragungsraten und deren Bestimmungsfaktoren gemacht. – Für die in Kapitel 5 dargestellte Bottom-up-Berechnung der Datenübertragungsraten bei Parallelnutzung werden die in Kapitel 3 abgeleiteten dienstespezifischen Datenübertragungsraten herangezogen-

auf den Eigenschaften der jeweiligen Produkte und den getroffenen Festlegungen zur Qualität der angestrebten Nutzererfahrung.

Wenn wir die Feststellung aus Abschnitt 4.2 aufgreifen, dass sich die Anforderungen der einzelnen, parallel genutzten Dienste kumulieren, dann stellt sich die Frage, ob die in Kapitel 3 ermittelte dienstespezifische Datenübertragungsrate für die Bestimmung von Mindestanforderungen im Parallelnutzungsfall herangezogen werden kann.¹²⁸

4.3.1 Parallele Nutzung – Netz- und Nutzerperspektive bei verschiedenen Dienstekategorien

Beim Großteil der mit dem Internetzugang der Grundversorgung zu ermöglichenden Dienste handelt es sich um Webseitenaufrufe, die wir als Dienste mit diskreten Datenvolumina charakterisiert haben. Anhand dieser Dienste wollen wir in einem ersten Schritt erläutern, dass für die Bestimmung von Anforderungen an die Datenübertragungsrate im Parallelnutzungsfall danach zu unterscheiden ist, welche Perspektive eingenommen wird, wenn von paralleler Nutzung gesprochen wird. Dazu machen wir folgende Unterscheidung:

- Nutzerperspektive: beschreibt die Dauer der Nutzung des Dienstes
- Netzperspektive: beschreibt die Dauer der Belegung von Übertragungskapazität

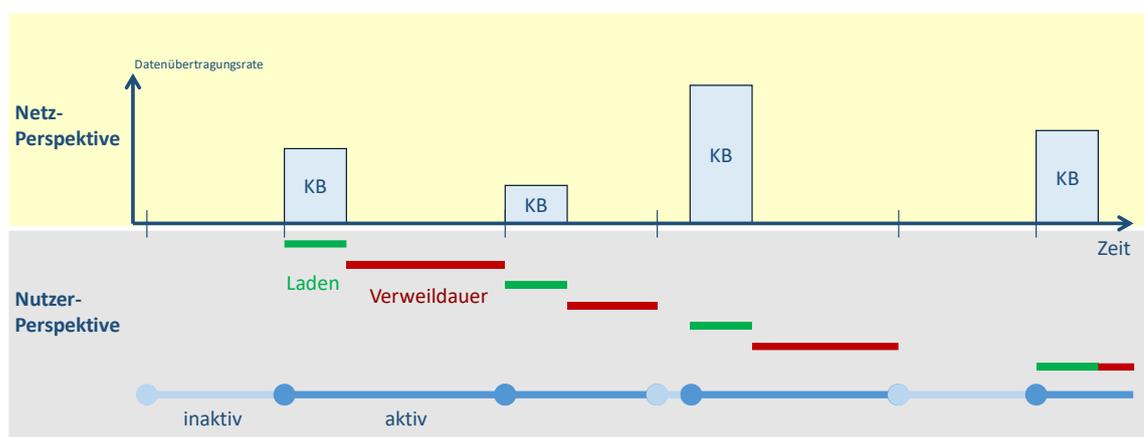
In Abhängigkeit der eingenommenen Perspektive – Nutzer oder Netz – kann es zu abweichenden Beobachtungen paralleler „Nutzung“ kommen.

Die vorgenommene Unterscheidung lässt sich für einen Nutzer am Beispiel eines webbasierten Dienstes wie der „allgemeinen Informationssuche“ erläutern: Mit der Eingabe von Suchbegriffen und dem Abruf von Websites startet der Nutzer seine Informationssuche. Ist dann die Website auf seinem Bildschirm dargestellt, befasst er sich mit den bereitgestellten Inhalten und folgt ggf. weiteren Links oder verfeinert seine Suche. Der gesamte Zeitraum, in dem sich der Nutzer mit der Informationssuche befasst, ist dabei größer als der Zeitraum, bzw. die Zeiträume, in denen Daten zwischen seinem Rechner und dem Internet übertragen werden. Dies ist beispielhaft in der nachfolgenden Abbildung 25 illustriert. Hier wird die Nutzung eines Dienstes mit dem Begriff „aktiv“ belegt. Erfolgt keine Nutzung von Internetdiensten, wird der Nutzer als „inaktiv“ bezeichnet. Des Weiteren wird anhand der grünen und roten Balken die „aktive“ Dienstenutzung in zwei weitere Phasen unterteilt: das Laden (dargestellt in grün, einhergehend mit einem zu übertragenden Datenvolumen KB) und die Verweildauer (dargestellt in rot, als Phase einer Belegung mit

¹²⁸ Dazu wurden bereits im wik-zafaco-Gutachten 2021 erste Überlegungen angestellt. Dabei wurde danach unterschieden, ob es sich um Dienste mit diskreten Datenvolumina oder um Dienste mit kontinuierlichen Datenströmen handelt. Dort auch als Dienste OHNE determinierte Mindestanforderungen bezeichnet. Vgl. wik-zafaco-Gutachten (2021), Kapitel 3.5.

0 KB). Lediglich die Ladezeit geht auch mit einer Inanspruchnahme von Übertragungskapazität einher. Die Zeitachse soll verdeutlichen, dass diese – gemessen an der gesamten aktiven Nutzung des Dienstes – in der Regel einen kleineren Anteil ausmacht.

Abbildung 25: Nutzung von webbasierten Diensten und Inanspruchnahme von Übertragungskapazität



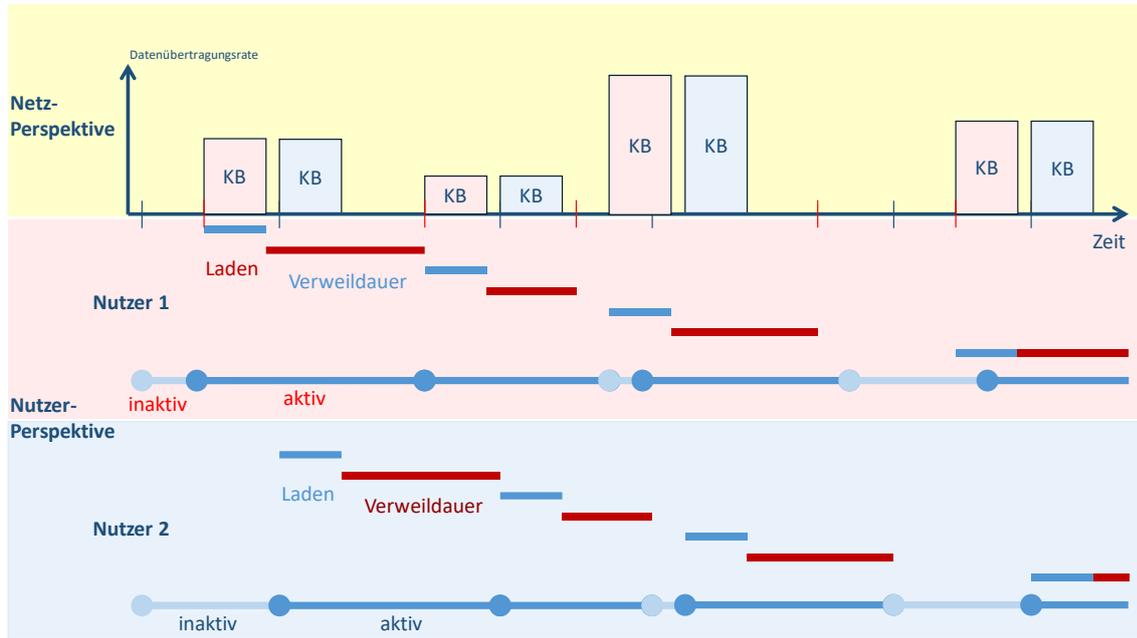
Quelle: wik

Die Dauer der Dienstenutzung ist daher bei webbasierten Diensten – dargestellt durch die „aktive“ Zeit – immer größer als die Dauer der Belegung von Übertragungskapazitäten.

Sofern das Verhalten der Endkunden für eine Parallelnutzung erfasst oder beschrieben werden soll, so ist hierfür die Nutzerperspektive einzunehmen. Demgegenüber ist für die Bestimmung der technischen Anforderungen von Parallelnutzungsszenarien an die Leistungsmerkmale des Internetzugangs die Netzperspektive und damit die Belegung von Übertragungskapazitäten maßgeblich.

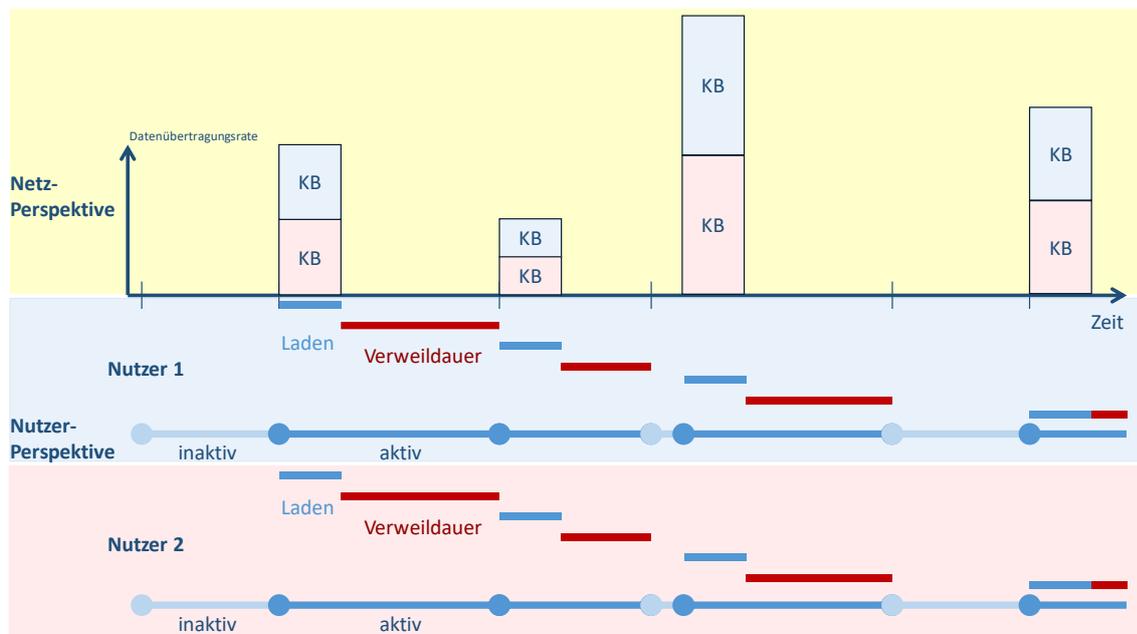
Aufgrund der freien Zeitfenster zwischen den einzelnen Ladevorgängen bei der Nutzung eines webbasierten Dienstes („aktiver Nutzer“) entsteht ein relevanter Spielraum für ein statistisches Multiplexen. Die folgende Abbildung 26 illustriert dies. Fallen die Anfragen nach Übertragungskapazität jedoch zeitgleich übereinander, so sind die Anforderungen der zeitgleich genutzten Dienste zu addieren (vgl. Abbildung 27).

Abbildung 26: Parallele Nutzung webbasierter Dienste und zeitlich versetzte Belegung von Übertragungskapazität



Quelle: wik

Abbildung 27: Parallele Nutzung webbasierter Dienste und zeitgleiche Belegung von Übertragungskapazität



Quelle: wik

Wie in Abschnitt 4.1 ausgeführt, liegt uns das für eine Ermittlung der erforderlichen Datenübertragungsrate im Parallelnutzungsfall notwendige und statistisch hinreichend belastbare Material auf Haushaltsebene nicht vor. Wie anhand der vorstehenden Abbildungen illustriert, ist bei Diensten mit diskreten Datenvolumina eine zeitpunktbezogene Betrachtung notwendig, um beurteilen zu können, ob tatsächlich Übertragungskapazitäten von mehreren Diensten zeitgleich benötigt werden.

Eine Anwendung von Erwartungswerten für die Belegung der Übertragungskapazitäten durch Dienste mit diskreten Datenvolumina ist im Kontext einer Parallelnutzung im Mehrpersonenhaushalt nicht sachgerecht. Dies gilt insbesondere deswegen, weil durchschnittliche Belegung – insbesondere bei der (relativ) geringen Zahl von Nutzern und Abrufen – nicht den Bedarf im tatsächlichen Parallelnutzungsfall abbilden kann.

Bei Diensten mit kontinuierlichen Datenströmen ist von einem anderen Nutzungsverhalten auszugehen, da sich die Dienstenutzung nicht auf einen diskreten Ladevorgang bezieht, sondern die Übertragung von Audio- oder Videosignalen im Zeitablauf zum Gegenstand hat. In unserer Untersuchung gehen wir für diese Dienste davon aus,¹²⁹ dass während der gesamten aktiven Nutzungszeit auch Übertragungskapazitäten in Anspruch genommen werden. Ein Herunterbrechen der „aktiven“ Zeit in die Kategorien „Laden“ und „Verweildauer“ erübrigt sich damit für diese Dienstekategorie.

4.3.2 Parallelnutzung und Kapazitätsengpässe: Protokolltechnische Mechanismen und Adaption von Datenübertragungsraten

Der Parallelnutzungsfall im Mehrpersonenhaushalt unterscheidet sich von der rein dienstebezogenen Betrachtung aus Kapitel 3, da nicht mehr der jeweilige Dienst isoliert betrachtet werden kann, sondern auch die Interdependenzen der gleichzeitig genutzten Dienste untereinander zu berücksichtigen sind. Diese Interdependenzen lassen sich anhand der im Best-Effort-Internet implementierten Mechanismen erklären:

Kommt es zu Kapazitätsengpässen, so werden im Internet die Nachfragen nicht zurückgewiesen – wie dies aus dem klassischen Telefonnetz mit dem „Besetzt-Zeichen“ bekannt ist –, sondern die Dienste reagieren dynamisch auf entstehende Kapazitätsengpässe (Lastsituation). Gesteuert wird dieses dynamische, adaptive Verhalten durch protokolltechnische Mechanismen, die in den Anwendungen auf den Rechnern der Nutzer verankert sind und sowohl auf der Transport- als auch der Anwendungsschicht greifen. Sie besitzen die Fähigkeit, auf Kapazitätsengpässe zu reagieren und ihre Datenübertra-

129 An dieser Stelle sagen wir nichts über die Konstanz der Größe des Datenstroms aus. Auch abstrahiert die hier getroffene Annahme von der technischen Umsetzung von Streamingdiensten: Faktisch wird zunächst der Streamingbuffer vollgeladen, bevor die Anwendung mit der Wiedergabe des Videos oder Audios startet. In Relation zu der Gesamtdauer der Dienstenutzung fällt diese Ladephase i.d.R. kaum ins Gewicht. Zur technischen Realisierung von Streamingdiensten siehe auch das [Parallelgutachten „Qualitätsparameter“](#), wik-zafaco-Gutachten (2023).

gungsrate an die jeweilige Lastsituationen anzupassen, d.h. diese bei steigender Verkehrslast zu reduzieren (sog. adaptive Verfahren).¹³⁰ Dies gilt sowohl für Anwendungen mit diskreten Datenvolumina als auch (innerhalb gewisser Grenzen) für Anwendungen mit kontinuierlichen Datenströmen. Beispiele hierfür sind Techniken von Streamingpuffern oder auch intelligente Verfahren zur Reduktion des mit dem Stream einhergehenden Datenvolumens. Auch Videokonferenzprodukte arbeiten mit adaptiven Verfahren in Abhängigkeit der verfügbaren Übertragungskapazitäten. Für sie gilt daher auch, dass der „kontinuierliche“ Datenstrom in Abhängigkeit der Verkehrslast atmet und nicht starr ist.¹³¹

Aufgrund dieser Zusammenhänge ist die Datenübertragungsrate eines Dienstes von der Verkehrslast und damit der jeweiligen, betrachteten Parallelnutzungskonstellation abhängig, die sich im zeitlichen Verlauf einer Parallelnutzung auch ändert. Sie kann nicht, wie im ersten Teil dieses Gutachtens (Kapitel 3) allein aus den Eigenschaften der Dienste abgeleitet werden.

4.3.3 Dienstespezifische Anforderungen im Parallelnutzungsfall – Schlussfolgerungen für die weitere Analyse

Kommt es zu einer Parallelnutzung im Mehrpersonenfall und einer zeitgleichen Inanspruchnahme des Internetzugangs und dessen Übertragungskapazitäten, so müssen die von den genutzten Diensten ausgelösten Datenübertragungsraten addiert werden. Dabei ist zu beachten, dass sie die jeweiligen Datenraten der Dienste im Zeitablauf dynamisch ändern. Dies wurde anhand der vorstehend erläuterten Zusammenhänge verdeutlicht: Der Bedarf an Übertragungskapazität [Mbps] eines Dienstes ändert sich sowohl aufgrund des Nutzungsverhaltens der Haushaltsmitglieder auf der Zeitachse als auch wegen der dynamischen, adaptiven Verfahren der Internetanwendungen. Diese Mechanismen des Best-Effort-IP-Netzes bewirken, dass die von der Nutzung konkreter Dienste bzw. Produkten ausgehende Datenrate keine Konstante ist. Die von einem Dienst genutzte Datenübertragungsrate ist daher im hier zu betrachtenden Parallelnutzungsfall nicht allein durch seine Eigenschaften bestimmt.

Die in Kapitel 3 und auch im wik-zafaco-Gutachten 2021 abgeleiteten dienstespezifischen Datenübertragungsraten sind daher als eine **Obergrenze** zu interpretieren, die der jeweilige Dienst **in Abwesenheit von Verkehrslast** für die vorgegebene Dienstqualität in Anspruch nimmt, im Fall von Verkehrslast jedoch nicht in Anspruch nehmen muss. Daher ist die Datenübertragungsrate eines Dienstes von der Verkehrslast und damit der jeweiligen, betrachteten Parallelnutzungskonstellation abhängig (WER?, WAS?, WANN?), die sich im zeitlichen Verlauf einer Parallelnutzung auch ändert.

Im Kontext der Ermittlung einer Mindestdatenübertragungsrate für den Internetzugang im Sinne der Grundversorgung stößt ein statischer Berechnungsansatz an seine Grenzen,

¹³⁰ Siehe wik-zafaco-Gutachten (2023), insbesondere Kapitel 5.

¹³¹ Vgl. wik-zafaco-Gutachten (2023), Kapitel 5.

da er nicht in der Lage ist, die dynamischen Aspekte sowohl der Dienstenutzung als auch der anwendungs- und netzseitigen Anpassungsprozesse abzubilden.

Für die weitere Analyse des Parallelnutzungsverhaltens von Mehrpersonenhaushalten wenden wir daher neben dem statischen, dienstebezogenen Ansatz (Bottom-up-Methode) eine Messmethode an, die es erlaubt, die dynamischen Aspekte und Interdependenzen der Nutzung von Internetdiensten in die Betrachtung einzubeziehen (Top-down-Methode).

Die Bottom-up-Methodik zur Ableitung von technischen Anforderungen im Fall von Parallelnutzung im Mehrpersonenhaushalt hat dabei eine **endogene** Ermittlung des Bedarfs an Datenübertragungsrate im Downstream und Upstream zum Ziel.

Die Top-down-Methodik basiert demgegenüber auf einem Messverfahren, welches anhand von verschiedenen QoE-Metriken die Nutzererfahrung der verschiedenen Dienste wiedergibt. Zielgröße der Analyse ist daher nicht die Datenübertragungsrate im Down- und Upload, sondern vielmehr die Nutzererfahrung. Die beim Bottom-up-Ansatz gesuchte Größe (Datenübertragungsrate) ist beim Top-down-Ansatz ein vorzugebender Parameter. Diese Methode erlaubt es, bei (vor)gegebener Anschlussgeschwindigkeit das Funktionieren der Dienste sowie die Nutzererfahrung im Parallelnutzungsfall zu untersuchen, wobei die protokolltechnischen Mechanismen des Best-Effort-Internet sowie der anwendungsbezogenen Protokolle und Kompensationsmechanismen berücksichtigt werden können.¹³²

¹³² Zu den protokolltechnischen Mechanismen des Best-Effort-Internet sowie der Anwendungen siehe wik-zafaco-Gutachten (2023).

5 Parallelnutzungsszenarien und Bottom-up-Berechnungen von Datenübertragungsraten im Kontext technischer Mindestanforderungen

Die in diesem Kapitel dargestellten Bottom-up-Berechnungen haben die **endogene Ermittlung des Bedarfs an Datenübertragungsrate im Fall der Parallelnutzung in Mehrpersonenhaushalten zum Ziel**.

In Abschnitt 4 haben wir dargelegt, welche Aspekte bei der Analyse von paralleler Dienstenutzung an einem gemeinsamen Internetzugang zu beachten sind, wenn Datenübertragungsraten für den Mehrpersonenhaushalt quantifiziert werden sollen. Dabei haben wir für unsere Berechnungen die nachfolgend dargestellten Annahmen hinsichtlich der Dimensionen WER?, WAS? und WANN? getroffen. Soweit möglich, greifen wir die in Abschnitt 4.1 gewonnenen statistischen Erkenntnisse auf.

WER?

Insgesamt betrachten wir fünf verschiedene Haushaltskonstellationen. Die von uns analysierten Parallelnutzungsszenarien berücksichtigen die folgenden Konstellationen:

- 1 Erwachsener
- 2 Erwachsene
- 2 Erwachsene, 1 schulpflichtiges Kind
- 2 Erwachsene, 2 schulpflichtige Kinder
- 2 Erwachsene, 3 schulpflichtige Kinder

Bei unseren Berechnungen berücksichtigen wir ausschließlich Konstellationen mit einer Parallelnutzung sämtlicher Haushaltsmitglieder. Ist beispielsweise in einem Fünf-Personenhaushalt ein Haushaltsmitglied inaktiv, so kommt dies einer Parallelnutzungskonstellation im Vier-Personenhaushalt gleich. Daher sehen wir es als verzichtbar an, Parallelnutzungskonstellationen in Mehrpersonenhaushalten abzubilden, bei denen ein oder mehrere Haushaltsmitglieder inaktiv sind.¹³³

WAS?

Für die in der TKMV festzulegenden technischen Mindestanforderungen sind die in §157 Absatz 3 Satz 3 TKG vorgegebenen Dienste maßgeblich. Soll beispielsweise die Nutzung eines Anhang V-Dienstes durch ein Haushaltsmitglied ermöglicht werden, so hängen bei Parallelnutzung (und Gleichzeitigkeit) die Anforderungen an die technische

¹³³ Jede Haushaltskonstellation unterhalb der zu betrachtenden Haushaltsgröße (max. 5-Personen-Haushalt) kann als eine Nutzungskonstellation interpretiert werden, in der ein oder mehrere Haushaltsmitglieder gerade nicht zeitgleich Übertragungskapazität für sich beanspruchen. Über die Wahrscheinlichkeit dessen, dass von einzelnen Haushaltsmitgliedern keine Parallelnutzung vorliegt, können wir – wie bereits ausgeführt – keine Aussagen treffen.

Leistungsfähigkeit des Internetzugangs von den konkret zeitgleich genutzten Diensten und ihren jeweiligen Anforderungen ab.

In der Realität ist die Nutzung von Internetdiensten natürlich nicht auf die im TKG vorgegebenen Dienste beschränkt. Da die gesetzlich angestrebte Versorgung mit Internetzugangsdiensten auf ausgewählte Dienste abstellt (§157 Absatz 3 Satz 3 TKG), beschränken wir uns bei der Definition der analysierten Szenarien darauf, Parallelnutzungsszenarien zu betrachten, die ausschließlich Dienste der Mindestversorgung zum Gegenstand haben.¹³⁴

Für die Auswahl der in den verschiedenen Haushaltskonstellationen genutzten Dienste greifen wir auf die Erkenntnisse aus Kapitel 4.1 und die dort ausgewerteten Statistiken zurück, die eine Indikation über häufig genutzte Dienste verschiedener Personengruppen geben. Bei der konkreten Auswahl der Produkte greifen wir auf die in Kapitel 2 identifizierten **Top-Produkte** zurück. Aufgrund der Unsicherheit über die tatsächlich in Haushaltskonstellationen relevanten, parallel genutzten Dienste definieren wir ein weiteres Szenario, welches auf die anspruchsvollste Kombination gleichzeitig genutzter Dienste und somit auf Maximalanforderungen¹³⁵ abzielt. Dieses Szenario lässt die Erkenntnisse aus den Statistiken über häufig genutzte Dienste bestimmter Personengruppen außer Acht. Dennoch kann nicht ausgeschlossen werden, dass derartige Konstellationen in der Realität auftreten.

Neben der Abgrenzung der in die Analyse einzubeziehenden Dienste wurde in Kapitel 4 bereits ausgeführt, dass eine Verwendung der in Kapitel 3 abgeleiteten dienstespezifischen Datenübertragungsraten für die Ermittlung von Anforderungen einer Parallelnutzung mit einer Überschätzung einhergeht. Da uns keine belastbaren Informationen zur Verfügung stehen, welche Anpassung der Datenübertragungsrate in den jeweiligen Parallelnutzungskonstellationen vorzunehmen sind,¹³⁶ verwenden wir dennoch die dienstespezifischen Datenübertragungsraten, die in Kapitel 3 für die Dienste der Grundversorgung abgeleitet wurden. Diese methodische Vorgehensweise hat zur Folge, dass die ausgewiesenen Ergebnisse die im Alltag normalerweise entstehenden Anforderungen überschätzen.

134 Auf diesem Verständnis basieren die Szenarien sowohl der Bottom-up-Berechnungen als auch der Top-down-Messungen.

135 „Maximal“ ist hier nicht global zu verstehen, sondern bezieht sich auf die hier in die Betrachtung einbezogenen Dienste.

136 In Kapitel 4.3 wurde erläutert, dass im Fall der Parallelnutzung und damit Kapazitätsengpässen eine Reduktion der dienstespezifischen Datenübertragungsrate zum Tragen kommt. Diese wird durch die protokolltechnischen Mechanismen der Internetanwendungen ausgelöst, die dynamisch auf die verfügbare Übertragungskapazität reagieren.

WANN? (Beschreibung der Parallelnutzungskonstellation)

Um die Kombination parallel genutzter Dienste zu konkretisieren, ist der hier gewählte methodische Ansatz aufgrund seines **statischen Charakters** darauf beschränkt, **Annahmen** zu treffen,¹³⁷ die

- die zeitgleiche Nutzung von Diensten und damit auch
- die zeitgleiche Beanspruchung von Übertragungskapazitäten definieren, sowie
- die Höhe der für die jeweiligen Dienste zu berücksichtigenden Datenübertragungsrate als konstanten Wert festlegen (vorgegebener Wert je Dienst [Mbps]).

Für die Bottom-up-Berechnung von „Mindest“anforderungen¹³⁸ im Parallelnutzungsfall werden hier die per Annahme festgelegten, konstanten Datenübertragungsraten der jeweiligen parallelgenutzten Dienste addiert. Von einer Veränderung über die Zeit wird somit abstrahiert.

Die verwendeten dienstespezifischen Datenübertragungsraten waren unter Vernachlässigung von Verkehrslast und unter Vorgabe einer definierten Nutzererfahrung abgeleitet worden; sie reflektieren insofern die Anforderungen an das angestrebte Niveau der Grundversorgung. Die vorgegebene Nutzererfahrung war dabei durch die tolerierte Übertragungsdauer von vier Sekunden bzw. anhand von Herstellerangaben für die Standardqualität (Dienste mit kontinuierlichen Datenströmen) definiert worden. Die Verwendung eines fixen (konstanten) Wertes für die Datenübertragungsrate ist dem statischen Ansatz¹³⁹ geschuldet, der weder die in Kapitel 4.2 beschriebenen Phänomene des statistischen Multiplexens bei Webseitenaufrufen noch die dynamischen, adaptiven Verfahren der Internetanwendungen berücksichtigen kann.¹⁴⁰ –

Die Ergebnisse dieses Kapitels (szenariobasierte Bottom-up-Berechnungen von „Mindest“anforderungen im Parallelnutzungsfall) sind aufgrund der vereinfachenden Modellannahmen nur eingeschränkt aussagekräftig.

¹³⁷ Die Anwendung des statischen Bottom-up-Ansatzes macht es erforderlich, diese Annahmen zu treffen, da der statische Ansatz gerade nicht in der Lage ist, die Veränderung der Datenübertragungsraten der Dienste infolge der sich im Zeitablauf dynamisch ändernden Kapazitätsnachfragen einer definierten Parallelnutzung abzubilden.

¹³⁸ Da es sich hier um einen modellgestützten und damit annahmebasierten Berechnungsansatz handelt, haben wir den Wortteil „Mindest“ in Anführungszeichen gesetzt.

¹³⁹ In dieser Berechnung wird von einer Veränderung im Zeitablauf abstrahiert. Daher bezeichnen wir diese Methode als "statisch".

¹⁴⁰ Es wird die in Abschnitt 3.1.3 dargestellte Formel verwendet, um aus dem Datenvolumen die Datenübertragungsrate unter der Annahme von 4 Sekunden abgeleitet (Bandbreitenbedarf [Mbps] = Datenvolumen [MB] * 8 / akzeptable Dauer [s]). - Es handelt sich um einen Kapazitätsbedarf, der über die Länge von 4 Sekunden dem Dienst – quasi als reservierte Kapazität – zur Verfügung stehen muss.

Da sie die adaptiven Mechanismen der Internetdienste auf Anwendungs- und Transportschicht nicht berücksichtigen können,

- führen sie zu einer Überschätzung des Bedarfs an Datenübertragungsrate im Parallelnutzungsfall bei parallelgenutzten Diensten mit „kontinuierlichen“ Datenströmen, da sie die Fähigkeit der Anwendung, die Datenübertragungsrate im Fall von Verkehrslast nach unten anzupassen, nicht berücksichtigen können.
- ist in bestimmten Konstellationen mit starker Verkehrslast auch eine Unterschätzung möglich. Dies ist dadurch bedingt, dass der Bottom-up-Berechnungsansatz ausschließlich auf das Datenvolumen der Nutzdaten abstellt und die Signalisierungsdaten des TCP/IP aufgrund ihrer a priori vernachlässigbaren Größe außer Betracht lässt. Im Fall von Verkehrslast wirken sich Beeinträchtigungen oder Störungen dieser Signalisierungsdaten (Empfangsbestätigungen / Acknowledgements) unmittelbar auf die Dienste aus. Dies zeigt sich im späteren Verlauf beispielsweise bei Messungen mit einem Engpass im Upload, der zu einer Beeinträchtigung von Diensten, die den Download nutzen, führt.

Die nachfolgende Tabelle fasst die zuvor genannten Merkmale des Bottom-up-Ansatzes zusammen.

Tabelle 37: Charakterisierung der Bottom-up-Methodik

Bottom-up	
Zielgröße	Datenübertragungsrate im Down- und Upstream zum Ermöglichen der Grundversorgung
	Mindestens erforderliche Geschwindigkeit des Internetzugangs [Mbps] zur Erzielung einer definierten Produktqualität für sämtliche in § 157 Absatz 3 Satz 3 TKG vorgegebenen Dienste der Grundversorgung
Geschwindigkeit des Internetzugangs [Mbps]	
	berechnete (endogene) Größe
Methode	
Zeitbezug	statisch
Datenrate der Dienste im Parallel-nutzungsfall	konstant
Abstraktionsgrad (vereinfachende Modellannahmen)	Vernachlässigung - protokolltechnischer Zusammenhänge und Anpassungsmöglichkeiten der Dienste - von Einflüssen auf Signalisierungsdaten (z. B. Upstream bei Webseitenaufrufen)
Weitere Bestimmungsfaktoren (Eingangsparameter der Untersuchungsmethode)	
verwendete Dienste / Produkte	Top-Produkte
QoE (Quality of Experience) / Produktqualität	feste Vorgaben zur Produktqualität anhand von ...
Dienste mit diskreten Datenvolumina	... 4 Sekunden tolerierter Datenübertragungsrate
Dienste mit kontinuierlichen Datenströmen (Video)	... SD-Qualität für Videoanwendungen (Streaming und Videokonferenzen) (definiert anhand von Herstellerangaben [Mbps])
Dienste mit kontinuierlichen Datenströmen (Audio)	... SD-Qualität und Standardqualität für Audio-Anwendungen (Telefonie und Streaming) [Mbps]

Quelle: wik

Bei der Auswahl der zu untersuchenden Parallelnutzungsszenarien haben wir uns dazu entschieden, alltagsübliche Konstellationen zu berücksichtigen, die sich auch an dem zeitlichen Kontext festmachen lassen. Neben dem bereits erwähnten Maximalanforderungsszenario fokussieren sie auf folgende Erkenntnisse:

- relevante Anforderungen der Parallelnutzung im beruflichen Kontext: Werktagsbetrachtung,
- relevante Anforderungen der Parallelnutzung im privaten Kontext: Freizeitbetrachtung.

5.1 Maximalanforderungen der Parallelnutzung

In einem ersten Schritt definieren wir den extremen und damit anspruchsvollsten Fall in Bezug auf die Datenübertragungsrate wie folgt. Wir unterstellen, dass sämtliche Haushaltsmitglieder den Dienst mit den höchsten Anforderungen an die Datenübertragungsrate zeitgleich im strengen Sinne nutzen, d.h. mit einer exakt zeitgleichen Inanspruchnahme der benötigten Übertragungskapazität. Dieses Szenario hat nicht den Anspruch, eine im Alltag übliche Parallelnutzungskonstellation abzubilden, sondern zielt auf den Fall ab, dass die Dienste der Grundversorgung mit den höchsten Ansprüchen durch alle Haushaltsmitglieder parallel genutzt werden. Diese Konstellation bezeichnen wir als Parallelnutzung mit Maximalanforderungen.

Der dabei zugrunde gelegte Dienst „soziale Medien“ (Facebook) geht mit dienstespezifischer Anforderung von 7,4 Mbps im Downstream einher.¹⁴¹ Unterstellen wir eine zeitgleiche Nutzung von fünf Haushaltsmitgliedern,¹⁴² und halten wir an der tolerierten Ladedauer von vier Sekunden fest, so ergibt sich eine Parallelnutzungsanforderung für den Downstream in Höhe von 37,0 Mbps (= 5 x 7,4 Mbps).

Diese Betrachtung haben wir auch für den Upload vorgenommen. Für diesen hatte die dienstespezifische Analyse den höchsten Wert für den Dateitransfer inkl. VPN mit 1,3 Mbps ergeben. Nutzen alle fünf Haushaltsmitglieder diesen Dienst zeitgleich, so ergeben sich daraus beim Upstream aufgerundet 6,6 Mbps.

Wie aus der Tabelle 38 ersichtlich, vervielfacht sich in diesem Szenario der Bedarf an Datenübertragungsrate sowohl im Down- als auch im Upload linear mit der Zahl der parallel nutzenden Haushaltsmitglieder. Um sowohl die beruflich (inkl. VPN) als auch die privat veranlasste Nutzung (ohne VPN) abzubilden, haben wir hier vereinfacht beide Varianten nebeneinander dargestellt.

¹⁴¹ Vgl. Kapitel 3.4.

¹⁴² Auch wenn es sich um ein konstruiertes Parallelnutzungsszenario handelt, ist es durchaus denkbar, dass es Situationen gibt, in denen die Haushaltsmitglieder, die sich beispielsweise über einen gemeinsamen Bekannten unterhalten, parallel die Facebook-Seite dieser Person aufrufen, um die im Gespräch mitgeteilten Informationen selbst zu überprüfen. – Ein derartiges Nutzungsverhalten ist dabei jedoch für mobile Endgeräte typisch.

Tabelle 38: Parallelnutzung des Dienstes mit den maximalen Anforderungen (entweder Downstream- oder Upstream bezogen)

Anzahl Haushaltsmitglieder	Szenario max kumulierte Anforderungen			
	Downstream [Mbps]		Upstream [Mbps]	
	ohne VPN	inkl. VPN	ohne VPN	inkl. VPN
1	7,4	7,9	1,2	1,3
2	14,8	15,7	2,5	2,6
3	22,2	23,6	3,7	3,9
4	29,6	31,4	4,9	5,2
5	37,0	39,3	6,2	6,6

Quelle: wik

Um diese Ergebnisse einzuordnen, greifen wir auf die Erläuterungen in Kapitel 4.3.1 und nehmen Bezug auf den hier gewählten methodischen Ansatz. Dem Szenario liegt die Annahme zugrunde, dass alle Haushaltsmitglieder zum selben Zeitpunkt, d.h., in derselben logischen Sekunde den gemeinsamen Internetzugang in Anspruch nehmen. Anhand der Darstellung aus Abbildung 25 wurde jedoch verdeutlicht, dass bei webbasierten Diensten die Inanspruchnahme der Übertragungskapazität in den meisten Fällen nur sehr wenige Sekunden dauert. Die Wahrscheinlichkeit, dass die Anfragen aller fünf Haushaltsmitglieder zeitgleich den Internetzugang in Anspruch nehmen, ist daher als gering einzuordnen.¹⁴³ Bei einer parallelen Nutzung webbasierter Dienste ist vielmehr davon auszugehen, dass diese näher an der dienstespezifischen Anforderung von 7,4 Mbps als an dem linear ermittelten Wert von 37 Mbps liegt.¹⁴⁴

Berücksichtigung der Parallelnutzung von Diensten durch EINE Person sowie im Mehrpersonenhaushalt

Die parallele Nutzung von Diensten über einen Internetzugang ist nicht auf den Mehrpersonenhaushalt beschränkt. Sie kann auch allein von einer Person initiiert sein. Beispiele aus persönlichen Erfahrungen sind zahlreich. Ausgewählte Beispiele sind nachfolgend genannt:

- Videokonferenz und Web-Recherche
- Videokonferenz und E-Mail-Eingang
- Videokonferenz und Remote-Desktop
- Videokonferenz und eingehender Anruf
- Videokonferenz und E-Mail-Versand
- ...

¹⁴³ Siehe hierzu auch das bereits in Kapitel 4.3.1 erwähnte und im Anhang dargestellte Simulationsmodell zur Nutzung webbasierter Dienste. Das eine derartige Konstellation eintritt, ist natürlich nicht auszuschließen.

¹⁴⁴ Vergleiche dazu auch die Ausführungen zum Simulationsmodell in Anhang 3 zu diesem Gutachten.

Unter Berücksichtigung eingehender Anrufe und E-Mails sind letztlich auch mehr als zwei parallele Dienste eines Nutzers denkbar, wobei jedoch davon auszugehen ist, dass eine derartige Parallelnutzung durch eine Person eher die Seltenheit und nicht von langer Dauer ist. Die Definition einer Parallelnutzungskonstellation durch EINE Person haben wir an einem aus unserer Einschätzung realistischen Szenario festgemacht. Es zielt auf die Höhe der Datenübertragungsrate ab, die von parallelgenutzten Diensten einer Person berechnet werden kann. Ausgangspunkt der Überlegungen ist, dass ein Nutzer an einer (Gruppen-) Videokonferenz teilnimmt. Da er während dieser nicht zwingend über die gesamte Dauer aktiv teilnimmt, aber dennoch in der Konferenz verweilt, kann er in diesen Phasen auch noch einen weiteren Online-Dienst aktiv nutzen. Darüber hinaus können ihm zeitgleich E-Mails zugestellt werden. Zwar gibt es auch die Möglichkeit, die Zustellung von E-Mails zu unterdrücken und diese erst durch selbst initiierten Abruf herunterzuladen. Dies ist im beruflichen Kontext, wie er auch für die Teleheimarbeit relevant ist, jedoch als unüblich einzuordnen.

Für den parallel genutzten Online-Dienst haben wir den Dienst „soziale Medien und Sofortnachrichtenübermittlung“ ausgewählt. Dieser geht mit der höchsten Anforderung an die Datenübertragungsrate im Download einher.¹⁴⁵ Hiermit wollen wir einen Wert im Sinne einer Obergrenze für die Datenübertragungsrate im Fall der Parallelnutzung von Diensten durch EINE Person quantifizieren. In Tabelle 39 ist diese Nutzungskonstellation dargestellt.

Tabelle 39: Durch EINE Person parallel genutzte Internetdienste (beispielhaftes Szenario)

Internetdiensten	Szenario max+	
	Downstream [Mbps]	Upstream [Mbps]
eMail [nur Empfang] (inkl. VPN)	0,8	-
(Gruppen-) Videokonferenzen (SD) (inkl. VPN)	0,7	1,1
soziale Medien und Sofortnachrichtenübermittlung	7,4	-
EINE Person, Gesamt	8,9	1,1

Quelle: wik

Unterstellt man, dass jede einzelne Person eine Parallelnutzung vornimmt und gleichzeitig dies auch alle anderen Haushaltsmitglieder tun, so vervielfachen sich die Werte entsprechend. Gegenüber der maximalen Anforderung an die dienstebezogene Datenübertragungsrate¹⁴⁶ ist in diesem beispielhaften Szenario für einen 5-Personen-Haushalt eine

¹⁴⁵ Vgl. Kapitel 3.

¹⁴⁶ Dies ist die maximale technische Anforderung an den Internetzugang, wie er sich aus der dienstebezogenen Analyse in Abschnitt 3 ergeben hat.

Datenübertragungsrate berechnet, die im Download 503 % und im Upload 305 % gegenüber der Maximalanforderung durch einen einzelnen Dienst ohne parallele Nutzung beträgt.

Tabelle 40: Parallele Nutzung von Internetdiensten (beispielhaftes Szenario) durch EINE Person und Skalierung mit der Anzahl von Haushaltsmitgliedern

Anzahl Haushaltsmitglieder	Szenario max+ kumulierte Anforderungen	
	Downstream [Mbps]	Upstream [Mbps]
Referenzwert: dienstspezifische Anforderung (max.)*	7,4	1,3
1	8,9	1,1
2	17,9	2,1
3	26,8	3,2
4	35,7	4,2
5	44,7	5,3

Quelle: wik

Die obenstehende Tabelle zeigt eine gegenüber dem Szenario max (Tabelle 38) eine nochmals erhöhte, modellhaft berechnete Datenübertragungsrate, die für jedes Haushaltsmitglied eine parallele Nutzung von drei Diensten unterstellt. Bei diesem von uns konstruierten Szenario max+ (Tabelle 40) ist zu anzumerken, dass die gewählte Konstellation von parallel genutzten Diensten im Kontext der Teleheimarbeit als nicht abwegig bezeichnet werden kann. Die hier unterstellte, zeitgleiche Nutzung durch sämtliche Haushaltsmitglieder ist jedoch sehr zufällig und dürfte eher selten auftreten.

5.2 Parallelnutzung im beruflichen Kontext: Werktagsbetrachtung

Die Nutzung eines Internetzugangs zu beruflichen oder ausbildungsbezogenen Zwecken hat mit der Corona-Pandemie in der öffentlichen Wahrnehmung an Bedeutung gewonnen.¹⁴⁷ Der politische Wille zur Unterstützung des Internetzugangs zu beruflichen Zwecken dokumentiert sich unter anderem auch in der Berücksichtigung der Teleheimarbeit, inkl. Verschlüsselungsverfahren im Dienstekatalog des §157 Abs. 3 Satz 3 TKG, sowie dem Entschließungsantrag des Deutschen Bundestags, welcher unter anderem die Untersuchung von Parallelnutzungsszenarien im Mehrpersonenhaushalt durch dieses Gut-

¹⁴⁷ Während der Covid19-Pandemie haben Lehrende an Gymnasien (64 %) und an nichtgymnasialen Sekundarschulen (49 %) stärker von digitalen Arbeits- und Lernplattformen Gebrauch gemacht (Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation et al. (2022), Autor:innengruppe Bildungsbericht-erstattung, S.125).

achten initiiert hat. Neben der Möglichkeit, Teleheimarbeit wahrnehmen zu können, werden von politischer Seite auch die Bedarfe von Schulkindern, den Internetzugang für Distanzlernen zu nutzen, als wichtig eingestuft.¹⁴⁸

Mit der Werktagsbetrachtung wollen wir den Anforderungen des Berufsalltags mit Teleheimarbeit inkl. VPN und parallelen Anforderungen von Fernunterricht bzw. Distanzlernen Rechnung tragen. Den Angaben von Destatis zufolge arbeiten im Durchschnitt 25 % der Berufstätigen von zuhause aus.¹⁴⁹ Dabei nutzen sie vorwiegend E-Mail und Videokonferenzen als Kommunikationstools (siehe Abschnitt 4.1.3). Von den Kindern nutzen aktuell (d.h. bereits nach Ende der Pandemie) weniger als 5 % Distanzunterricht. Zu Pandemiezeiten lag dieser Anteil noch deutlich höher, und zwar zwischen 10 % bis 80 %.¹⁵⁰ Bei den von den Kindern bzw. Schülern verwendeten Online-Diensten zum Zugang zum Lernmaterial handelt es sich um E-Mail, Internetseite der Schule und Digitale Lern- und Arbeitsplattformen.¹⁵¹

Auch wenn die verfügbaren Statistiken über die zeitgleiche Inanspruchnahme von Übertragungskapazitäten keine verwertbaren Angaben liefern, so geben sie zumindest Hinweise, welche Dienste häufig genutzt werden. Von diesen Informationen haben wir uns bei der Definition von Parallelnutzungsszenarien leiten lassen. Für eine Einordnung der beruflich veranlassten Parallelnutzung haben wir die nachfolgenden zwei Szenarien quantifiziert.

Berufliches Szenario Cloudbasierte Anwendungen und Werkzeuge der Aus- und Weiterbildung (Szenario 1)

Dieses Szenario umfasst für die erwachsenen Haushaltsmitglieder die Nutzung einer cloudbasierten Anwendung inkl. VPN. Für die Kinder bzw. Schüler werden grundlegende Online-Werkzeuge für die Aus- und Weiterbildung herangezogen. Für die Auswahl der im Szenario berücksichtigten Produkte haben wir auf in Kapitel 2 identifizierte Produkte zurückgegriffen; die zugehörigen Datenübertragungsraten haben wir den Ergebnissen aus Kapitel 3 entnommen. Dabei handelt es sich für die Kategorie von Diensten aus dem beruflich bzw. schulisch veranlassten Bereich um die Dienste mit den höchsten Anforderungen im Download. Bei den ‚cloudbasierten Diensten‘ hat die Online-Anwendung ‚MS PowerPoint‘ den höchsten gemessenen Datenbedarf im Download. Bei den ‚grundlegenden Online-Werkzeuge für die Aus- und Weiterbildung‘ hat das webbasierte Produkt ‚fahr-schule.de‘ und deren Nutzung für die Durchführung von elektronischen Tests oder Übungen den höchsten Datenbedarf im Download. Die damit in die Berechnung einfließenden Datenübertragungsraten sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

¹⁴⁸ Distanzunterricht wird teilweise als Mittel zur Bekämpfung von Lehrmangel in einigen Bundesländern eingesetzt sowie auch als neuer, pädagogischer Ansatz eingeführt (Peters, F. (2022)).

¹⁴⁹ Siehe Statistisches Bundesamt, Destatis (2022b).

¹⁵⁰ Siehe Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation et al. (2022), (Tab D1-4web), Abschnitt 2.1.2.3 Abbildung 4.

¹⁵¹ Siehe Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation et al. (2022), (Tab D1-4web), Abschnitt 2.1.2.3 Abbildung 5.

Tabelle 41: Dienste und Datenanforderungen der beruflichen bzw. schulischen Szenarien – Vergleich gegenüber dem MAX-Szenario

Szenario 1	Dienste	Downstream [Mbps]	Upstream [Mbps]
Erwachsener in Teleheimarbeit	cloudbasierte Anwendungen	3,5	1,3
Schulkinder im Distanzunterricht	(3) Online-Werkzeuge für die Aus- und Weiterbildung	1,8	-
MAX	(10) soziale Medien und Sofortnachrichtenübermittlung / cloudbasierte Anwendungen	7,4	1,3

Quelle: wik

Berufliches Szenario: Parallele Videokonferenzen im beruflich veranlassten Alltag (Szenario 2)

Für eine Berücksichtigung von im Alltag relevanten Szenarien erachten wir die zeitgleiche Nutzung von Videokonferenzen als eine typische Parallelnutzungskonstellation im Mehrpersonenhaushalt. Da die Nutzung dieses Dienstes oftmals mit einer relativ langen Dauer einhergehen, schätzen wir die Wahrscheinlichkeit, dass sich diese bei parallel arbeitenden Haushaltsmitglieder zumindest teilweise auch überlappen, als relativ hoch ein.

Dieses Szenario berücksichtigt ausschließlich Videokonferenzen. Hierbei werden die angegebenen Datenanforderungen von den Anbietern ‚WhatsApp‘ und ‚Zoom‘ in Anspruch genommen, da diese Produkte unter den identifizierten Top-Produkten den höchsten Datenbedarf aufweisen (0,7 Mbps in Download und 1,1 Mbps in Upload). Es wird dem Umstand Rechnung getragen, dass Schüler die Videokonferenzen ohne VPN nutzen. Entsprechend kommen für sie ggü. den Angaben für die Erwachsenen leicht reduzierte Werte zum Ansatz (VPN-Aufschlag = 0,04 Mbps für den Download und 0,06 Mbps für den Upload).

Aufgrund der relativ geringen Anforderungen an die Datenübertragungsrate einer Videokonferenz stellen sich die aus den Diensten abgeleiteten Anforderungen (Bottom-up-Ansatz) für diese Parallelnutzungskonstellation selbst bei fünf Haushaltsmitgliedern im Download mit 3,6 Mbps vergleichsweise niedrig dar. Sie liegen damit noch deutlich unterhalb der Mindestanforderungen, die sich allein aus den dienstespezifischen Anforderungen des anspruchsvollsten Dienstes im Download ergeben.¹⁵² Hinsichtlich des Uploads stellen sich die Ergebnisse jedoch anders dar: die Datenübertragungsrate für Videokonferenzen im Upload beträgt 1 Mbps (ohne VPN) für Kinder und 1,06 Mbps (inkl. VPN

¹⁵² Das aus den einzelnen Diensten abgeleitete Maximum beträgt 7,4 Mbps („soziale Medien“, Facebook). Vgl. Kapitel 3.

6 %) für Erwachsene; für den Parallelnutzungsfall hier mit fünf Personen (z.B. 3 Kinder, 2 Erwachsene) ergeben sich 5,1 Mbps (3 x 1,00 Mbps + 2 x 1,06 Mbps).

Vergleich und Einordnung der ausgewählten beruflichen Szenarien

In der nachfolgenden Tabelle 42 findet sich eine Gegenüberstellung der beiden Szenarien. Für den Vergleich haben wir die Anforderungen an die Datenübertragungsrate als Durchschnittswert pro Person ausgedrückt. Damit wurde den unterschiedlichen Anforderungen der Bedarfe von Erwachsenen und Kindern bzw. Jugendlichen Rechnung getragen.¹⁵³ Aus dem Vergleich mit den Anforderungen parallel genutzter (Gruppen-)Videokonferenzen geht hervor, dass das Szenario Cloudbasierte Anwendungen und Werkzeuge der Aus- und Weiterbildung (Szenario 1) im Download mit den höchsten Anforderungen einhergeht. Diese fallen im Vergleich zu den in Kapitel 5.1 berechneten Maximalanforderungen (knapp 40 Mbps) eher gering aus. Es ist jedoch zu vermuten, dass das Verhältnis aus „Dauer der Inanspruchnahme von Übertragungskapazität (Netzperspektive)“ zu „Nutzungsdauer (Nutzerperspektive)“ größer sein dürfte als im Fall von reinen Webseitenaufrufen. Die 3,6 Mbps der fünf parallelen Videokonferenzen, die eine durchgängige Nachfrage nach Übertragungskapazitäten auslösen, ist im Vergleich dazu sehr gering.

In Bezug auf den Upload sind die für fünf parallele Videokonferenzen berechneten Anforderungen mit 5,1 Mbps hier die relativ anspruchsvollsten Anforderungen– nicht nur in Bezug auf Szenario 1, sondern auch gemessen an den aktuellen Vorgaben der TKMV. Im Vergleich zu in Kapitel 5.1 berechneten Maximalanforderungen liegen sie geringfügig niedriger, jedoch gehen die Videokonferenzen mit einem kontinuierlichen Datenstrom und somit einer durchgängigen Belegung der Übertragungskapazitäten einher. Von den adaptiven Eigenschaften der Anwendungen wird an dieser Stelle wie auch im gesamten Kapitel 5 abstrahiert.

¹⁵³ Der Durchschnittswert berechnet sich wie folgt: (3,5 Mbps * 2 Personen + 1,8 Mbps * 3 Personen) / 5 Personen.

Tabelle 42: Beruflich veranlasste Parallelnutzungen im Mehrpersonenhaushalt

Anzahl Hauhaltsmitglieder	Beruflich veranlasste Parallelnutzungsszenarien			
	Szenario 1: Cloudbasierte Anwendungen & Werkzeuge der Aus- & Wei- terbildung*		Szenario 2:(Gruppen-) Video- konferenzen**	
	Downstream [Mbps]	Upstream [Mbps]	Downstream [Mbps]	Upstream [Mbps]
Ø pro Person	2,5	0,5	0,7	1,0
5 Personen	12,4	2,6	3,6	5,1

* Cloudbasierte Anwendungen inkl. VPN [MS PowerPoint] für Erwachsene und grundlegende Werkzeuge der Aus- & Weiterbildung [fahrshule.de] für Schulkinder.

** (Gruppen-)Videokonferenzen [WhatsApp in Download; Zoom in Upload] inkl. VPN für Erwachsene bzw. ohne VPN für Schulkinder.

Quelle: wik

Da unser Szenario 1 die beruflich bzw. schulisch veranlassten Dienste mit den höchsten Anforderungen an die Datenübertragungsrate beinhaltet, haben wir ergänzend dargestellt, wie sich die Bedarfe der anderen Dienste in dieser Kategorie in Relation zu den hier ausgewiesenen Ergebnissen verhalten.

Tabelle 43. Für Erwachsene: Verhältnis der Datenanforderung unterschiedlicher Teleheimarbeit-Dienste zum Teleheimarbeit-Dienst mit der maximalen Datenanforderung (,cloudbasierte Dienste' in Download und ,Datenaustausch' in Upload)

Dienst	Downstream - Anteil an MAX []	Upstream - Anteil an MAX[%]
cloudbasierte Dienste (z.B. MS Office) inkl. VPN	100%	k.A.
Datenaustausch (mit dem Unternehmensserver) inkl. VPN	37 %	100 %
eMail inkl. VPN	22 %	60 %
Remote-Desktop inkl. VPN	54 %	k.A.
Anrufe und Videoanrufe inkl. VPN	21 %	57 %
(Gruppen-) Videokonferenzen inkl. VPN	21 %	81 %

Quelle: wik

Tabelle 44: Für Schulkinder: Datenanforderung unterschiedlicher, grundlegender Online-Werkzeuge für die Aus- und Weiterbildung im Vergleich

Dienst	Downstream - Anteil an MAX [%]	Upstream - Anteil an MAX [%]
Elektronische Test oder Übungen (fahrschule.de)	100 %	k.A.
Wikipedia oder andere Wikis (de.wikipedia.org)	49 %	k.A.
Webseiten mit fachlichen Inhalten (scholar.google.de)	7 %	k.A.
Digitale Lernspiele, Simulationen (anton.app/de)	88 %	k.A.

Quelle: wik

5.3 Parallelnutzung im privaten Kontext: Freizeitbetrachtung

Die Freizeitbetrachtung zielt auf die private Nutzung von Internetdiensten ab. Weil die private Nutzung des Internetzugangs nicht auf die Freizeit und den Abend beschränkt ist, erachten wir es als sinnvoll auf die Tageszeit abzustellen, zu der die Wahrscheinlichkeit, dass sämtliche Haushaltsmitglieder den Internetzugang gleichzeitig nutzen, am größten ist. In den Abendstunden sehen wir hierzu die höchste Wahrscheinlichkeit.

Szenario Paralleles Videostreaming (Szenario 3)

Den in Abschnitt 4.1.3 vorgestellten Ergebnissen der ARD/ ZDF Onlinestudie 2022 zufolge ist die mediale Nutzung, insbesondere von Bewegtbildern inkl. Live-TV, über alle Altersklassen sehr stark verbreitet.¹⁵⁴ Deswegen halten wir eine parallele Nutzung von Videostreaming für ein relevantes Beispiel im Rahmen der Quantifizierung von Anforderungen an die Datenübertragungsrate im Mehrpersonenhaushalt (Tabelle 45).

¹⁵⁴ Abends wird hauptsächlich Videostreaming von längeren Videos genutzt. Hierbei liegt der Nutzungs-Peak zwischen 20 und 21 Uhr. Siehe Egger, A. und Rhody, A. (2022). S.434 und Beisch, N. und Koch, W. (2022).

Tabelle 45: Paralleles Videostreaming im Mehrpersonenhaushalt (Freizeit)

Anzahl Haushaltsmitglieder	Szenario 3: Szenario Paralleles Videostreaming	
	Videostreaming (Netflix in SD)	
	Downstream [Mbps]	Upstream [Mbps]
Ø pro Person	3,0	-
5-Personen	15,0	-

Quelle: wik

Im Vergleich zur Parallelnutzung von Videokonferenzen im beruflichen Alltag übersteigen die Anforderungen des parallelen Streamings diese im Downstream deutlich (mehr als das Dreifache). Für den Upstream beim Videostreaming weisen wir keine Datenübertragungsrate aus, da wir bei der Ableitung der dienstespezifischen Anforderungen diesen aufgrund seiner geringfügigen Größe vernachlässigt haben.¹⁵⁵

Wie auch für die Dienste des beruflichen Alltags gibt es bei der Parallelnutzung im Freizeitbereich eine Vielzahl beliebiger Kombinationsmöglichkeiten von Diensten. Unter Berücksichtigung der in Abschnitt 4.1.3 dargestellten Erkenntnisse zur Dienstenutzung verschiedener Altersklassen haben wir die folgenden Nutzungsszenarien beispielhaft für eine Quantifizierung ausgewählt.

Privates Szenario: Videostreaming und Webseitenaufrufe (Szenario 4)

Dieses rein auf private Nutzung ausgerichtete Szenario besteht aus einem Mix zwischen Videostreaming (3 Mbps Downstream)¹⁵⁶, der Nutzung von sozialen Medien (7,4 Mbps im Download) und Online-Einkauf (4,4 Mbps im Download). In der Darstellung sind auch hier wieder die Anforderungen an die Datenübertragungsrate als Durchschnittswerte eines Fünf-Personenhaushalts dargestellt.

Privat-berufliches Szenario: beruflich veranlasste Videokonferenzen und webbasierte Dienste inkl. Videostreaming (Szenario 5)

Diesem Szenario liegt eine gemischte private und berufliche Parallelnutzung zu Grunde. Es besteht aus den folgenden Diensten: für Erwachsene (Gruppen-) Videokonferenzen inkl. VPN sowie für Kinder bzw. Schüler grundlegende Online-Werkzeuge für die Aus- und Weiterbildung, Online-Einkauf, soziale Medien und Videostreaming. Der Ausweis der Anforderungen an die Datenübertragungsrate erfolgt auch hier wieder als Durchschnittswert pro Person.

¹⁵⁵ Vgl. Kapitel 3.

¹⁵⁶ Kurze Videos/ Clips (mit sogenanntem „snackable Inhalt“) auf YouTube oder sozialen Netzwerken sowie Sofortnachrichten werden im Verlauf des Tages relativ gleichmäßig genutzt.

Tabelle 46: Sonstige Parallelnutzung im Mehrpersonenhaushalt

Anzahl Haushaltsmitglieder	Szenario 4 Privates Szenario: Video-streaming und Webseitenaufrufe		Szenario 5 Privat-berufliches Szenario: beruflich veranlasste Videokonferenzen und webbasierte Dienste inkl. Video-streaming	
	Downstream [Mbps]	Upstream [Mbps]	Downstream [Mbps]	Upstream [Mbps]
Ø pro Person	4,2	-	3,5	0,2
5-Personen	20,8	-	17,4	1,1

Quelle: wik

5.4 Zusammenfassung der Ergebnisse und Einordnung

Vergleich der modellierten Datenübertragungsraten für die verschiedenen Parallelnutzungsszenarien

Abschließend zeigen wir eine tabellarische Gegenüberstellung der modellierten Parallelnutzungsszenarien. Dabei haben wir in den nachfolgenden Tabellen die Anforderungen an den Download und Upload separat dargestellt und in den jeweils ersten beiden Zeilen die sogenannten „Maximal-Szenarien“ dargestellt, die auf den Diensten mit den höchsten Anforderungen an die Datenübertragungsrate beruhen.

Die ersten beiden Spalten der Tabellen beschreiben das jeweils untersuchte Parallelnutzungsszenario. In der mittleren Spalte der Tabellen haben wir angegeben, welcher Dienstekategorie die Produkte der jeweiligen Szenarien zugeordnet werden können. In den letzten beiden Spalten finden sich die berechneten Datenübertragungsraten, einmal für eine Person¹⁵⁷ und einmal für fünf Personen.

Wie wir in Kapitel 4 herausgearbeitet haben, sind Parallelnutzungskonstellationen von Diensten mit diskreten Datenvolumina eher zufällig und nicht als Regelfall einzuordnen. Szenarien, die Dienste aus dieser Kategorie beinhalten, gehen tendenziell mit relativ hohen Anforderungen an die Datenübertragungsrate einher, die in den letzten beiden Spalten für die Nutzung durch eine Person (vorletzte Spalte) bzw. durch fünf Personen (letzte Spalte) dargestellt sind. Die Wahrscheinlichkeit für die hier berechneten Anforderungen ist jedoch aufgrund der Zufälligkeit der Parallelnutzung im Tagesverlauf eher als gering einzuschätzen.

¹⁵⁷ Sind in einem Szenario unterschiedliche Dienste für die Haushaltsmitglieder unterstellt, so wird hier der Durchschnittswert über die fünf Personen ausgewiesen.

Tabelle 47: Download (in Mbps) – Zusammenfassung der Bottom-up-Ergebnisse identifizierter Parallelnutzungskonstellationen in Mehrpersonenhaushalten

Szenario	Beschreibung	Dienstekategorie	1 Person ∅	5 Personen
Szenario max	Maximal-Szenario	Diskrete Datenvolumina	7,4	37,0
Szenario max+	Maximal-Szenario mit parallelen Diensten pro Person	Diskrete Datenvolumina	8,9	44,7
Szenario 1	Cloudbasierte Anwendungen & Werkzeuge der Aus- & Weiterbildung	Diskrete Datenvolumina	2,5	12,4
Szenario 2	(Gruppen-) Videokonferenzen	Kontinuierliche Datenströme	0,7	3,6
Szenario 3	Privates Videostreaming	Kontinuierliche Datenströme	3,0	15,0
Szenario 4	Privates Szenario: Videostreaming und Webseitenaufrufe	Gemischt	4,2	20,8
Szenario 5	Privat-berufliches Szenario: beruflich veranlasste Videokonferenzen und webbasierte Dienste inkl. Videostreaming	Gemischt	3,5	17,4

Quelle: wik

Die auf Diensten mit kontinuierlichen Datenströmen basierenden Szenarien zeigen im Vergleich zu den anderen tendenziell geringere Datenübertragungsraten im Download. Aufgrund der Kontinuität des Datenstroms ist die Wahrscheinlichkeit einer Parallelnutzung deutlich höher als für die Dienste mit diskreten Datenvolumina. Allerdings ist hier in Bezug auf die adaptiven Verfahren von Videostreaming und Videokonferenzanwendungen zu beachten, dass diese ihre Datenrate dynamisch anpassen können, wenn es infolge von Parallelnutzung zu Kapazitätsengpässen kommt. Insbesondere im Upload liegen die berechneten Werte für parallele Videokonferenzen nur knapp unterhalb der Anforderungen des Maximal-Szenarios.

Tabelle 48: Upload (in Mbps) – Zusammenfassung der Bottom-up-Ergebnisse identifizierter Parallelnutzungskonstellationen in Mehrpersonenhaushalten

Szenario	Beschreibung	Dienstekategorie	1 Person Ø	5 Personen
Szenario max	Maximal-Szenario	Diskrete Datenvolumina	1,3	6,6
Szenario max+	Maximal-Szenario mit parallelen Diensten pro Person	Diskrete Datenvolumina	2,4	11,9
Szenario 1	Cloudbasierte Anwendungen & Werkzeuge der Aus- & Weiterbildung	Diskrete Datenvolumina	0,5	2,6
Szenario 2	(Gruppen-) Videokonferenzen	Kontinuierliche Datenströme	1,0	5,1
Szenario 3	Privates Video-streaming	Kontinuierliche Datenströme	0,0	0,0
Szenario 4	Privates Szenario: Video-streaming und Webseitenaufrufe	Gemischt	0,0	0,0
Szenario 5	Privat-berufliches Szenario: beruflich veranlasste Videokonferenzen und webbasierte Dienste inkl. Videostreaming	Gemischt	0,2	1,1

Quelle: wik

Dienste mit diskreten Datenvolumina und Dauer der Belegung von Übertragungskapazität anhand ausgewählter Beispiele für den Upload

Bei der Interpretation der von uns berechneten Parallelnutzungsszenarien haben wir nochmals auf die Bedeutung der zeitlichen Komponente und ihre Relevanz für die gleichzeitige Belegung von Übertragungskapazität abgestellt. Auch wenn unsere Aussage, dass Dienste mit diskreten Datenvolumina die Übertragungskapazität des Internetzugangs nur für eine kurze Zeit belegt, wollen wir an dieser Stelle eine beispielhafte Quantifizierung der Belegungsdauer anhand ausgewählter Beispiele vornehmen. Dabei beschränken wir uns auf die Darstellung von Upload-Szenarien.

a) Auswahl der Dateien für die Upload-Szenarien

Die Dauer der Belegung von Übertragungskapazitäten hängt von der Größe der herunter- bzw. hochzuladenden Datei ab, die sich von Fall zu Fall in ihrer Höhe stark unterscheiden. Auswertungen von Dateigrößen der Anhang V-Dienste bestätigen dies. Wir haben bei der Auswertung drei Dateitypen identifiziert, die im Kontext der Anhang V-Dienste relevant sind. Dazu zählen:

- Dokumente (z.B. Word-Dokumente, PDF-Dokumente, PPT-Dokumente)
- Fotos (unterschiedliche Auflösung)
- Videos (unterschiedlicher Länge und Auflösung)

Für unsere Berechnung, wie lange der Upload die Übertragungskapazität des Internetzugangs in Anspruch nimmt, haben wir auf die folgenden Anhang V Produkte zurückgegriffen:

- Hochladen von Dokumenten, die zur (6) ‚Arbeitssuche und Werkzeuge für die Arbeitssuche‘ dienen.
Beispiele für Dokumente dieser Größe können beispielsweise ein einfacher Lebenslauf, ein ausgefülltes Formular oder einfaches Lernmaterial sein. Dieser Nutzungsvorgang dient daher zur Zweckerfüllung von den Anhang V-Diensten (3) ‚grundlegende Online-Werkzeuge für die Aus- und Weiterbildung‘; (6) ‚Arbeitssuche und Werkzeuge für die Arbeitssuche‘ und (9) ‚Nutzung elektronischer Behördendienste‘.
- Hochladen von Videos (10) ‚soziale Medien und Sofortnachrichtenübermittlung‘. Dazu haben wir Angaben von bekannten Streamingplattformen recherchiert.¹⁵⁸ Bei einer Auflösung von 480p und einer ‚optimalen‘ YouTube-Videolänge¹⁵⁹ von 8 Minuten ist von einem Datenvolumen von 64 MB auszugehen. Videos höherer Auflösung (1080p) haben größere Datenmengen (260 MB) und benötigen längere Hochladenzeiten (ca. 19 Minuten).
- Hochladen von Fotos; hier haben wir Fotos mit einer Auflösung von 12 MP (4,5 MB)¹⁶⁰ unterstellt und darüber hinaus die Annahme getroffen, dass drei solcher Fotos gleichzeitig hochgeladen werden.¹⁶¹

Die von uns ausgewählten Dateitypen sind in Tabelle 49 dargestellt.

a) Datenvolumen und unterstellte Datenübertragungsrate des Internetzugangs

Um aus den Angaben zum Datenvolumen abzuleiten, über welche Dauer sich dieser Vorgang hinzieht, greifen wir auf den folgenden mathematischen Zusammenhang zurück, der bereits in Kapitel 3 bei der Transformation der Datenvolumina des Onload-Events unter Vorgabe der tolerierten vier Sekunden Übertragungsdauer angewendet wurde.

$$\text{Übertragungsdauer (s)} = \frac{MB * 8}{\text{Übertragungskapazität (Mbps)}}$$

In der Formel steht die Übertragungskapazität [Mbps] für die Geschwindigkeit des Internetzugangs. Hier haben wir auf die Festlegung der TKMV zurückgegriffen, die 1,7 Mbps als Untergrenze für den Upload festlegt.

¹⁵⁸ Bei der meistverwendeten Videoplattform ‚YouTube‘ werden ca. 8 MB für ein Video mit einer Videoauflösung von 480 p pro Minute benötigt. Schulz, S. (2021).

¹⁵⁹ Wieruch, L. (2021).

¹⁶⁰ Technische Universität Braunschweig (2019).

¹⁶¹ Statistiken zu der Zahl durchschnittlich versendeter oder hochgeladener Fotos lagen uns nicht vor, weswegen wir hier einen Wert in einer aus unserer Sicht sinnvollen Größenordnung gewählt haben.

b) Ermittelte Upload-Zeiten im Vergleich

Die von uns berechneten Übertragungsdauern (in mm:ss) und unterstellten Nutzungswahrscheinlichkeiten für die unterschiedlichen Dateitypen (Dokumente, Fotos und Videos) werden in der untenstehenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 49: Upload und Dauer der Belegung von Übertragungskapazität (1,7 Mbps) – Berechnungen anhand typischer Anwendungsbeispiele

Anhang-V Dienst	Nutzungsvorgang	Dateigröße [MB]	Übertragungsdauer [mm:ss]	Nutzungshäufigkeit [#]	Wahrscheinlichkeit zeitgleicher Nutzung [%] (2 Nutzer)
(3) Aus- und Weiterbildung (6) Arbeitssuche (9) Behördendienste	Dokument hochladen (klein)	0,2	00:01	4	<0,01 %
(3) Aus- und Weiterbildung (6) Arbeitssuche (7) Berufliche Vernetzung; (10) soziale Medien	Fotos 12PM hochladen (groß)	4,5	00:21	4	<0,3 %
(3) Aus- und Weiterbildung (10) soziale Medien	Video (6-8 min) 480p hochladen	64	5:01	4	<4,2 %
	Video (6-8 min) 1080p hochladen	240	18:49	4	<15,7 %

- (3) grundlegende Online-Werkzeuge für die Aus- und Weiterbildung
- (6) Arbeitssuche und Werkzeuge für die Arbeitssuche
- (7) Berufliche Vernetzung
- (9) Nutzung elektronischer Behördendienste
- (10) soziale Medien und Sofornachrichtenübermittlung

Quelle: wik auf Basis Angaben zu optimaler Videolänge von Wieruch, L. (2021). <https://blog.mynd.com/de/perfekte-videolaenge-einsatzort/>. Zuletzt besucht am 17.01.2024; zu YouTube's Datenvolumenverbrauch von Schulz, S. (2021). https://praxistipps.chip.de/wieviel-daten-volumen-verbraucht-youtube_51224. Zuletzt besucht am 17.01.2024, und zu Datenvolumen von Bilddateien nach Auflösung von der Technischen Universität Braunschweig (2019). <https://otrs.rz.tu-bs.de/external/knowledge-base/article/1146>. Zuletzt besucht 17.01.2024.

Aus der mittleren Spalte geht hervor, dass bei einer zur Verfügung stehenden Upload-Geschwindigkeit von 1,7 Mbps ein kleines Dokument (0,2 MB) innerhalb einer Sekunde hochgeladen werden kann.

Bei derselben Upload-Geschwindigkeit benötigen Fotos mit einer Auflösung von 12 MP (4,5 MB)¹⁶² ca. 20 Sekunden, um hochgeladen zu werden. Fotos dieser Größe können

¹⁶² Technischen Universität Braunschweig (2019): Wie groß wird eine Bilddatei bei welcher Auflösung? <https://otrs.rz.tu-bs.de/external/knowledge-base/article/1146>, zuletzt besucht 17.01.2024.

beispielsweise Profilbilder bei sozialen und beruflichen Netzwerken, Lernmaterial oder fotografierte Zeugnisse sein. Für folgende Anhang V-Dienste stellt das Hochladen von Fotos einen relevanten Nutzungsvorgang zur Zweckerfüllung dar: (3) ‚grundlegende Online-Werkzeuge für die Aus- und Weiterbildung‘; (6) ‚Arbeitssuche und Werkzeuge für die Arbeitssuche‘; (7) ‚berufliche Vernetzung‘ und (10) ‚soziale Medien und Sofortnachrichtenübermittlung‘.

Videos mit einer Auflösung von 480p und einer ‚optimalen‘ YouTube-Videolänge¹⁶³ von acht Minuten können bei der angenommenen Upload-Geschwindigkeit von 1,7 Mbps in ca. fünf Minuten hochgeladen werden. Für Videos höherer Auflösung (1080p) und 260 MB haben wir eine höhere Ladezeit von ca. 19 Minuten berechnet.

Wahrscheinlichkeit einer zeitlichen Überschneidung in der Belegung von Übertragungskapazität bei zwei Nutzern

Um auf Basis dieser Übertragungsdauern eine Einschätzung darüber zu gewinnen, wie wahrscheinlich eine parallele Belegung von Übertragungskapazität ist, haben wir weitere, annahmebasierte Berechnungen vorgenommen. Dazu haben wir einen Zeitraum von acht Stunden angenommen, währenddessen eine Parallelnutzung untersucht wird. Vereinfachend haben wir unterstellt, dass die betrachtete Art des Uploads (Dokumente, Fotos oder Videos) innerhalb dieser Zeitspanne viermal hochgeladen werden.

Unter der Hypothese, dass eine Parallelnutzung zufällig entsteht, kann die Wahrscheinlichkeit, dass der zweite Nutzer parallel zu den betrachteten Uploads aktiv wird, durch den Anteil seiner gesamten Belegungsdauer am Betrachtungszeitraum ermittelt werden (4 x Dauer des Uploads dividiert durch die Dauer von 8 Stunden). Die in der letzten Spalte der Tabelle 49 ausgewiesene Wahrscheinlichkeit zeigt für zwei parallele Nutzer eine Störwahrscheinlichkeit, die im schlimmsten Fall (d.h. beim Hochladen vier achtminütiger YouTube-Videos 1080p) weniger als 15 % beträgt, bezogen auf den Zeitraum von acht Stunden. Werden mehr als zwei parallele Nutzer betrachtet, so sinkt die Wahrscheinlichkeit der Parallelnutzung mit jeder zusätzlichen Person.¹⁶⁴ Sie steigt mit der Dateigröße sowie mit sinkender Geschwindigkeit des Internetzugangs. Die berechneten Werte erlauben keine Validierung, sie dienen vielmehr der Einordnung von Wahrscheinlichkeiten einer Parallelnutzung und deren Bestimmungsfaktoren.

Eine Einschätzung zur Bedeutung der zeitgleichen Inanspruchnahme von Übertragungskapazität im Download liefert das im Anhang 3 dargestellte Simulationsmodell zu webbasierten Diensten. Es wird gezeigt, dass selbst in Fällen relativ intensiver Nutzung von webbasierten Diensten eine Addition der dienstebezogenen Datenübertragungsraten,

¹⁶³ Wieruch, L. (2021).

¹⁶⁴ Wie zu Beginn von Kapitel 5 ausgeführt, betrachten wir ausschließlich den Fall, dass sämtliche Personen im Haushalt parallel Internetdienste nutzen. Der Fall inaktiver Nutzer wird letztlich durch die Anforderungen kleinerer Haushalte mit Parallelnutzung abgebildet (zwei parallele Nutzer bspw. im Vier-Personenhaushalt entsprechen einem Parallelnutzungsszenario im Zwei-Personenhaushalt).

wie sie in Kapitel 5 vollzogen wurde, statistisch betrachtet eine unverhältnismäßige Überschätzung darstellt. Ungeachtet der statistischen Zusammenhänge wird es in der Realität vorkommen, dass die Dienstenutzung verschiedener Haushaltsmitglieder sich zeitpunktbezogen überschneidet.

6 Top-down-Messungen im Kontext technischer Mindestanforderungen bei Parallelnutzungsszenarien

Mit Hilfe einer Bottom-up-Methodik wurden in Abschnitt 5 Berechnungen für Parallelnutzungsszenarien durchgeführt, um die Anforderungen an die Datenübertragungsrate für den Internetzugang zu bestimmen, der die Nutzung von Diensten zu einer definierten Qualität ermöglicht. Bei der Betrachtung in diesem Kapitel wird stattdessen ein Top-down-Ansatz gewählt. Hier wird unter Vorgabe von definierten Rahmenbedingungen – Datenübertragungsrate und maximale Laufzeit der Anschlussleitung – in einer Testumgebung gemessen, wie sich die Qualität der Dienste unter veränderten Rahmenbedingungen verhält. Sowohl die alleinige Nutzung als auch die parallele Nutzung von Diensten auf einer Anschlussleitung ist Gegenstand der Messungen.

Zwar kann der Top-down-Ansatz keine endogene Bestimmung der Datenübertragungsrate für den Internetzugang leisten; mit ihm ist es jedoch möglich,

- den Parallelnutzungsfall im Zeitablauf zu betrachten (dynamische Analyse),
- anhand der Messergebnisse für verschiedene Anschlussgeschwindigkeiten die Veränderung der Nutzererfahrung zu bewerten,
- ein Funktionieren der Dienste zu überprüfen.

Den dynamischen Charakter der Messmethode nutzen wir, um die bereits in Abschnitt 4.3.1 dargestellte Thematik von kleinteiliger und zufälliger Inanspruchnahme von Übertragungskapazität bei Diensten mit diskreten Datenvolumina für webbasierte Dienste aufzugreifen. Für die verschiedenen Dienste aus Anhang V zuzüglich Teleheimarbeit und Online-Inhaltedienste lassen sich zwar individuell Datenraten ermitteln, diese sind allerdings punktuelle Datenraten in Abwesenheit von Verkehrslast, die während der Nutzung eines Dienstes entstehen. Daher ist für Parallelnutzungsszenarien abzuschätzen, wie lange einzelne Dienste jeweils aktiv die Anschlussleitung belasten (etwa beim Laden einer Webseite oder beim Betrachten eines Videos). Hierbei sind (mindestens) zwei Unterscheidungen möglich:

- (1) Wie verhält sich die aktive Belastung der Leitung zur Nutzung eines Dienstes?
- (2) Wie ausgeprägt ist die Nutzung eines Dienstes pro Tag?

Diese Überlegungen zur Relevanz der Parallelnutzung und die mit ihr einhergehende Belastung der Anschlussleitung haben wir bereits in Kapitel 4 und Kapitel 5 aufgegriffen und für webbasierte Dienste, die sowohl mit einer vornehmlich punktuellen Belastung der Anschlusslinie einhergehen als auch eine ausgeprägte Nutzung pro Tag verzeichnen, ein Nutzungsmodell formuliert. Es kann aus Sicht der Nutzungsintensität als ein Modell für Webseitenzugriffe allgemein bezeichnet werden, dass als konservativ einzuschätzen ist, weil es eine deutlich stärkere Nutzung generiert als jüngere Studien für US-Haushalte

ermittelt haben.¹⁶⁵ Unter Annahme paralleler Dienstenutzung¹⁶⁶ und bedingten Eintrittswahrscheinlichkeiten zum Aufruf von Webseiten zielt es darauf ab abzuschätzen, welche Datenübertragungsraten von den parallel nutzenden Haushaltsmitgliedern insgesamt benötigt werden. Das Aufrufen von Webseiten wird dabei durch bedingte Eintrittswahrscheinlichkeiten abgebildet. Dabei stellt das Simulationsmodell auf das Potential des statistischen Multiplexens ab.¹⁶⁷ Eine vollständige Darstellung des Simulationsmodells findet sich im Anhang 3 zu diesem Gutachten.

Aufgrund der Vorgabe einer Datenübertragungsrates für die Anschlusslinie ist es mit Hilfe der Messungen möglich, Schlussfolgerungen sowohl hinsichtlich der Nutzererfahrung als auch des Funktionierens der Dienste zu ziehen. Beides sind endogene Größen der Top-down-Methode. Die Beschränkung der verfügbaren Übertragungskapazität auf der Anschlusslinie erlaubt es, den Fall der Verkehrslast zu berücksichtigen und dabei auch die Leistungsfähigkeit der kompensierenden protokolltechnischen Mechanismen zu evaluieren.

Die nachfolgende Tabelle fasst die zuvor genannten Merkmale des Top-down-Ansatzes zusammen.

165 FCC (2022).

166 Mit den von uns getroffenen Annahmen werden mit dem Simulationsmodell sog. „heavy user“ betrachtet. Mit diesen Annahmen wollen wir vermeiden, dass die Ergebnisse – welche auf die Ableitung eines Grundversorgungsniveaus abzielen – annahmegetrieben niedrig ausfallen. Zu den getroffenen Annahmen und Ergebnissen verweisen wir auf den Anhang 3 zu diesem Gutachten.

167 Für die Zwecke der Top-down-Messungen werden die Annahmen zur Inanspruchnahme der webbasierten Dienste aufgegriffen. Die Ergebnisse hinsichtlich der erzielten Nutzerqualität spiegeln sich dann in den gemessenen Ladezeiten wider.

Tabelle 50: Charakterisierung der Top-down-Methodik

Top-down	
Zielgröße	beobachtbare Nutzererfahrung bei vorgegebener Geschwindigkeit des Internetzugangs [Mbps] (Erreicht diese das Versorgungsziel?)
Geschwindigkeit des Internetzugangs [Mbps]	
	vorgegebene Größe (gemäß TKMV) für die untersuchten Parallel-nutzungskonstellationen (sowie weitere, höhere Anschlussgeschwindigkeiten)
Methode	
Zeitbezug	dynamisch
Datenrate der Dienste im Parallel-nutzungsfall	variabel
Abstraktionsgrad (vereinfachende Modellannahmen)	Durchführung von Messungen in realer Nutzungsumgebung und Anwendung eines Simulationsmodells für webbasierte Dienste
Weitere Bestimmungsfaktoren (Eingangsparameter der Untersuchungsmethode)	
verwendete Dienste / Produkte	Top-Produkte
QoE (Quality of Experience) / Produktqualität	endogene Ermittlung der Produktqualität ...
Dienste mit diskreten Datenvolumina	... mit Hilfe der Messungen ermittelte Übertragungsdauern
Dienste mit konti- nuierlichen Datenströmen (Video)	... durch Anwendung von QoE-Verfahren zur Ermittlung der Nut- zurerfahrung (erfasst anhand des Mean Opinion Score (MOS))
Dienste mit kontinuierlichen Datenströmen (Audio)	... durch Anwendung von QoE-Verfahren zur Ermittlung der Nutze- rerfahrung (erfasst anhand des Mean Opinion Score (MOS))

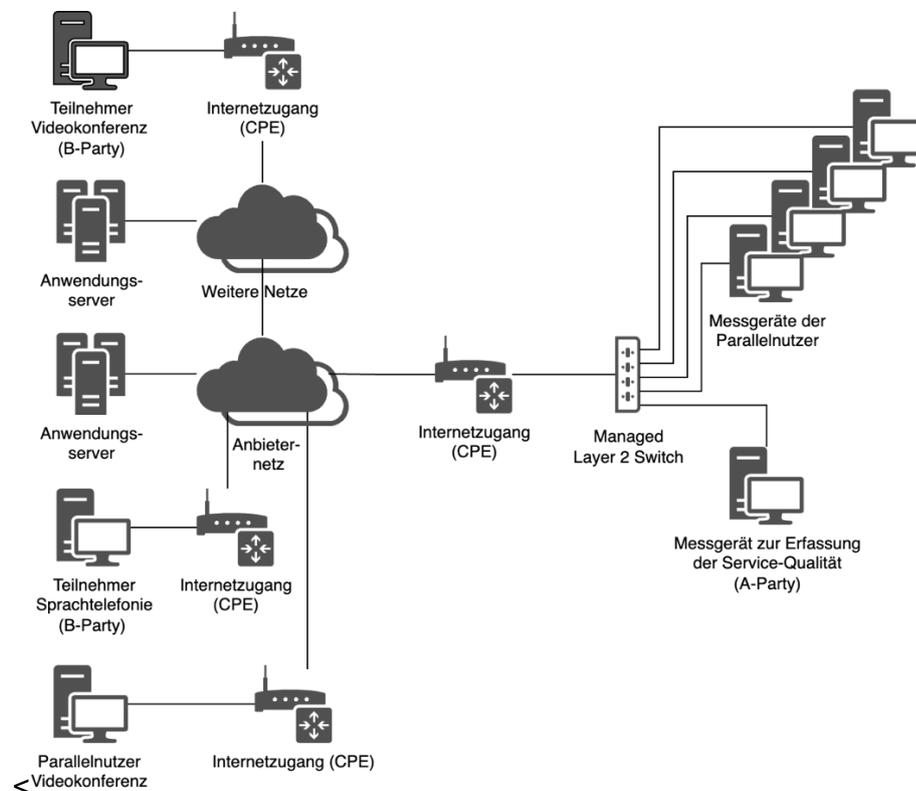
Quelle: wik

Testumgebung

Die Testumgebung dient zur Ermittlung von wechselwirkenden Einflüssen und betrachtet einen zu testenden Dienst, welcher durch parallele Dienste bzw. Anwendungen ggf. in seiner Qualität beeinflusst wird. Ist ein Funktionieren des Dienstes gegeben, so wird zusätzlich der Einfluss und somit die ggf. geminderte Qualität festgehalten. Die Qualität des Dienstes wird durch geeignete Messmethoden bzw. Standards (z. B. ITU-T P.863 bei Sprachtelefonie) ermittelt. Dabei finden sowohl QoE-Verfahren als auch Expertenbefragungen Anwendung. Mit Hilfe der Messungen soll überprüft werden, ob ein Funktionieren der relevanten Dienste und deren Qualität für den in der TKMV vorgegebenen Internetzugangsdienst gegeben ist.

Der verwendete Messaufbau orientiert sich an der Vorgabe, bis zu fünf gleichzeitig aktive Nutzer an einem Internetzugang zu berücksichtigen. Er besteht aus einer Internet-Anschlussleitung, einem messenden Endgerät (Messgerät) und bis zu vier weiteren Endgeräten (Messgeräte). Letztere simulieren die parallelen Nutzer der Anschlussleitung. Methodisch dienen die bis zu vier Parallelnutzer als sogenannte Störgrößen. Die Aktivitäten der Parallelnutzer, die für verschiedene Szenarien untersucht werden, umfassen paralleler Dateitransfer als Download oder Upload, Webseitenabrufe, Videostreams oder Videokonferenzen. Die Auswirkungen auf die Dienstqualität für den ersten Nutzer werden für die betrachteten Szenarien dokumentiert (sog. gemessener Dienst). Die nachfolgende Abbildung 28 illustriert den Messaufbau.¹⁶⁸

Abbildung 28: Messumgebung



Quelle: zafaco

¹⁶⁸ Eine detailliertere Beschreibung der Messumgebung mit den genutzten Komponenten und dem gewählten Setup ist in der Anlage 4 beschrieben. Die nachfolgende Beschreibung konzentriert sich insbesondere auf das allgemeine Verständnis zur Messumgebung und auf die gewonnenen Erkenntnisse.

6.1 Auswahl der gemessenen Parallelnutzungsszenarien

Um bei der Auswahl der zu messenden Parallelnutzungsszenarien einen vom Umfang beherrschbaren Ansatz zu ermöglichen, wurden Annahmen und Abgrenzungen getroffen. Die getroffene Auswahl und entsprechende Festlegungen sind nachfolgend dargestellt.

Eine Anwendung pro Nutzer (Haushaltsmitglied)

Bei den durchzuführenden Messungen wird von jedem Haushaltsmitglied genau ein (paralleler) Dienst genutzt. Diese Szenarien erlauben einen Vergleich mit den dienstespezifischen Ergebnissen der Bottom-up-Analyse. Die parallele Nutzung von mehreren Diensten durch einen einzelnen Nutzer (siehe Kapitel 5.1) wird in der Untersuchung nicht betrachtet.

Datenübertragungsraten der Anschlusslinie im Download und Upload

Des Weiteren ist es zwingend, in einem ersten Schritt für die Durchführung von konkreten Messungen im Top-down-Ansatz die zu betrachtenden Datenübertragungsraten des Internetzugangsdienstes zu definieren. Dieses Vorgehen liefert bei der gewählten Konfiguration konkrete Ergebnisse, wie sich die Qualität der genutzten Dienste verhält.

Die aktuell in der TKMV festgelegten Mindest-Datenübertragungsraten von 10 Mbps im Download, 1,7 Mbps im Upload und eine Laufzeit von kleiner 150 ms wurden als Ausgangspunkt gewählt. Um das Funktionieren der Dienste sowie die sich einstellende Qualität der Dienste bei paralleler Nutzung in Mehrpersonenhaushalten zu beurteilen, wurden, ausgehend von den in der TKMV festgelegten Werten, die Datenübertragungsraten gesteigert. Im Einzelnen wurden Messungen für die nachfolgenden Anschlussgeschwindigkeiten durchgeführt:

- 10 Mbps Download und 1,7 Mbps Upload (TKMV)
- 15 Mbps Download und 2,4 Mbps Upload
- 20 Mbps Download und 3,4 Mbps Upload
- 20 Mbps Download und 5,1 Mbps Upload

Eine Vorhersage, wie sich die Qualität der Dienste und damit die Messergebnisse bei unterschiedlichen Konfigurationen verhalten, ist mit einer einfachen Interpolation der Messergebnisse nicht möglich.

Gewählte Parallelnutzungsszenarien: Auswahl der zu messenden Dienste

Neben der Definition der Parameter der Anschlussleitung müssen für konkrete Messungen auch sinnvolle (d. h. praxisrelevante) Anwendungsszenarien entwickelt werden. Hierfür wurden anhand der Erkenntnisse der Bottom-up-Analyse eine Auswahl aus den

Top-Produkten zu den Anhang-V Diensten ausgewählt. Hieraus ergeben sich die nachfolgend genannten Dienste:

- Sprachtelefonie
- Webseitenabruf (datenintensiv und kompakt, im Sinne von weniger datenintensiv)
- Videostreaming
- Videokonferenz

Auf die Nutzung von VPN-Diensten wurde aufgrund der Komplexität und der potenziellen Einflussnahme der Performance eines VPN-Dienstleisters auf die Ende-zu-Ende-Qualität verzichtet. Wohl aber sind die genutzten webbasierten Dienste typischerweise verschlüsselt.

Auf die Durchführung von Messungen des Dienstes „Datentransfer“ wurde verzichtet, da es sich um einen Dienst ohne deterministische Mindestanforderung handelt. Eine Abbildung der ermittelten Datenübertragungsraten auf definierte Vorgaben ist in diesem Kontext nicht möglich (siehe Kapitel 3.3.3.2).

Zu messenger (zu testender) Dienst und störende, parallelgenutzte Dienste

Zentral bei der Betrachtung der durchgeführten Messung ist, dass sich die Analyse und die ermittelte Funktionalität bzw. Qualität ausschließlich auf den im Test befindlichen Dienst beschränkt. Im Verlauf der Messungen werden dazu unterschiedliche parallele Dienste initiiert, die den Charakter von Störgrößen haben.

Die Kombinationsmöglichkeiten aus parallel genutzten Diensten und ein bis fünf Personen in einem Haushalt ist sehr vielfältig, weshalb auch hier eine Auswahl vorgenommen werden muss. Um die Anzahl der Szenarien beherrschbar zu machen, haben wir die Kombinationsmöglichkeiten von genutzten Diensten durch die störenden Haushaltsmitglieder eingeschränkt und unterstellen, dass die störenden Personen (Haushaltsmitglied zwei bis fünf) immer den identischen Dienst nutzen. Hierauf folgt die nachfolgende Definition von genutzten Diensten. Es finden die folgenden Dienste im Sinne einer Störgröße Berücksichtigung.

- Webseitenabruf
- Videostreaming
- Videokonferenz
- Download
- Upload
- Download+Upload (zeitgleicher Down- und Upload)

Bei der Auswahl der Stördienste wurde darauf verzichtet, die Sprachtelefonie zu untersuchen, da diese mit einer sehr geringen Datenübertragungsrate von typischerweise 64 kbps einhergeht und daher voraussichtlich vernachlässigbaren Einfluss auf den zu

messenden Dienst hat.

Auf der anderen Seite werden für eine parallele Nutzung auch Dienste ohne deterministische Mindestanforderungen – wie der „Dateitransfer“ im Down- und Upload – genutzt.

Eigenschaften der Störgrößen

Die beiden Dienste Videostreaming und Videokonferenz sind zeitkontinuierliche Dienste, die über die Dauer der Ausführung eine konstante Nutzung der Anschlussleitung verursachen.¹⁶⁹ Somit erfolgt bei diesen beiden Störgrößen eine kontinuierliche parallele Nutzung der Anschlussleitung zu dem zu messenden Dienst.

Hingegen ist die Nutzung von Webseitenabrufen nicht kontinuierlich und wird in aller Regel selbst bei paralleler Nutzung durch die Haushaltsmitglieder auch nicht zeitgleich ausgeführt. Um diesem Umstand gerecht zu werden, wurde das in Kapitel 4.3.1 skizzierte und im Anhang 3 beschriebene Modell in den automatisierten Messablauf integriert.

Die weiteren Dienste Download, Upload und Download+Upload sollen den Dateitransfer repräsentieren. Um methodisch sicher zu stellen, dass der Dateitransfer tatsächlich über die gesamte Dauer der Messung den originär gemessenen Dienst stört, wird über die komplette Dauer der Messung eine parallele Datenübertragung initiiert. Diese Datenübertragung erfolgt mittels TCP und versucht die maximale verfügbare Kapazität der Anschlussleitung zu belegen. Aufgrund dieser methodischen Umsetzung repräsentieren diese Szenarien mit störendem Down- und oder Upload einen Sonderfall; sie haben den Charakter von Worst-Case-Betrachtungen. In der Praxis haben Dateien ein endliches Datenvolumen. Entsprechend ist davon auszugehen, dass die in der Realität beobachtbaren Auswirkungen auf die Dienstqualität – im Vergleich zu den hier modellhaft abgebildeten – lediglich in abgeschwächter Form auftreten. Dies ist natürlich abhängig von der jeweiligen Dateigröße.¹⁷⁰ Typische Beispiele für einen Download sind das Herunterladen von Computer-Programmen, E-Mail Anhängen, Betriebssystemupdates, Smartphone-Apps, etc. Auch der Upload ist eine gängige Nutzungsart bei Verbrauchern, wenn diese Daten zu Gegenstellen im Internet hochladen (z. B. versenden von E-Mail Anhängen, Foto-Versand, Online-Backup, etc.).

Da in der Praxis die übertragenen Dateien höchst unterschiedliche Größen aufweisen und es keine Systematik gibt, aus der sich ausgewählte praxisrelevante Szenarien ableiten ließen, haben wir diesen (störenden) Dienst in Form einer maximalen Störung angelegt. Diese ist über die komplette Dauer des Messvorgangs wirksam. Es ist daher hervorzuheben, dass die parallele Nutzung von Download und Upload im konkreten Messkontext als schlecht möglicher Fall zu betrachten ist. Bei alltäglichen Nutzungskonstellationen ist davon auszugehen, dass parallele Download und Upload durchaus vorkommen, diese aber zeitlich begrenzt sind und somit einen parallelen Dienst nicht dauerhaft

¹⁶⁹ Die kontinuierliche Inanspruchnahme von Übertragungskapazität kann ggf. auch schwankender Datenübertragungsraten einhergehen. Zur technischen Realisierung von Streamingdiensten siehe auch das [Parallelgutachten „Qualitätsparameter“](#), wik-zafaco-Gutachten (2023).

¹⁷⁰ Vgl. Kapitel 5.4 und dort beispielhaft dargestellte Dateigrößen im Kontext von Datei-Upload.

stören, wie dies bei den von uns durchgeführten Messungen der Fall ist. Auch wenn parallele Down- und/oder Uploads regelmäßig in einem Haushalt vorkommen, so ist zu beachten, dass dies (a) in abgeschwächter Form auftritt und (b) der Beeinträchtigung durch weitere Maßnahmen pro-aktiv begegnet werden kann (z. B. Absprache der Personen eines Mehrpersonenhaushalts, zu welchen Zeiten Beeinträchtigungen störend sein könnten oder mittels technischer Maßnahmen¹⁷¹). Diese Einschränkungen sind bei der Interpretation der Messergebnisse zu beachten.

Sonstige Einflussfaktoren

Da bei der Messdurchführung reale Umgebungsbedingungen im offenen Internet genutzt werden, sind Einflüsse durch die bei der Messung genutzten Gegenstellen nicht immer auszuschließen. Wir gehen davon aus, dass bei den von uns durchgeführten Messungen die Performance der betrachteten Diensteanbieter durchweg gut ist und diese keine negative Beeinflussung der Messergebnisse auslösen. Diese Annahme halten wir für begründet, da es sich durchweg um sogenannte Top-Produkte handelt und wir von einem Zusammenhang ausgehen, dass eine schlechte Dienstperformance durch die Nachfrager mit Abwanderung bestraft wird. –Tageszeitliche Schwankungen (On-/Off-Peak) des jeweiligen Dienstes werden durch eine Betrachtung mit einer ausreichenden Anzahl von Messdurchführungen über eine längere Zeit berücksichtigt.

6.2 Top-down-Messergebnisse für Parallelnutzungsszenarien

Die Ergebnisse der Top-down-Messungen der Parallelnutzungsszenarien werden für die unterschiedlichen Anschlussgeschwindigkeiten des Internetzugangs entsprechend dem folgenden Farbschema dargestellt:

Abbildung 29: Anschlussgeschwindigkeiten und Farbschema

Download/Upload			
	10/1.7 Mbps		20/3.4 Mbps
	15/2.4 Mbps		20/5.1 Mbps

Quelle: zafaco

¹⁷¹ Online-Backup oder Dateisynchronisationsanwendungen bieten zum Teil Maßnahmen an, die als „less than best effort“ umschrieben werden können. Sie sind dadurch charakterisiert, dass sie im Fall von Kapazitätsengpässen anderen Diensten den Vorrang lassen. Siehe hierzu z. B. auch Background Intelligent Transfer Service (BITS) - <https://learn.microsoft.com/en-us/windows/win32/bits/background-intelligent-transfer-service-portal>.

Die Messergebnisse für den jeweils in seiner Qualität untersuchten Dienst werden anhand der folgenden Parallelnutzungsszenarien untersucht. Die Darstellung der Ergebnisse des gemessenen Dienstes in den nachfolgenden Unterkapiteln orientiert sich von links nach rechts an der folgenden Reihenfolge:

- Dienst *pur* (keine Parallelnutzung),
- Dienst mit paralleler/n *Videokonferenz/en*,
- Dienst mit parallelem/n *Videostreaming*,
- Dienst mit parallelem/n *Webseitenabruf*,
- Dienst mit parallelem/n *Download*,
- Dienst mit parallelem/n *Download+Upload*, sowie
- Dienst mit parallelem/n *Upload*.

Für die Messungen mit Parallelnutzung wird hierbei eine Differenzierung zwischen **einem** Parallelnutzer (dargestellt durch eine nicht schraffierte Säule) sowie **vier** Parallelnutzern (dargestellt durch eine schraffierte Säule), vorgenommen.

Die Ergebnisse sind als Mittelwerte der Grundgesamtheit der durchgeführten Messungen sowie deren Standardabweichungen je Dienst angegeben. Die Standardabweichung ist das Maß für die Streuung der Messwerte um den Mittelwert und wird in den Ergebnisgrafiken als Whisker dargestellt. Im Anhang 4 zu diesem Gutachten findet sich die technische Beschreibung der Top-down-Messungen. Neben einer detaillierten Beschreibung der Messumgebung, der Messgrößen, der Störgrößen sowie der Messdurchführung stellt dieser Anhang darüber hinaus die in diesem Kapitel vorgestellten sowie diskutierten Messergebnisse numerisch dar. Er erlaubt damit einen detaillierteren Blick auf statistische Parameter wie den Minimalwert, den Maximalwert, den Mittelwert, die Standardabweichung sowie die Stichprobenanzahl.

6.2.1 Sprachtelefonie

Bei den Messungen für die Sprachtelefonie wurde auf die sog. NGN-Telefonie abgestellt.¹⁷²

Die Ergebnisse der Messungen Sprachtelefonie sind in den Abbildung 30 (Speech Delay A/B¹⁷³ in Millisekunden) sowie Abbildung 31 (MOS A/B nach ITU-T P.863¹⁷⁴) dargestellt. Die Messungen Sprachtelefonie wurden bei der Datenübertragungsrate 10 Mbps im Download und 1,7 Mbps im Upload (10/1.7 Mbps) durchgeführt, diese sind in den Abbildung 30 und Abbildung 31 nur in blau ausgewiesen. Auf Messungen auf Anschlusslinien

¹⁷² Siehe auch wik-zafaco-Gutachten (2021) und die dortige Produktauswahl.

¹⁷³ Bezeichnet die Sprachverzögerung durch die Laufzeit der Übertragung und Verarbeitung der Daten von einem Sender (A) zu einem Empfänger (B).

¹⁷⁴ Gibt die empfundene Qualität (QoE) der übertragenen Sprache von Sender (A) zu Empfänger (B) auf der Empfängerseite wieder.

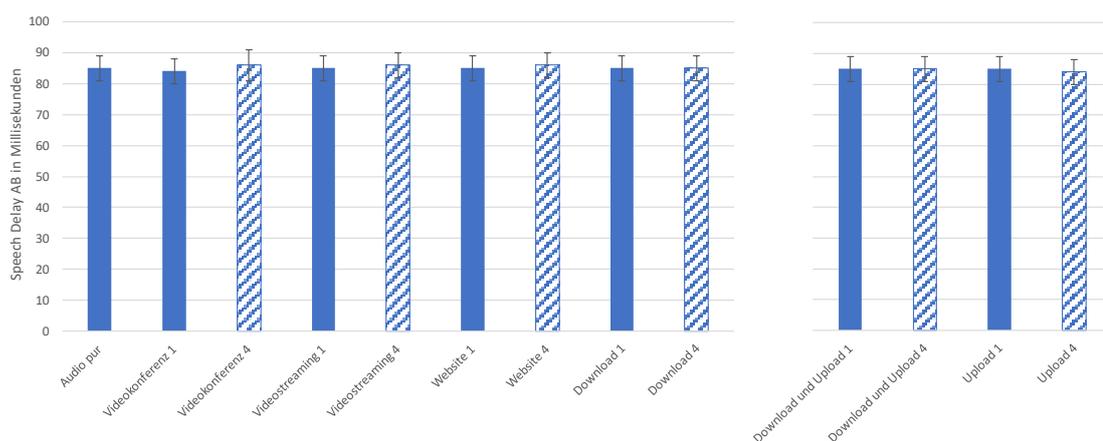
mit höheren Datenübertragungsraten wurde verzichtet, da mit Anschlussgeschwindigkeiten von 10/1.7 Mbps bereits sehr gute Ergebnisse erzielt wurden, die einen Verzicht auf weitere Messungen erlauben. Bei der gemessenen Qualität ist davon auszugehen, dass sich die erzielbaren Ergebnisse hierdurch nicht noch weiter verbessern werden.

Bei dem verwendeten Sprachtelefondienst wurde ein sogenannter NGN-Call (All-IP-Anschluss) genutzt, dies bedeutet einen durch den Internetzugangsanbieter bereitgestellten Telefondienst. Dieser Dienst zeichnet sich insbesondere durch Quality of Service Maßnahmen zur Sicherstellung einer definierten Qualität aus.

Latenz [ms]

Bei den durchgeführten Messungen konnten sehr stabile Werte (geringe Standardabweichung) für die Latenz von A nach B bei ca. 85ms festgestellt werden. In den nachfolgenden Abbildungen werden diese Ergebnisse nach den unterschiedlichen Parallelnutzungsszenarien sortiert dargestellt. So wird auf der x-Achse links immer der eigentliche Dienst ohne eine parallele Nutzung der Anschlussleitung präsentiert, um eine Einschätzung in diesem Szenario zu erhalten. Nachfolgend werden die Ergebnisse der unterschiedlichen parallel genutzten Dienste angezeigt. Die Beschriftung zeigt jeweils den zur Störung eingesetzten parallelen Dienst. In Abbildung 30 wird auf der x-Achse links mit "Audio pur" die Ergebnisse der ungestörten Sprachmessung gezeigt. Gefolgt von "Videokonferenz 1" und "Videokonferenz 4", bei dem die Sprachmessung durch 1 bzw. 4 parallele Videokonferenzen gestört wurde. Analog folgen die weiteren Störszenarien.

Abbildung 30: Ergebnisse Sprachtelefonie Speech Delay A/B in Millisekunden
(Anschlussgeschwindigkeit: 10 Mbps Download / 1,7 Mbps Upload)



Quelle: zafaco

Sprachqualität [MOS]

Ebenso wurden sehr stabile MOS-Werte bei den Verbindungen zwischen zwei Teilnehmern von ca. 4,4 ermittelt. Diese Werte waren auch über die unterschiedlichen Parallelnutzungsszenarien hinweg stabil.

Die Sprachqualität wird anhand der QoE-Metrik Mean Opinion Score (MOS) beurteilt. Eine Definition findet sich in der ITU-T Rec. P.800.2. Diese ordnet den Punkten 1 - 5 nachfolgende Qualitätsaussagen zu:

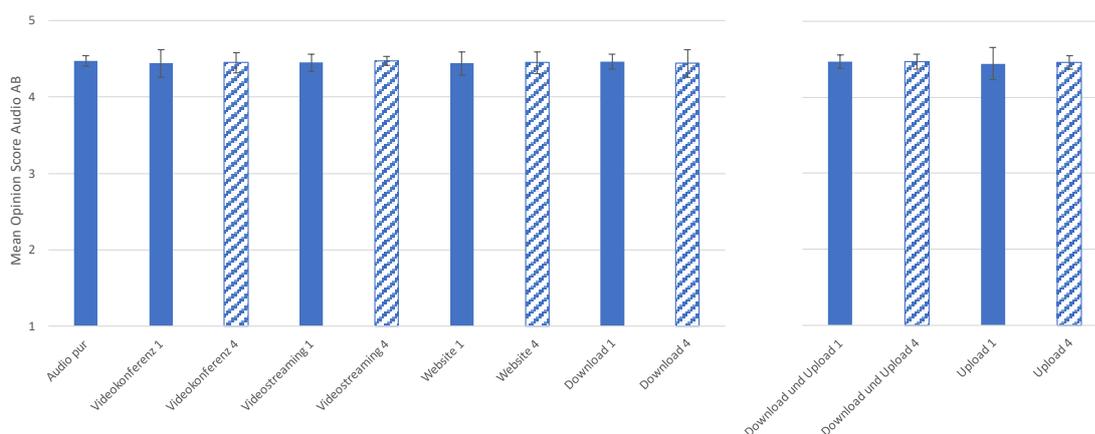
Tabelle 51: MOS-Bewertungsschema nach ITU-T P.800.2

MOS	Video/Audioqualität	
5	Excellent	Hervorragend
4	Good	Gut
3	Fair	Befriedigend
2	Poor	Schlecht
1	Bad	Mangelhaft

Quelle: ITU-T P.800.2 (eigene Übersetzung)

Die nachfolgend dargestellten Messergebnisse basieren auf dem MOS-Bewertungsschema der ITU.

Abbildung 31: Ergebnisse Sprachtelefonie MOS AB nach ITU-T P.863.



Quelle: zafaco

Die Ergebniswerte sind bei allen durchgeführten Parallelnutzungsszenarien sehr konstant. Folglich sind keine negativen Auswirkungen durch eine parallele Nutzung der Anschlussleitung zu erkennen, was letztlich auf die eingangs erwähnte Qualitätssicherung des Dienstes durch den Netzbetreiber zurückzuführen ist.

6.2.2 Webseitenabruf

Für die Messungen von webbasierten Diensten (Webseitenaufruf) wurde eine „kompakte“ Website mit einem geringeren Datenvolumen, bezogen auf die in der Bottom-up-Analyse identifizierten Top-Produkte verwendet. Des Weiteren wurde auch eine "datenintensive" Webseite aus den identifizierten Top-Produkten für die Messungen genutzt. Im weiteren Verlauf werden die Ergebnisse für die in Kapitel 2 identifizierten Produkte google.de (kompakte Webseite) sowie wetteronline.de (datenintensive Webseite) aufgeführt.

Die Ergebnisse der Messungen Webseitenabrufe sind in Abbildung 32 (kompakt – google.de) sowie Abbildung 33 (datenintensiv – wetteronline.de) als Ladezeit der Webseite (Page Load Time) in Sekunden dargestellt.¹⁷⁵ Zu beachten sind die unterschiedlichen Skalen der Y-Achsen zwischen dem linken (max. 12 Sekunden) und dem rechten (max. 60 Sekunden) Bildausschnitt. Weiterhin ist die „akzeptable Dauer“ bzw. „Goldene Google Regel“ von vier Sekunden¹⁷⁶ als konstante in Rot eingezeichnet. Die Darstellung der Ergebnisse folgt ansonsten dem zuvor beschriebenen Schema.

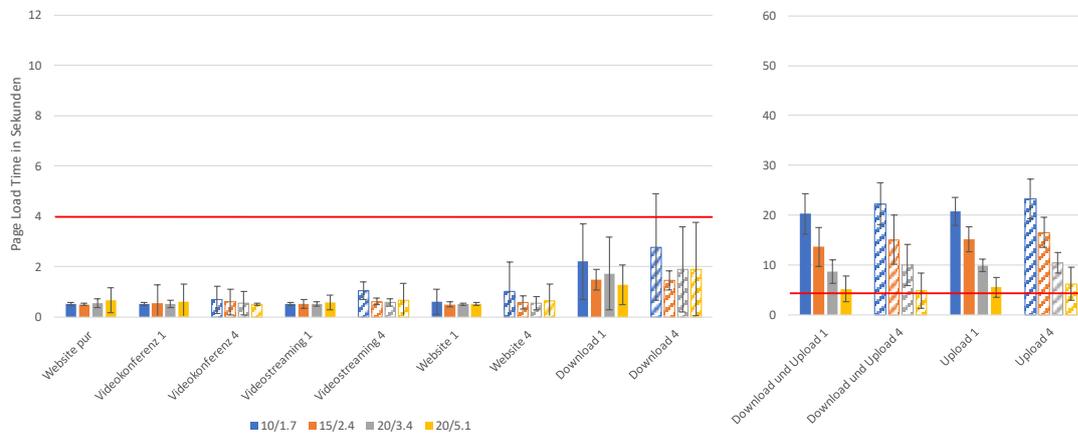
Webseitenabruf kompakt

Bei der Betrachtung der Ergebnisse für google.de ist im Mittel eine sehr geringe Page-Load-Time von <1,04 Sekunden ohne Parallelnutzung (*pur*), sowie bei der Parallelnutzung durch die Dienste *Videokonferenz*, *Videostreaming*, und *Webseitenabruf* zu beobachten (Abbildung 32 linker Bildausschnitt). Bei der Parallelnutzung durch den Dienst *Download* erhöht sich die Ladezeit, bleibt aber im Mittel unter 2,2 Sekunden, wobei sich die Werte bei einer Steigerung der Datenübertragungsrates von 10/1,7 Mbps verbessern. Die Messergebnisse der beschriebenen Dienste bleiben aber in all diesen Konstellationen unter 4 Sekunden (rote Linie) und damit unter der Grenze der „akzeptablen Dauer“. Weiterhin ist hervorzuheben, dass bei den beschriebenen Parallelnutzungsszenarien keine deutlichen Unterschiede zwischen einem Parallelnutzer (nicht schraffiert) und vier Parallelnutzern (schraffiert) zu erkennen ist.

¹⁷⁵ Die mit der Page Load Time erfasste Übertragungsdauer korrespondiert mit der für den Bottom-up-Ansatz verwendeten Methodik, bei der das Datenvolumen unter Anwendung der Network Developer Tools gemessen wurde.

¹⁷⁶ Siehe wik-zafaco-Gutachten (2021), S. 66.

Abbildung 32: Ergebnisse Webseitenabruf kompakt google.de Page-Load-Time in Sekunden für vier verschiedene Anschlussgeschwindigkeiten



Anmerkung: Zu beachten sind die unterschiedlichen Skalen der Y-Achsen

Quelle: zafaco

Bei der Betrachtung der Ergebnisse für google.de mit den beschriebenen Worst-Case Parallelnutzungen durch *Download+Upload* sowie *Upload* (Abbildung 32, rechter Bildausschnitt) ist eine deutlich erhöhte Ladezeiten mit bis zu 23,22 Sekunden im Mittel (blau, *Upload 4*) zu erkennen. Diese liegt bei allen Messungen über der Schwelle von 4 Sekunden (rote Linie). Jedoch ist zwischen einem Parallelnutzer (nicht schraffiert) sowie vier Parallelnutzern (schraffiert) kein deutlicher Unterschied zu erkennen.

Es ist jedoch eine deutliche Verbesserung festzustellen, je mehr Datenübertragungsrate im Upload provisioniert wird, wobei sich die Ladezeit auf bis zu 4,88 Sekunden (gelb, *Download und Upload 4*) verringert.

Bei den durchgeführten Messungen stechen insbesondere die Upload-Szenarien (*Download+Upload* und *Upload*) sowohl bei einem als auch vier Parallelnutzern heraus. Die deutliche Verschlechterung der Ladezeit von Webseiten, welche die Download-Richtung eines Internetzugangs nutzt, um Webinhalte von Webservern zu laden, steht auf den ersten Blick im Widerspruch mit einer vorwiegend in Upload-Richtung verwendeten Parallelnutzung. Erklären lässt sich diese Beobachtung durch die bei der Übertragung genutzten Protokolle. So werden bei Webseitenabrufen zuverlässige Transportprotokolle verwendet, vorzugsweise TCP oder UDP mit QUIC. Diese Transportprotokolle versenden zur Signalisierung der empfangenen Daten an den sendenden Server zyklisch Empfangsquittungen (acknowledgement ACK-Pakete).¹⁷⁷ Diese Meldungen benötigen eine

¹⁷⁷ Bei den Empfangsquittungen handelt es sich um sog. ACK-Pakete (**A**cknowledgement-Pakete). Ein TCP ACK Paket ist ein TCP/IP-Paket, bei dem innerhalb der TCP Header das ACK Flag gesetzt ist. Hierdurch werden die zuvor empfangenen Daten bestätigt.

<https://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/2009211.htm> (zuletzt abgerufen: 11.09.2023)

– wenn auch geringe – Kapazität in die Upload-Richtung, welche nun zu den weiteren parallel genutzten Upload-Diensten in Konkurrenz um die zur Verfügung stehende Upload-Kapazität stehen.

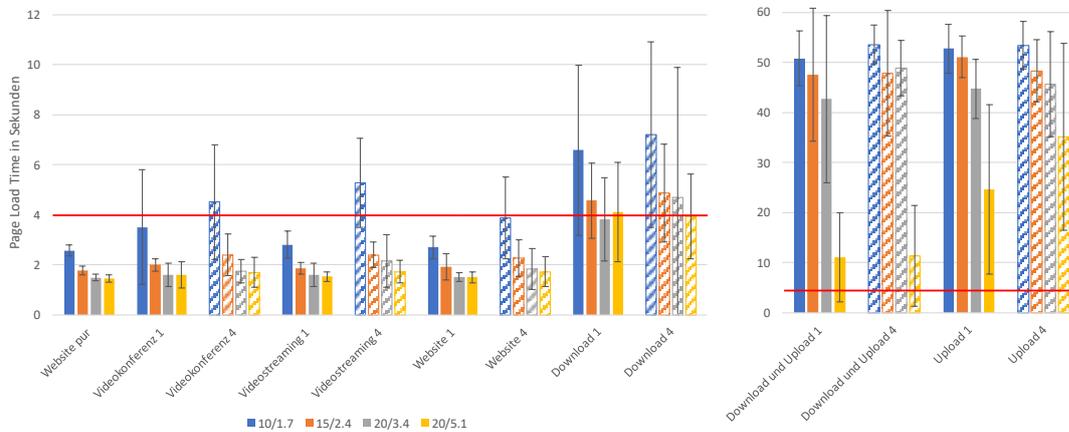
Die parallel genutzten Upload-Dienste wiederum versuchen die maximal mögliche Datenübertragungsrate der Anschlussleitung über die gesamte Messdauer zu belegen, was die Konkurrenz um die zur Verfügung stehenden Upload-Kapazitäten verschärft. Bei der Übertragung werden die Daten auf dem Weg in den durchlaufenden Netz-Komponenten zwischengespeichert und weitergeleitet. Insbesondere bei den Engpässen (im Fall unserer Messung ist dieser Engpass der Internetzugang bzw. der Internetzugangsrouten) kommt es infolgedessen zu vollen Speicherfüllständen und somit zu einem Verwerfen von IP-Paketen (Tail-Drop). Die vollen Speicherstände haben Auswirkung auf die Ende-zu-Ende-Laufzeit und der Tail-Drop auf den Paketverlust. Beide Phänomene können zu Retransmissions führen und haben somit Auswirkungen auf die individuelle Ladezeit der Webseite.

Webseitenabruf datenintensiv

Bei der Betrachtung der Ergebnisse für wetteronline.de (Abbildung 33) sind im Vergleich zu google.de insgesamt höhere Ladezeiten zu erkennen, welche in der Struktur der Webseite bzw. des übertragenen Datenvolumens begründet sind (kompakt vs. datenintensiv). So ist zu beobachten, dass für die Datenübertragungsraten 15/2,4 (orange), 20/3,4 (grau), sowie 20/5,1 Mbps (gelb) in den Parallelnutzungsszenarien Webseite *pur*, Webseite *parallel zu Videokonferenz*, Webseite *parallel zu Videostreaming*, sowie Webseite *parallel zu Webseitenabruf* die Ladezeiten im Mittel < 2,4 Sekunden beträgt. Diese liegen damit deutlich unter der Grenze der „akzeptablen Dauer“.

Bei einer Datenübertragungsrate 10/1,7 Mbps (Blau) liegt die Übertragungsdauer nicht für alle Szenarien unterhalb der Grenze der tolerierten 4 Sekunden. Hier ist zu erkennen, dass diese Grenze lediglich bei den Parallelnutzungsszenarien Webseite *pur*, Webseite *parallel zu Videokonferenz 1*, Webseite *parallel zu Videostreaming 1* sowie Webseite *parallel zu Webseite 1 und 4* nicht überschritten wird.

Abbildung 33: Ergebnisse Webseitenabruf datenintensiv wetteronline.de Page Load Time in Sekunden



Anmerkung: Zu beachten sind die unterschiedlichen Skalen der Y-Achsen

Quelle: zafaco

Weiterhin fällt bei dem Vergleich der Ergebnisse ein Einfluss der unterschiedlichen Datenübertragungsraten auf sowie die Unterschiede zwischen einem und vier Parallelnutzern auf die Ladezeiten des gemessenen Dienstes. Hierbei ist der Einfluss von vier Parallelnutzern (schraffiert) gegenüber einem Parallelnutzer (nicht schraffiert) bei der geringsten Datenübertragungsrate 10/1,7 Mbps (Blau) besonders ausgeprägt und führt bei den Parallelnutzungsszenarien *Videokonferenz*, *Videostreaming* sowie *Webseitenabruf* zu einer Erhöhung der Ladezeit.

Diese Bedeutung des Einflusses der Anzahl der Parallelnutzer ist bei den Parallelnutzungsszenarien *Download*, *Download+Upload*, sowie *Upload* nicht zu erkennen. Vielmehr ist hier der Einfluss der Datenübertragungsrate ausgeprägt. Durch eine Erhöhung der Datenübertragungsrate, insbesondere im Upload (vergleiche Grau zu Gelb), werden die mittleren Ladezeiten der Webseite deutlich verringert. So ist beispielsweise zu beobachten, dass für das Parallelnutzungsszenario *Download+Upload 4* eine Verringerung der Ladezeit von 48,87 Sekunden (Grau) auf 11,35 Sekunden (Gelb) festzuhalten ist. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass insbesondere bei den Parallelnutzungsszenarien *Download+Upload* sowie *Upload* die Messergebnisse stark streuen. Durch die starke Beeinflussung der parallelen Dienste in diesem Szenario konnte der Browser bei einem Abruf der Webseite in einigen Fällen die Seite nicht innerhalb einer definierten Zeit bis zum

Load Event laden. Eine Darstellung der Webseiteninhalte war i. a. R. aber trotzdem gegeben. ¹⁷⁸

Für die Webseitenabrufe können, mit wenigen Ausnahmen, nur geringe Unterschiede in der Ladezeit zwischen einem Parallelnutzer (nicht schraffiert) sowie vier Parallelnutzern (schraffiert) erkannt werden. Bei der Betrachtung der Parallelnutzungsszenarien *Video-konferenz*, *Videostreaming*, *Webseitenabruf* beobachten wir über alle Datenübertragungsraten nur sehr geringe (kompakt) bzw. geringe (datenintensiv) Erhöhungen der Ladezeit im Vergleich zu keiner Parallelnutzung (*pur*). Bei einer Datenübertragungsrate 10/1,7 Mbps bei den genannten Szenarien liegt die Übertragungsdauer im Mittel über 4 Sekunden,¹⁷⁹ was zu einer leichten Reduktion der Qualität führt.

Bei einem oder vier parallelen Downloads steigen die Webseitenladezeiten weiter an, liegen bei der kompakten Webseite aber weiterhin deutlich unterhalb und bei der datenintensiven Webseite um die 4 bzw. 7 Sekunden etwas oberhalb der definierten Grenze und somit mit einer etwas eingeschränkten Qualität.

Dem gegenüber weisen die Parallelnutzungsszenarien *Download+Upload* sowie *Upload* eine deutliche Erhöhung der Ladezeit auf. Entsprechend profitieren insbesondere diese Parallelnutzungsszenarien von einer Erhöhung der Datenübertragungsraten (im Upload, Vergleich grau zu gelb).

6.2.3 Videostreaming

Für die Messungen von Videostreaming haben wir auf die Streaming-Plattform von YouTube zurückgegriffen, da diese Plattform bei der Bottom-up-Betrachtung als eines der Top-Produkte in diesem Bereich bewertet wurde. Hinsichtlich der Videoqualität (Auflösung) wurden - wie bei Endnutzern üblich - keine Voreinstellungen hinsichtlich der abzuspielenden Video-Auflösung vorgenommen. YouTube bietet einen solchen Eingriff auf die abzurufende Qualität an, aber durch die Funktionsweise von adaptivem Streaming stellt der Videoplayer sich auf die verfügbare Kapazität ein und wählt nach Kapazitätsverfügbarkeit die beste Auflösung. Streaming-Plattformen forcieren aus diesem Grund die automatische Auflösungswahl und bieten Anpassungen, wenn überhaupt möglich, nur mittels manuellem Nutzereingriff an. Durch die automatische

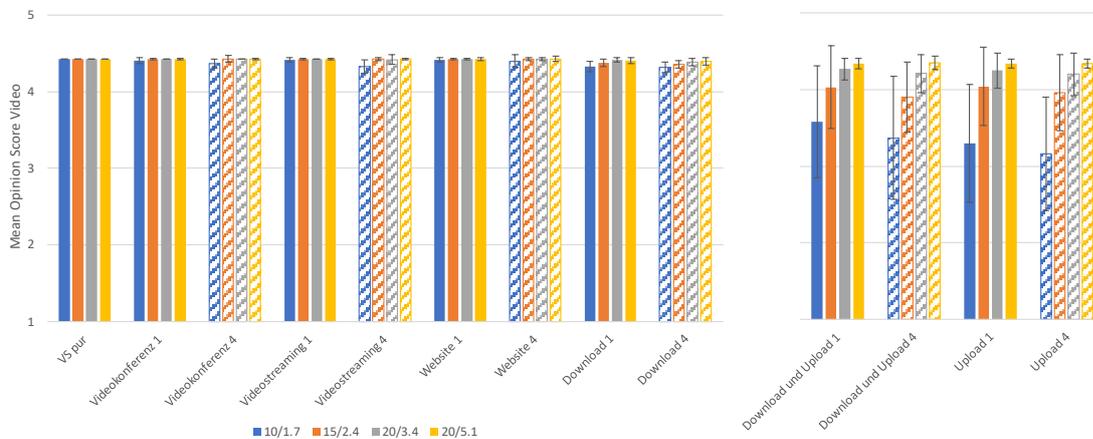
¹⁷⁸ Der genutzte Web-Browser terminiert die Zeiterhebung der geladenen Elemente und Signale nach einer definierten Zeit von 60 Sekunden. Sollten zu diesem Zeitpunkt nicht alle Elemente der Webseite vorliegen, die zum Auslösen eines OnLoad-Events ausreichen, so kann dieser Webseitenaufruf hinsichtlich der benötigten Zeit nicht weiter ausgewertet werden. In diesen Fällen haben wir untersucht, ob der Befund (fehlendes OnLoad-Event) als fehlerhafte Webseitendarstellung einzuordnen ist. Dabei sind wir zu der Feststellung gelangt, dass in der überwiegenden Mehrheit der Fälle im Browser vollständige, oder nahezu vollständige Webseiten dargestellt wurden. Für einen Nutzer stellen diese Seiten somit auf den ersten Blick vollfunktionsfähige Webseiten dar. Insofern haben wir davon Abstand genommen, diese Beobachtungen als ein „Nicht-Funktionieren“ des Dienstes zu werten. Vielmehr haben wir uns dazu entschieden, diese Messergebnisse gänzlich aus der weiteren Betrachtung zu nehmen. Diese sind daher in den dargestellten Mittelwerten sowie der Standardabweichung nicht enthalten.

¹⁷⁹ Bei der Gesamtheit der Messungen gelegentlich auch unter der Grenze von vier Sekunden.

Auswahl der Videoauflösung durch die Streaming-Plattform erfolgte in der überwiegenden Zahl der Messungen der Videoabruf in HD-Qualität, welche gegenüber SD mit einer höheren Auflösung einhergeht.¹⁸⁰ Die erhobenen MOS-Werte reflektieren u. a. auch die in den jeweiligen Fällen genutzte Auflösung.

Die Ergebnisse der Messungen Videostreaming sind in Abbildung 34 als MOS dargestellt. Die MOS-Bewertung basiert auf einer Beobachtungsdauer von 20 Sekunden Abspielzeit (Videolänge). Die Darstellung der Ergebnisse folgt dem zuvor beschriebenen Schema.¹⁸¹

Abbildung 34: Ergebnisse Videostreaming MOS nach 20 Sekunden Abspielzeit



Quelle: zafaco

Bei der Betrachtung der Ergebnisse Videostreaming beobachten wir einen guten MOS-Wert für die Messungen ohne Parallelnutzung (*pur*), sowie bei der Parallelnutzung durch die Dienste *Videokonferenz*, *Videostreaming*, *Webseitenabruf*, sowie *Download*. Dieser ist im Mittel bei größer 4,3 (Abbildung 34, linker Bildausschnitt).

Die Ergebnisse mit den beschriebenen Worst-Case Parallelnutzungen durch *Download+Upload* sowie *Upload* (Abbildung 34, rechter Bildausschnitt) zeigen ebenfalls gute MOS-Werte, aber mit zum Teil leichten Qualitätsminderungen; insbesondere bei der Datenübertragungsrate 10/1,7 Mbps (blau) wird mit einem befriedigenden MOS von im Mittel 3,16 (paralleler *Upload 4*) bis im Mittel 3,58 (paralleler *Download+Upload 1*) häufiger keine HD-Videoqualität erreicht. Mit einer Erhöhung der Datenübertragungsraten auf bis zu 20/3,4 (Grau) bzw. 20/5,1 (gelb) Mbps steigt der MOS im Mittel wieder über 4,2 und

¹⁸⁰ SD ist die für Videostreaming gewählte Mindestqualität der Grundversorgung. Siehe hierzu Kapitel 1.2.1.

¹⁸¹ Eine detaillierte Darstellung der Messergebnisse befindet sich in der Anlage 4.

erreicht damit wieder eine als gut einzuordnende Qualität, die annähernd auf dem Niveau ohne Parallelnutzung (*pur*) liegt.

Abschließend ist hervorzuheben, dass bei all den Parallelnutzungsszenarien keine deutlichen Unterschiede im MOS zu erkennen sind, ob lediglich ein störender Parallelnutzer (nicht schraffiert) oder vier störende Parallelnutzer (schraffiert) aktiv sind.

In Summe sind somit, trotz paralleler Nutzung der Anschlussleitung, bereits nach kurzer Zeit (20 Sekunden) gute bis sehr gute Qualitätsstufen bei Videostreaming zu erreichen.

6.2.4 Videokonferenz

Für die Messungen des Dienstes Videokonferenz wurde auf Microsoft Teams zurückgegriffen, da diese Plattform bei der Bottom-up-Betrachtung als eines der Top-Produkte in diesem Bereich bewertet wurde. Die Videokonferenz wurde mit zwei Teilnehmern durchgeführt. Hierbei nutzt ein Teilnehmer die zu bewertende Anschlussleitung und führt eine Konferenz mit einem zweiten Teilnehmer an einer ausreichend dimensionierten Anschlussleitung durch. Im Folgenden werden die beiden Teilnehmer ‚A-Party‘ für den erstgenannten Teilnehmer an der zu bewertenden Anschlusslinie, bzw. ‚B-Party‘ für den zweitgenannten Teilnehmer verwendet.

Die Nutzung von zwei Teilnehmern ist bei einer bidirektionalen Kommunikation, analog zu dem Sprachtelefoniemessungen, eine Voraussetzung für die Bewertung einer Qualität des Dienstes. Die Qualität wird in beide Kommunikationsrichtungen einzeln und unterschieden zwischen Audioübertragung und Videoübertragung bewertet.

Durch die technische Konzeption des genutzten Dienstes ist zu erwarten, dass eine Überlast in einer Richtung sich auch explizit auf diese Richtung auswirkt. Zu beachten ist, dass der Video- und der Audio-Kanal in jede Richtung unabhängig voneinander ist und Einflüsse somit auf jede Richtung und Variante (Video und Audio) einzeln und unterschiedlich einwirken können. Dies begründet sich u. a., dass bei einer Videokonferenz typischerweise ein nicht fehlerkorrigierendes Transportprotokoll zum Einsatz kommt.

Der B-Teilnehmer ist, anders als der A-Teilnehmer, keinen Restriktionen ausgesetzt: er verfügt über einen gut performanten Internetanschluss – dies bedeutet, ein Internetanschluss mit deutlich höherer Anschlussgeschwindigkeit und geringer Latenz gemessen an den Vorgaben der TMKV und den Anforderungen der Anwendung. Des Weiteren greifen an diesem Anschluss keine parallelen Dienste auf die Anschlussleitung zu.

Bei der Durchführung der Messungen wird ein MOS (Mean Opinion Score) erzeugt. Dieser resultiert aus einer subjektiven Expertenbewertung bei Durchführung einer definierten Videokonferenz zwischen zwei Probanden. Mögliche Videoqualitätseinschränkungen, welche zu einem geringeren Video-MOS führen, konnten z. B. durch eine Verringerung

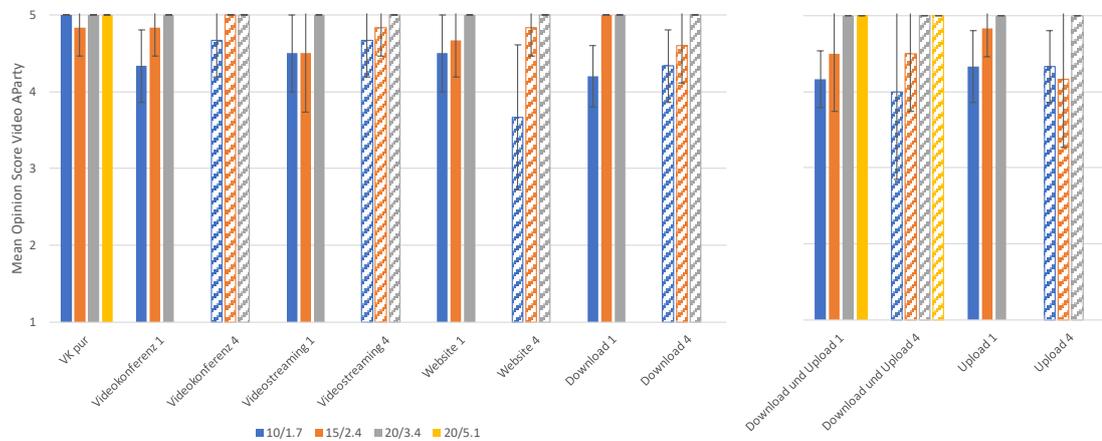
der Auflösung, erkennbare Blockbildung, Rauschen oder anderweitige Kompressionsartefakte erkannt werden. Beispiele für mögliche Audioqualitätseinschränkungen, welche zu einem geringeren Audio-MOS führen, konnten z. B. durch Einschränkungen des Frequenzspektrums, Rauschen, Hall, Knacken oder anderweitige Kompressionsartefakte erkannt werden.

Die Messungen Videokonferenz werden sowohl für die Video-Qualität als auch die Audio-Qualität separat erhoben. Die Ergebnisse sind in den Abbildung 35 (MOS Video A-Party), Abbildung 37 (MOS Video B-Party), Abbildung 36 (MOS Audio A-Party), sowie Abbildung 38 (MOS Audio B-Party), dargestellt. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt zunächst für die A- und danach für die B-Party. Die Struktur der Darstellung folgt ansonsten dem bei den zuvor beschriebenen Diensten angewendeten Schema.

A-Party - Messergebnisse

Bei der Betrachtung der Video MOS-Ergebnisse auf der A-Party (Empfangen des Videos, welches durch die B-Party versendet wurde und somit die Download-Richtung der A-Party beansprucht) beobachten wir typischerweise MOS-Mittelwerte von > 4 , und zwar über die unterschiedlichen Datenübertragungsraten und Parallelnutzungsszenarien hinweg (Abbildung 35). Eine Steigerung der MOS-Werte von 4 hin zu 5 ist über nahezu alle Szenarien bei steigender Datenübertragungsrate dennoch zu erkennen. Weiterhin ist festzuhalten, dass bei den beschriebenen Parallelnutzungsszenarien keine deutlichen Unterschiede zwischen einem störenden Parallelnutzer (nicht schraffiert) und vier störenden Parallelnutzern (schraffiert) zu erkennen sind.

Abbildung 35: Ergebnisse Videokonferenz MOS Video A-Party*



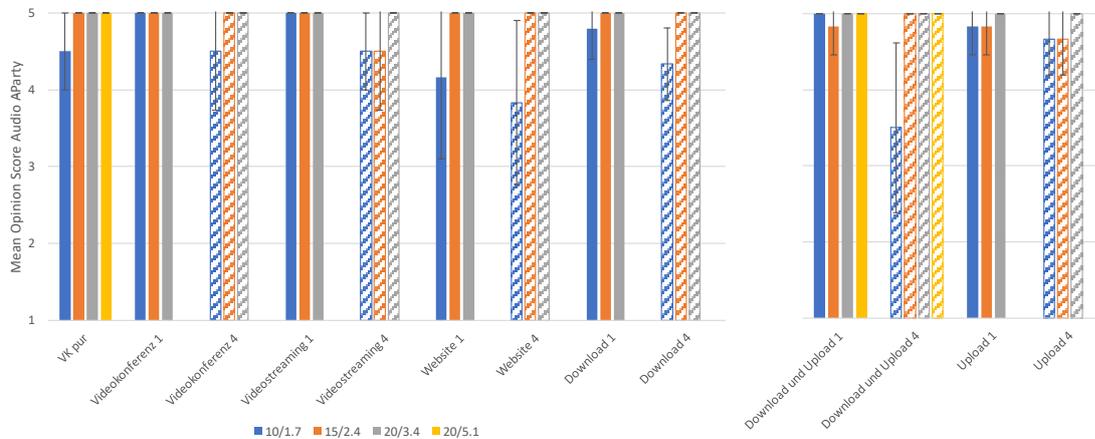
* Zu beachten ist, dass die Messungen Videokonferenz mit der Datenübertragungsrate 20/5,1 (Gelb) lediglich mit den Parallelnutzungsszenarien *Pur* sowie *Download+Upload* durchgeführt wurde. Dies begründet sich aus den bereits bei der Datenübertragungsrate von 20/3,1 Mbps erzielten sehr guten Ergebnissen, welche einen Verzicht von weiteren Messungen der anderen Parallelnutzungsszenarien unter den noch besseren Rahmenbedingungen erlaubt. Es ist daher davon auszugehen, dass sich die erzielbaren Ergebnisse hierdurch nicht weiter verbessern werden.

Quelle: zafaco

Die Audio MOS-Ergebnisse der A-Party zeigen auch typische Mittelwerte von > 4 über die unterschiedlichen Datenübertragungsraten und Parallelnutzungsszenarien (Abbildung 35). Einzig bei den Störszenarien *parallele Webseiten 4* und *parallele Download+Upload 4* wurden Mittelwerte kleiner 4 festgestellt, allerdings unter einer recht hohen Standardabweichung.

Eine Steigerung der MOS-Werte von 4 hin zu 5 ist nur noch bei einer Steigerung der Datenübertragungsrate der geringsten Gruppe (10/1,7 Mbps) zu den höheren Gruppen zu erkennen. Weiterhin ist festzuhalten, dass bei dem Störszenario *paralleler Download+Upload* und in der Gruppe 10/1,7 Mbps ein Unterschied zwischen einem störenden Parallelnutzer (nicht schraffiert) sowie vier störenden Parallelnutzern (schraffiert) zu erkennen ist, wobei diese Messergebnisse eine hohe Standardabweichung aufweisen.

Abbildung 36: Ergebnisse Videokonferenz MOS Audio A-Party



Quelle: zafaco

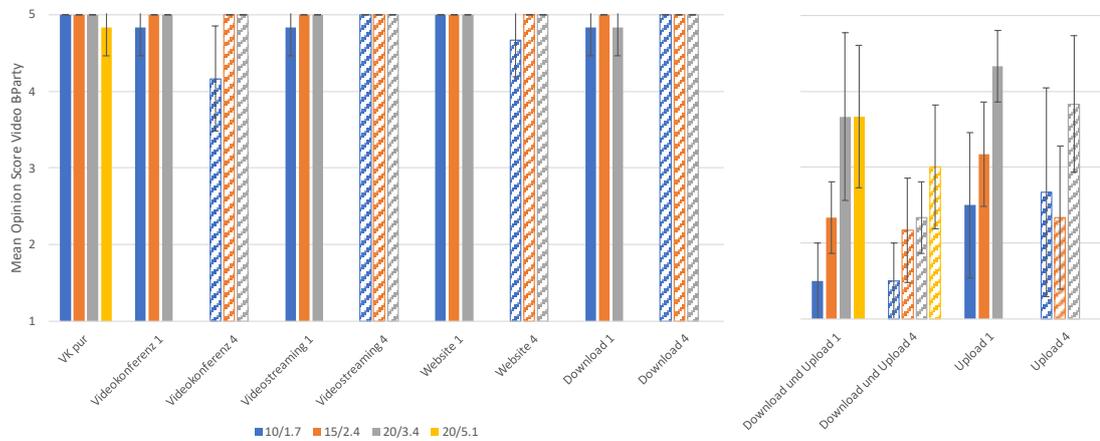
B-Party - Messergebnisse

Die Ergebnisse (Abbildung 37) der Video MOS-Bewertungen der B-Party (Empfangen des Videos, welches durch die A-Party versendet wurde und somit die Upload-Richtung der A-Party beansprucht) beobachten wir ein abweichendes Bild im Vergleich zur A-Party (Abbildung 35).

Auch in dieser Konstellation sind die Ergebnisse bei Parallelszenarien, die überwiegend den Download der Anschlussleitung (der A-Party) beanspruchen, bei allen Gruppen der betrachteten Anschlussgeschwindigkeiten sehr gut (Abbildung 37, linker Bildausschnitt).

Bei einer parallelen Nutzung der Upload-Richtung der Anschlussleitung, wie in den beiden Worst-Case-Szenarien *Download+Upload* und *Upload* (Abbildung 37, rechter Bildausschnitt), sinken die ermittelten MOS-Werte hingegen erheblich. Die MOS-Werte bessern sich hierbei mit steigender Datenübertragungsrate des Internetanschlusses im Upload von 1,7 Mbps bis hin zu 3,4 Mbps. Die im weiteren Verlauf durchgeführten Messungen mit einer nochmals erhöhten Datenübertragungsrate im Upload auf 5,1 Mbps (gelber Balken) für das Szenario *Download+Upload* zeigt hingegen nur noch einen im Mittel leicht höheren MOS für die Variante mit vier störenden Parallelnutzern (schraffiert). Ein Abbruch der Verbindung ist nicht festzustellen.

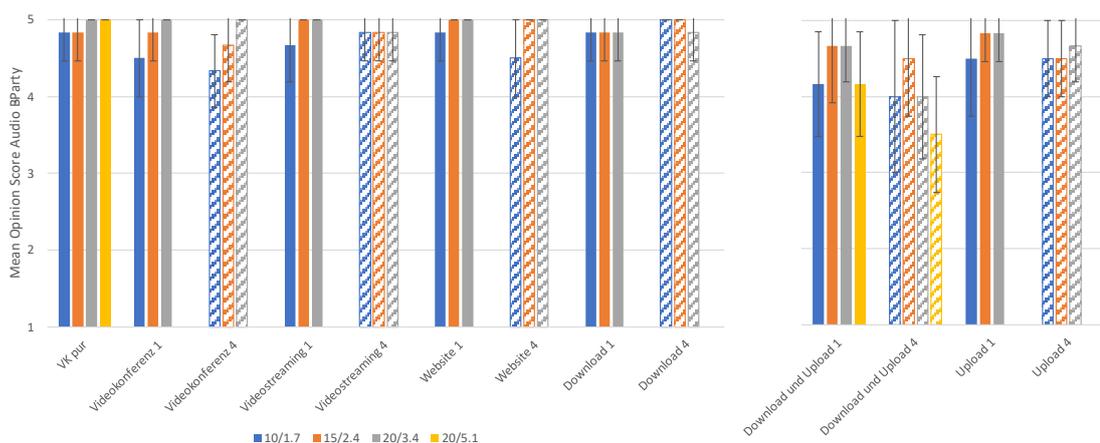
Abbildung 37: Ergebnisse Videokonferenz MOS Video B-Party



Quelle: zafaco

Die Audio MOS-Ergebnisse (Abbildung 38) auf der B-Party zeigen typischerweise über alle Datenübertragungsraten und Parallelnutzungsszenarien gute bis sehr gute MOS-Mittelwerte von > 4. Es ist zu sehen, dass die beschriebene Qualitätsminderung der Video-Übertragung sich bei der Betrachtung der Audio-Qualität nicht im gleichen Maße auswirkt. Bei den durchgeführten Messungen war in der überwiegenden Anzahl die festgestellte Sprachqualität gut bis sehr gut. Nur sehr vereinzelt wurde eine befriedigende Sprachqualität ermittelt.

Abbildung 38: Ergebnisse Videokonferenz MOS Audio B-Party



Quelle: zafaco

Verbindungsaufbau und Verbindungsstabilität

Es wird darauf verzichtet, eine eigene Ergebnisgrafik zu erfolgreichen bzw. fehlerhaften Verbindungsversuchen und der Verbindungsstabilität aufzunehmen, da beide Betrachtungen in allen Messkonstellationen sehr gute und sehr stabile Ergebnisse gezeigt haben.

6.3 Ableitungen aus den Top-down-Messergebnissen für Parallelnutzungsszenarien

Aus den beschriebenen Ergebnissen der Top-down-Messungen lassen sich wesentliche Erkenntnisse ableiten. Ein (technisches) Funktionieren der Dienste konnte für alle Szenarien in weit überwiegenderen Fällen bestätigt werden.¹⁸² Die Veränderung der erhobenen Dienstqualität infolge störender Parallelnutzung oder erhöhter Datenübertragungsrates der Anschlussleitung erlaubt relative Aussagen zur Bewertung der Dienstqualität durch den Nutzer.

Bei einer Betrachtung der Steigerung der Datenübertragungsrates sind insbesondere die Szenarien von *Webseiten* und hierbei die *datenintensiven Webseiten* hervorzuheben: Eine Steigerung der Datenübertragungsrates verbessert die Geschwindigkeit des Abrufs in allen Konstellationen, wobei primär bei der Parallelnutzung eine deutlichere Qualitätsverbesserung festgestellt werden kann. Ein Funktionieren des Webseitenabrufs kann unabhängig von den für die Messungen verwendeten Datenübertragungsrates der Anschlusslinie festgestellt werden. Es wurden in der überwiegenden Mehrzahl der Messungen erfolgreiche Webseiten abgerufen, wenn auch mit zum Teil sehr langen Ladezeiten (siehe Worst-Case-Szenarien).

Außerdem konnte bei einer Steigerung der Datenübertragungsrates im Upload neben der Qualitätsverbesserung des Webseitenabrufs auch eine Verbesserung der Video-Qualität bei Videokonferenzen auf der B-Party festgestellt werden, da parallele Uploads diese Übertragung zum Teil stark beeinträchtigten. Eine Audio-Verständlichkeit war in diesem Kontext aber stets gegeben.

Des Weiteren wirkte sich eine Steigerung der Datenübertragungsrates im Upload auch im geringen Maße auf das Erreichen einer HD-Qualität bei Videostreaming aus.

Eine Betrachtung der verschiedenen durchgeführten Messkonstellationen zeigt, dass eine störende Parallelnutzung in jedem Szenario (unabhängig von der Wahl des störenden Dienstes - *Webseitenabruf*, *Videostreaming*, *Videokonferenz*) -, mit Ausnahme von Sprachtelefonie, einen Einfluss hat. Hierbei ist zu erkennen, dass die Anzahl der störenden parallelen Nutzer einer Anschlussleitung (ob ein oder vier) von geringerer Bedeutung ist. Vielmehr steht die Existenz, die Art und die Richtung der parallelen Nutzung im Fokus.

¹⁸² Beobachtete Einschränkungen konnten nicht als ein Nicht-Funktionieren eingeordnet werden. Siehe Abschnitt 6.2.2.

So hatten beispielsweise störende parallele Webseitenabrufe oder Videokonferenzen einen geringeren Einfluss auf die Ladezeit eines Webseitenabruf im Vergleich zu parallelen Downloads. Die parallelen Downloads hatten wiederum einen geringeren Einfluss auf die Ladezeit im Vergleich zu parallelen Uploads.

7 Vergleichende Evaluation der Ergebnisse aus Bottom-up-Berechnungen und Top-down-Messungen im Kontext akzeptabler Nutzererfahrung und eines technischen Funktionierens

In diesem Abschnitt nehmen wir eine Bewertung der in den Kapiteln 5 und 6 untersuchten Parallelnutzungsszenarien in Mehrpersonenhaushalten vor. In einem ersten Schritt stellen wir die angewendeten Methoden (Bottom-up und Top-down) zusammenfassend gegenüber. Dabei greifen wir auf die methodischen Unterschiede zurück, um zum einen die unterschiedlichen Erkenntnisziele der Methoden, zum anderen aber auch quantitative oder qualitative Unterschiede in den Ergebnissen zu erklären.

7.1 Methodenvergleich von Bottom-up- und Top-down-Ansatz

Um die Unterschiede der beiden methodischen Ansätze zur Evaluierung der Anforderungen von Parallelnutzungsszenarien vergleichend gegenüberzustellen, haben wir die Tabelle 52 erstellt, die wir nachfolgend erläutern. Die beiden Verfahren unterscheiden sich dabei wesentlich in den folgenden Punkten:

Erkenntnisziel (Zielgröße):

- Der Bottom-up-Ansatz zielt darauf ab, anhand verschiedener Szenarien diejenige Datenübertragungsrate [Mbps] zu berechnen, die mit den dazu definierten Parallelnutzungskonstellationen einhergehen. Die Geschwindigkeit des Internetzugangs [Mbps] ist somit die berechnete (endogene) Größe dieser Methode.
- Der Top-down-Ansatz nimmt die in der TKMV festgelegten Datenübertragungsraten zum Ausgangspunkt (Downstream 10 Mbps, Upstream 1,7 Mbps) und analysiert – ebenfalls szenariobasiert – die Güte der im Parallelnutzungsfall realisierten Nutzererfahrung. Die Geschwindigkeit des Internetzugangs [Mbps] ist bei diesem Verfahren eine vorgegebene Größe. Messungen von Parallelnutzungskonstellationen, denen eine Anschlussleitung nach Maßgabe der Mindestversorgung zugrunde liegt (TKMV-Vorgaben), sollen Auskunft darüber geben, ob die mit dem Versorgungsziel angestrebte Nutzererfahrung erreicht werden kann.

Methode: Zeitbezug, Datenrate der Dienste

- Der Bottom-up-Ansatz basiert auf einem **statischen** Modellansatz. Parallelnutzung von Internetdiensten ist ein Phänomen mit Zeitbezug. Die Anforderungen an die Datenübertragungsrate jedes einzelnen Haushaltsmitglieds, das für eine Quantifizierung der für eine Parallelnutzung erforderlichen Datenübertragungsrate berücksichtigt wird, bedarf der Information, wie hoch der jeweilige zeitpunktbezogene Bedarf ist (Mbps der jeweiligen Dienste). Der Bottom-up-Ansatz ist daher darauf angewiesen, dass Informationen über den Kapazitätsbedarf der Dienste im konkreten Parallelnutzungsfall vorliegen. Er ist darauf reduziert, sze-

nariobasiert die als Eingangsparameter in die Berechnung einfließenden statischen Datenübertragungsraten zu addieren. Die verfügbaren Informationen über dienstespezifische Datenübertragungsraten wurden der Analyse aus Kapitel 3 entnommen. Sie basieren ausschließlich auf den Eigenschaften der Dienste und sind damit über die Zeit als konstant angenommen.

- Der Top-down-Ansatz ist dadurch charakterisiert, dass er konkrete Messungen vornimmt, die einen Zeitbezug haben. Er ist somit in der Lage, die sich im Zeitablauf ändernden Rahmenbedingungen, die für die Datenübertragungsrate von Bedeutung sind, zu berücksichtigen. Damit erlaubt dieser Ansatz, das tatsächliche Verhalten der Datenübertragungsrate von Diensten im Parallelnutzungsfall bei der Ableitung von Ergebnissen zu berücksichtigen.

Methode: Abstraktionsgrad (vereinfachende Modellannahmen)

- Für die Berechnung der Parallelnutzungsszenarien verwendeten dienstespezifischen Datenübertragungsraten werden lediglich die Datenvolumina der Nutzdaten (inkl. VPN-Anforderungen) berücksichtigt. Das Datenvolumen des Signalisierungsverkehrs (Protokolloverhead) wurde bei diesem Ansatz wegen der im Vergleich zu den Nutzdaten vernachlässigbaren Größe nicht berücksichtigt. Beispiele hierfür sind die Empfangsbestätigungen auf Ebene des TCP/IP oder auch DNS-Anfragen.
- Aufgrund der Durchführung von realen Nutzungsszenarien finden die Signalisierungsverkehre im Top-down-Ansatz Berücksichtigung. Da die Bedeutung und auch die Menge des Signalisierungsverkehrs im Fall von Kapazitätsengpässen (Verkehrslast) steigt, kann das Top-down-Verfahren die Auswirkungen dieser dynamischen, adaptiven Prozesse und ihre Auswirkungen auf die Nutzererfahrung berücksichtigen.

Weitere Bestimmungsfaktoren (Eingangsparameter der Untersuchungsmethode)

- Die Operationalisierung der Produktqualität ist bei beiden Verfahren abhängig von der Dienstekategorie (Dienste mit diskreten Datenvolumina und Dienste mit kontinuierlichen Datenvolumina).
 - Für Dienste mit diskreten Datenvolumina findet als Qualitätsmaßstab die tolerierte Übertragungsdauer Anwendung. Sie beträgt für webbasierte Dienste vier Sekunden und für Datentransfers zehn Sekunden. Diese Vorgaben sind Eingangsparameter des Bottom-up-Ansatzes und damit Bestimmungsgrößen für die abgeleitete Datenübertragungsrate. Die Einhaltung dieser Qualitätsanforderungen kann bei den Top-down-Messungen ebenfalls in dieser Dimension „Zeit“ (Dauer der benötigten Datenübertragung) erfasst werden.
 - Für Dienste mit kontinuierlichen Datenvolumina bestehen jedoch Unterschiede:

Die Bottom-up-Methode stellt bei den Diensten mit kontinuierlichen Datenströmen ausschließlich auf die Herstellerangaben zur erforderlichen Datenübertragungsrate ab. Die angestrebte QoE wurde an der vom Hersteller angegebenen „Qualität“ festgemacht. Es kamen dabei keine QoE-Methoden zur Anwendung.

Bei den Top-down-Messungen ist die Güte der Nutzererfahrung für einen bestimmten Dienst in definierten Parallelnutzungskonstellationen die Zielgröße der Analyse. Die Messkonstellation erlaubt die Berücksichtigung der dynamisch sich anpassenden Datenübertragungsraten der Anwendung und dokumentiert mit Hilfe von QoE-Methoden (durch einen MOS ausgedrückt), wie sich diese auf die Nutzererfahrung auswirkt.

Im Fall von Videokonferenzen, die in Form einer Expertenbewertung durchgeführt wurde, ist dabei auch explizit die individuelle Komponente in die Messergebnisse eingegangen. Die für Videostreaming und Sprachtelefonie angewendeten algorithmischen QoE-Methoden beinhalten diese subjektive Bewertung ebenfalls, allerdings dergestalt, dass diese auf Basis statistisch ermittelter Zusammenhänge von QoS und Nutzererfahrung abgeleitet und algorithmisch übersetzt wurden.

Tabelle 52: Bottom-up- und Top-down-Ansatz – Methodenvergleich

	Bottom-up	Top-down
Zielgröße	Datenübertragungsrate im Down- und Upstream zur Ermöglichte der Grundversorgung	
	Mindestens erforderliche Geschwindigkeit des Internetzugangs [Mbps] zur Erzielung einer definierten Produktqualität für sämtliche in § 157 Absatz 3 Satz 3 TKG vorgegebenen Dienste der Grundversorgung	beobachtbare Nutzererfahrung bei vorgegebener Geschwindigkeit des Internetzugangs [Mbps] (Erreicht diese das Versorgungsziel?)
Geschwindigkeit des Internetzugangs [Mbps]		
	berechnete (endogene) Größe	vorgegebene Größe (gemäß TKMV) für die untersuchten Parallelnutzungskonstellationen (sowie weitere, höhere Anschlussgeschwindigkeiten)
Methode		
Zeitbezug	statisch	dynamisch
Datenrate der Dienste im Parallelnutzungsfall	konstant	variabel
Abstraktionsgrad (vereinfachende Modellannahmen)	Vernachlässigung - protokolltechnischer Zusammenhänge und Anpassungsmöglichkeiten der Dienste - von Einflüssen auf Signalisierungsdaten (z. B. Upstream bei Webseitenaufrufen)	Durchführung von Messungen in realer Nutzungsumgebung und Anwendung eines Simulationsmodells für webbasierte Dienste
Weitere Bestimmungsfaktoren (Eingangsparameter der Untersuchungsmethode)		
verwendete Dienste / Produkte	Top-Produkte	Top-Produkte
QoE (Quality of Experience) / Produktqualität	feste Vorgaben zur Produktqualität anhand von ...	endogene Ermittlung der Produktqualität ...
Dienste mit diskreten Datenvolumina	... 4 Sekunden tolerierter Datenübertragungsrate	... mit Hilfe der Messungen ermittelte Übertragungsdauern
Dienste mit kontinuierlichen Datenströmen (Video)	... SD-Qualität für Videoanwendungen (Streaming und Videokonferenzen) (definiert anhand von Herstellerangaben [Mbps])	... durch Anwendung von QoE-Verfahren zur Ermittlung der Nutzererfahrung (erfasst anhand des Mean Opinion Score (MOS))
Dienste mit kontinuierlichen Datenströmen (Audio)	... SD-Qualität und Standardqualität für Audio-Anwendungen (Telefonie und Streaming) [Mbps]	... durch Anwendung von QoE-Verfahren zur Ermittlung der Nutzererfahrung (erfasst anhand des Mean Opinion Score (MOS))

Quelle: wik

7.2 Ergebnisvergleich von Bottom-up- und Top-down-Ansatz für den Aufruf von Webseiten

Nachfolgend nehmen wir eine Gegenüberstellung von Top-down und Bottom-up ermittelten Erkenntnissen vor. Ziel ist es zu überprüfen, in welchem Maße sie miteinander korrespondieren bzw. welche weiteren Rückschlüsse aus den Vergleichen gezogen werden können.

Der Vergleich ist auf den Dienst Webseitenaufruf beschränkt. Der Webseitenaufruf, der stellvertretend für die meisten der Anhang V-Dienste steht, eignet sich für einen Vergleich, da für beide Analyseverfahren (Bottom-up und Top-down) dieselbe Metrik für die Beurteilung der Nutzererfahrung verwendet wird. Im Bottom-up-Ansatz ist die tolerierte Übertragungsdauer für Webseiten in Höhe von vier Sekunden Eingangsgröße für die Berechnungen, beim Top-down-Ansatz ist die Übertragungsdauer die gemessene Größe.¹⁸³

Zur Ergebnisdarstellung in den nachfolgenden Tabellen geben wir folgende Erläuterungen:

- Szenarios (linke Spalte):
Die Parallelnutzungsszenarien sehen, wie in Kapitel 6 dargestellt, einen bzw. vier parallele, störende Dienste vor; die Einzelnutzung (Webseitenaufruf wetteronline.de) wird zusätzlich als Vergleichsgröße dargestellt.
- Top-down (rechte Spalten):
Für den Dienst Webseitenaufruf (wetteronline.de) werden die in den jeweiligen Parallelnutzungsszenarien gemessenen Ladezeiten (Page load time) in Sekunden dargestellt.
Es finden die vier bei den Top-down-Messungen berücksichtigten Datenübertragungsraten [Download/Upload] Anwendung: 10/1,7 Mbps, 15/2,4 Mbps, 20/3,4 Mbps und 20/5,1 Mbps. Entsprechend werden für jedes Parallelnutzungsszenario vier Werte ausgewiesen.
- Bottom-up (mittlere Doppelspalte):
Für das jeweilige Parallelnutzungsszenario, dargestellt in den Zeilen der nachfolgenden Tabellen, werden die Datenübertragungsraten im Download und Upload über alle parallel genutzten Dienste addiert und in den Spalten Bottom-up [in

183 Für einen Ergebnisvergleich anhand der Dienste Videokonferenz und Videostreaming konnte auf keine, von beiden Methoden gleichermaßen berücksichtigte Metrik zurückgegriffen werden: Die Top-down-Messungen stellen auf den MOS ab; je nach verfügbarer Kapazität (Engpass oder Überschuss) greifen die adaptiven Verfahren der Anwendungen zur Reduktion oder Steigerung der genutzten Qualität. Demgegenüber drückt der Bottom-up-Ansatz die Nutzererfahrung eindimensional durch die Datenübertragungsrate bei definierter Qualität (SD) aus und erlaubt keine Schlussfolgerungen für die Nutzererfahrung in Abhängigkeit der zur Verfügung stehenden Datenübertragungsrate. Darüber hinaus wurde bei den Top-down-Messungen auf eine Voreinstellung der Videoauflösung verzichtet, so dass diese nicht auf die SD-Qualität (Standard-Definition) beschränkt war.
Auf einen Vergleich der Ergebnisse für Sprachtelefonie wurde ebenfalls verzichtet, was zum einen an dem geringen Bedarf an Datenübertragungsrate dieses Dienstes als auch den sehr guten Messergebnissen des Top-down-Ansatzes begründet liegt.

Mbps] Down bzw. Up dargestellt. Die für die Berechnung verwendeten Werte basieren auf den in Kapitel 3 vorgegebenen Anforderungen an die Nutzererfahrung (tolerierete Übertragungsdauer von vier Sekunden bzw. Herstellerangaben für Dienste mit kontinuierlichen Datenströmen).

Die Ergebnisse sind als „Mindest“anforderungen an den Internetzugang zur Ermöglichung des Parallelnutzungsszenarios zu interpretieren.

Interpretation der tabellarisch dargestellten Ergebnisse

Zur Interpretation der tabellarisch dargestellten Ergebnisse sind folgende Aspekte zu beachten:

Bei den Top-down-Ergebnissen zeigt ein Ausweis von mehr als vier Sekunden an, dass beim Laden der Webseite die für die Grundversorgung angestrebte Nutzererfahrung nicht erreicht wird. In diesen Fällen sind die Werte in den nachfolgenden Tabellen rot hinterlegt.

Für die parallel zum Webseitenaufruf genutzten Dienste erfolgt kein spezifischer Ausweis der gemessenen Nutzererfahrung. Hier wurde (lediglich) festgestellt, dass sämtliche parallel genutzten Dienste funktioniert haben.

Spaltenbezogen können die Ergebnisse der Top-down-Messungen mit den im Bottom-up-Ansatz berechneten Datenübertragungsraten für den Down- und Upstream verglichen werden.

- Unterschreiten die Mbps-Angaben in der Bottom-up-Spalte die spaltenbezogenen Angaben zur Geschwindigkeit des für die Messungen verwendeten Internetzgangs und ist die Übertragungsdauer **nicht** rot hinterlegt, so können die Ergebnisse als miteinander vereinbar interpretiert werden.
- Überschreiten die Mbps-Angaben in der Bottom-up-Spalte die spaltenbezogenen Angaben zur Geschwindigkeit des für die Messungen verwendeten Internetzgangs und ist die Übertragungsdauer **nicht** rot hinterlegt, so kommt hierin die Überschätzung der mit dem Bottom-up-Ansatz abgeleiteten Datenübertragungsrate im Parallelnutzungsfall zum Ausdruck. In diesen Konstellationen bezeichnen wir die Bottom-up-Ergebnisse auch als eine überschätzende, konservative Obergrenze.
- Unterschreiten die Mbps-Angaben in der Bottom-up-Spalte die spaltenbezogenen Angaben zur Geschwindigkeit des für die Messungen verwendeten Internetzgangs und ist dabei die Übertragungsdauer **rot** hinterlegt, so müssen die Ergebnisse des Bottom-up-Ansatzes in Frage gestellt werden, da die Messungen die Einhaltung der angestrebten Nutzererfahrung nicht widerspiegeln.

7.2.1 Webseitenaufruf mit parallelen Videokonferenzen, Videostreaming oder Webseitenaufrufen

Im ersten Schritt betrachten wir Parallelnutzungsszenarien, bei denen der Webseitenaufruf durch parallele Dienste mit kontinuierlichen Datenströmen gestört wird.

Neben dem Vergleich der Einzelnutzung (Webseiten pur) werden die top-down gemessenen Parallelnutzungen mit Videokonferenzen sowie Videostreaming betrachtet.

Aus der Tabelle 53 geht für die Top-down-Messungen hervor, dass lediglich im Fall von vier parallelen Nutzern und einer Anschlussgeschwindigkeit entsprechend den Vorgaben der TKMV (10 | 1,7 Mbps) die tolerierte Übertragungsdauer leicht überschritten wird (mit 4,51 um 0,51 bzw. mit 5,28 um 1,28 Sekunden).

In der ersten Konstellation für den Webseitenaufruf "Parallel + 4 Videokonferenzen" wird im Bottom-up-Ansatz eine konservative Obergrenze von 4,2 Mbps angegeben. Im direkten Vergleich mit den Ergebnissen der Top-down-Messung mit einer Anschlussgeschwindigkeit von 2,4 Mbps zeigt sich, dass dieser Wert zum einen unterhalb der bottom-up berechneten 4,2 Mbps liegt und eine ausreichend schnelle Webseitenladezeit bietet. Somit liegt der Wert unterhalb der konservativen Schätzung.

Ebenso zeigen die Messergebnisse eine ausreichend schnelle Webseitenladezeit in dem Szenario "Parallel + 4 Videostreams" wenn im Top-down-Ansatz die Anschlussgeschwindigkeit bei 15 Mbps im Download liegt. Dies war auf Basis der Bottom-up-Ergebnisse im Download nicht zu erwarten, da hier eine mindestens Datenübertragungsrate von mindestens 17 Mbps berechnet wurde.

Daher sind bei den in Tabelle 53 gezeigten Szenarien die Bottom-up-Ergebnisse als Obergrenze zu interpretieren. Somit korrespondieren die beiden Konstellationen zwischen der Bottom-up- und Top-down-Perspektive.

Tabelle 53: Webseitenaufruf und parallele Videokonferenzen oder Videostreaming – Gegenüberstellung der Bottom-up- und Top-down-Ergebnisse

Szenario	Bottom-up [in Mbps]		Top-down [Page load time, in Sekunden]			
	Down	Up	10 1,7	15 2,4	20 3,4	20 5,1
Einzelnutzung	5	-	2,57	1,77	1,49	1,46
Parallel + 1 Videokonferenz	5,8	1,1	3,51	2,00	1,60	1,60
Parallel + 4 Videokonferenzen	8,0	4,2	4,51	2,40	1,75	1,70
Parallel + 1 Videostreaming	8,0	-	2,81	1,86	1,60	1,53
Parallel + 4 Videostreaming	17,0	-	5,28	2,40	2,16	1,73

Quelle: wik

7.2.2 Webseitenaufruf mit parallelen Webseitenaufrufen, Downloads und Uploads

Paralleler, störender Webseitenaufruf als auch parallele Downloads oder Uploads zählen zu den Diensten mit diskreten Datenvolumina. Entsprechend greifen hier andere protokolltechnischen Mechanismen als dies bei Diensten mit kontinuierlichen Datenströmen der Fall ist.

Störende Webseitenaufrufe

Die Top-down-Messungen der Webseitenaufrufe mit den parallelen, störenden Webseitenaufrufen erfüllen bei sämtlichen Anschlussgeschwindigkeiten die Anforderungen an die Nutzererfahrung. Dies gilt auch im Fall von vier parallelen Störgrößen. Dies erklärt sich dadurch, dass bei der Durchführung der Messungen bei Webseitenaufrufen ein Simulationsmodell eingesetzt wurde und somit die abweichenden Ergebnisse erklären kann. Bei diesem Szenario kommt die Bottom-up-Methodik zu einer Anforderung in Höhe von 25,2 Mbps und damit zu einer deutlichen Überschätzung. Wohingegen bei den Top-down-Messungen mit den TKMV-Werten (10 | 1,7 Mbps), wie bereits erläutert, ausreichend schnelle Ladezeiten ermittelt wurden.

Tabelle 54: Webseitenaufruf und parallele Webseitenaufrufe oder Downloads – Gegenüberstellung der Bottom-up- und Top-down-Ergebnisse

Szenario	Bottom-up [in Mbps]		Top-down [Page load time, in Sekunden]			
	Down	Up	10 1,7	15 2,4	20 3,4	20 5,1
Einzelnutzung	5	-	2,57	1,77	1,49	1,46
Parallel + 1 Webseite	10,1	-	2,70	1,92	1,51	1,50
Parallel + 4 Webseiten	25,2	-	3,87	2,28	1,83	1,73
Parallel + 1 Download		-	6,59	4,57	3,82	4,11
Parallel + 4 Downloads		-	7,20	4,87	4,71	3,93
Parallel + 1 Upload			52,73	51,06	44,72	24,64
Parallel + 4 Uploads			53,42	48,30	45,66	35,12
Parallel + 1 Download & Upload			50,79	47,52	42,69	11,11
Parallel + 4 Download & Uploads			53,54	47,89	48,87	11,35

Quelle: wik

Störende Downloads und/oder Uploads

Bei dem Vergleich der Ergebnisse im Fall störender Downloads und/oder Uploads haben wir auf einen Ausweis der berechneten Datenübertragungsraten für den Bottom-up-Ansatz verzichtet. Dies ist der mangelnden Vergleichbarkeit der jeweils betrachteten Szenarien (Bottom-up vs Top-down) geschuldet. Da beim Top-down-Ansatz Down- und auch Upload durch ein unbegrenzt großes Datenvolumen berücksichtigt wurde, kann diesen

Szenarien keine entsprechende Dateigröße gegenübergestellt werden, die bei der Bottom-up-Berechnung hätte berücksichtigt werden können.

Die Darstellung in Tabelle 54 erlaubt jedoch einen Vergleich der Messergebnisse untereinander sowie zu den parallelen, störenden Webseitenaufrufen: Im Fall des reinen Downloads liegt die Überschreitung der tolerierten Übertragungsdauer im niedrigen, einstelligen Sekundenbereich und kann in zwei Fällen bei einem Download von 20 Mbps auch eingehalten werden.

Die deutlich nach oben abweichenden Messergebnisse in den Parallelnutzungskonstellationen mit parallelem Upload wurden bereits in Kapitel 6 eingeordnet. Dabei wurde auf die Bedeutung der Upload-Kapazitäten für den Transport des Signalisierungs-Overheads hingewiesen, der im Fall von relevanten Kapazitätsengpässen derartige Verschlechterungen der Nutzererfahrung mit auslösen kann. Die Messergebnisse dokumentieren, dass diese – prinzipiell geringfügigen – Datenvolumina bei punktuell auftretenden Beschränkungen im Upload auch zu deutlichen Einschränkungen der Nutzererfahrung führen, die vermeintlich nur durch die Download-Kapazität bestimmt wird.

7.3 Schlussfolgerungen aus dem Vergleich von Methoden und Ergebnissen

Mit den Messergebnissen konnte gezeigt werden, dass bei einer Parallelnutzung von Internetdiensten mit einer Anschlussgeschwindigkeit entsprechend den Mindestvorgaben der TKMV in Höhe von 10 Mbps im Down- und 1,7 Mbps im Upload selbst bei fünf parallelen Nutzern die Dienste funktionieren. Auch wenn im betrachteten Fall von vier störenden Videokonferenzen die angestrebte Übertragungsdauer für die datenintensive Webseite von vier Sekunden bei den Messungen im Durchschnitt um eine halbe Sekunde (0,51 Sekunden) überschritten wird, interpretieren wir dieses Ergebnis aufgrund der – in absoluten Größen – geringfügigen Überschreitung der tolerierten Übertragungsdauer dergestalt, dass den Anforderungen der betrachteten Mehrpersonenhaushalte mit den aktuellen Vorgaben weitestgehend Rechnung getragen wird. Die Ergebnisse der bottom-up berechneten Anforderungen an den Upload helfen an dieser Stelle zu erklären, warum bei den Messergebnissen ein Engpass im Download mit Überschreitung der tolerierten Übertragungsdauer zu beobachten ist: Bedingt durch die Beschränkung auf 1,7 Mbps im Upload, der für die Kommunikation des TCP/IP benötigt wird, schlagen sich die Auswirkungen nicht oder verzögert versendeter Empfangsbestätigungen darauf aus, dass sich die Engpässe auf die Dienste mit einer vorzugsweisen Nutzung des Download übertragen. Die Bottom-up-Ergebnisse legen hier eine Unterschätzung des Bedarfs im Download nahe, der eigentliche Engpass besteht bei diesen Konstellationen jedoch vielmehr im Upload.

Auch im Fall von vier parallelen, störenden Videostreams hält sich die beobachtete Überschreitung der tolerierten Übertragungsdauer der datenintensiven Webseite mit knapp

1,3 Sekunden absolut betrachtet noch in einem Bereich einer geringen Abweichung, obwohl die Bottom-up-Ergebnisse mit 17 Mbps einen deutlich höheren Bedarf nahelegen. Diese deutliche Überschätzung des Bedarfs und unsere Interpretation der Werte als konservative Obergrenze ist dem Umstand geschuldet, dass das statische Berechnungsverfahren weder die protokolltechnischen Mechanismen der Streamingdienste, noch das statistische Aufkommen der Webseitenaufrufen mit Sekundengenauigkeit betrachten können.

Die Bottom-up-Ermittlung von Datenübertragungsraten ist aufgrund der vorgetragenen Analysen mit Unzulänglichkeiten verbunden. Demgegenüber ist der Top-down-Messansatz zwar in der Lage, die Nutzererfahrung für die Parallelnutzungskonstellationen zu beobachten, ohne jedoch einen Mbps-Wert für Down- und Upload als Zielgröße ableiten zu können.

8 Technische Mindestanforderungen für den Internetzugangsdienst und die damit zu ermöglichenden Dienste (TKG § 157 Abs. 3) – Zusammenfassung und Empfehlung

Hintergrund

Im Juni 2022 wurden mit der Telekommunikationsmindestversorgungsverordnung (TKMV) erstmalig technische Leistungsmerkmale für den Internetzugang definiert, auf die ein Endkunde im Sinne einer Grundversorgung Anspruch hat.

Dabei handelt es sich um Mindestanforderungen an die Datenübertragungsrate im Down- und im Upstream [Mbps] sowie um die maximal tolerierte Latenz [ms]. Die festgelegten Werte waren das Ergebnis einer Evaluierung durch die Bundesnetzagentur (BNetzA) unter Berücksichtigung der im TKG verankerten Anforderungen. Eine dieser Anforderungen ist das sogenannte Dienstekriterium, zu dessen Beurteilung die BNetzA bereits 2021 ein Gutachten an wik und zafaco (Technische Mindestanforderungen Internetzugang) vergeben hatte und welches in die öffentliche Konsultation und spätere Festlegung durch die BNetzA Eingang gefunden hatte.

Im wik-zafaco-Gutachten 2021 wurden Werte für die Datenübertragungsraten im Down- und Upstream (down: 7,7 Mbps / up: 1,3 Mbps) ermittelt, die unter Berücksichtigung der weiteren Kriterien in den Vorschlag der BNetzA in Höhe von 10 Mbps für den Downstream und nach weiteren Anpassungen in Höhe von 1,7 Mbps für den Upstream mündeten. Im Zuge der Konsultation durch die BNetzA und des Verordnungsgebungsprozesses zur TKMV ergaben sich weitere Fragestellungen, die darauf abstellen, ob die für die TKMV vorgeschlagenen technischen Grenzwerte den heutigen Rahmenbedingungen und der Lebenswirklichkeit – auch von Mehrpersonenhaushalten – hinreichend Rechnung tragen oder lediglich den Anforderungen *eines* Dienstes gerecht werden könnten.

Aufgabe des Gutachtens

Der Erlass der TKMV erfolgte in Verbindung mit der Aufgabe an die BNetzA, im Zuge der von ihr vorzunehmenden Überprüfung der Werte der Mindestanforderungen ein entsprechendes Gutachten zu beauftragen, das den auf politischer Ebene vorgetragenen Fragen nachgeht und die Leistungsfähigkeit der in der TKMV vorgesehenen Mindestanforderungen im Downstream und Upstream für die Parallelnutzung von Internetdiensten im Mehrpersonnenfall untersucht. Diese Aufgabenstellung ist Gegenstand des hier vorgelegten Gutachtens. Darüber hinaus wurden die dienstespezifischen Mindestanforderungen in Bezug auf den Downstream und Upstream [Mbps] aktualisiert.

Bottom-up ermittelte, dienstespezifische Anforderungen an die Datenübertragungsrate

Für die Aktualisierung der dienstespezifischen Mindestanforderungen wurde die methodische Vorgehensweise des wik-zafaco-Gutachtens von 2021 angewendet. Mit ihr werden die gesuchten dienstespezifischen Datenübertragungsraten abgeleitet, die sich ausschließlich aus den Anforderungen der Dienste ergeben (Bottom-up-Methode). Für die Aktualisierung wurde eine erneute Bestandsaufnahme der relevanten Anwendungen und Produkte für den im Anhang V des Europäischen Kodex für die elektronische Kommunikation (Richtlinie (EU) 2018/1972, EKEK) vorgegebenen Dienstekatalog,¹⁸⁴ die Online-Inhaltendienste sowie der Dienste der Teleheimarbeit unter Berücksichtigung von Verschlüsselungsverfahren (VPN, Virtual Private Networks) vorgenommen. Auch die Bedarfe von Teleheimarbeit, inkl. Verschlüsselungsverfahren, sowie von Solo-Selbständigen bzw. Freiberuflern sind in die Analyse eingegangen. Mit Ausnahme des Internetradios wurden keine weiteren Dienste identifiziert, die über das Spektrum der bereits im Jahr 2021 berücksichtigten Dienste hinausgehen. Als Ergebnis der Aktualisierung wurde für den Download eine Datenübertragungsrate von 7,4 Mbps und damit im Vergleich zu 2021 ein um 0,3 Mbps geringfügig niedrigerer Wert abgeleitet. Für die Anforderungen im Upload ergab sich bei unveränderter Datengrundlage weiterhin ein Wert von 1,3 Mbps. Bei den abgeleiteten Werten handelt es sich um die jeweils strengsten Werte, die bei der Berücksichtigung aller untersuchten Produkte identifiziert werden konnten.

Für die webbrowserbasierten Erhebungen des Datenvolumens wurden insgesamt 30 Produkte mit knapp 900 Messungen der Datenvolumina durchgeführt. Gemessen wurde das Datenvolumen, das übertragen werden muss, um beim Nutzer die Webseite zeitgerecht darzustellen (Onload-Event).

Treiber für die Anforderungen im Download sind im Vergleich zum wik-zafaco-Gutachten 2021 unverändert webseitenbasierte Anwendungen, welche sich aus den Anhang V-Diensten des EKEK ergeben. Die Anforderungen an den Upload werden von dem Dienst Datenaustausch getrieben, welcher sowohl im Kontext webbasierter Anhang V-Dienste als auch der Teleheimarbeit genutzt wird. Der Wert von 1,3 Mbps beinhaltet dabei auch den Kapazitätsbedarf für die Verschlüsselung von Verbindungen (VPN). Diese spielen jedoch aufgrund des relativ geringen Aufschlags auf die Nutzdaten eine untergeordnete Rolle.

Bei der für dieses Gutachten erneut durchgeführten Analyse wurde festgestellt, dass Niveau und Spannbreite der Messergebnisse weitestgehend stabil geblieben sind, und dies, obwohl sich die Produkte, der Aufbau der Webseiten und natürlich auch die Inhalte

¹⁸⁴ Zum Dienstekatalog des EKEK Anhang V zählen 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).

verändert haben. Dies erklärt sich unter anderem durch die beim Webdesign verwendeten und sich kontinuierlich weiterentwickelnden aktuellen Techniken zur Verbesserung der Nutzererfahrung. Ein Beispiel hierfür ist der beim Webseitenabruf verwendete Onload-Event. Mit dem Onload-Event wird dem Nutzer bereits ein erster Teil der Webseite angezeigt, was ihm die Möglichkeit zur schnelleren Interaktion mit der Webseite erlaubt und damit die Qualität des Dienstes und der Nutzererfahrung verbessert.

Mehrpersonenhaushalte

Ausgangspunkt für die Untersuchung der Anforderungen von Mehrpersonenhaushalten und die parallele Nutzung von Diensten war die im politischen Prozess vorgetragene Frage, in welchem Umfang die über das Dienstekriterium abgeleiteten Datenübertragungsraten zu vergrößern seien. Dabei sollte geprüft werden, ob die ermittelte dienstespezifische Datenübertragungsrate mit der Zahl im Haushalt parallel nutzender Haushaltsmitglieder zu multiplizieren sei.

Dabei wurde in einem ersten Schritt herausgearbeitet, dass eine parallele Nutzung von Onlinediensten nicht immer mit einer gleichzeitigen Inanspruchnahme von Übertragungskapazität einhergehen muss. Insbesondere für Webseiten gilt typischerweise, dass der Zeitraum, in dem sich der Nutzer mit den Inhalten befasst, deutlich größer ist als die für das Laden der Inhalte benötigte Zeit. Kumulierte Anforderungen an die Datenübertragungsrate entstehen daher nur, wenn die parallele Nutzung von Onlinediensten mit einer exakt zeitgleichen Belegung von Übertragungskapazitäten einhergeht. Um allgemeine Aussagen darüber zu treffen, wie bzw. unter welchen Voraussetzungen sich eine Parallelnutzung und insbesondere der Fall eines zeitgleichen Belegens von Übertragungskapazitäten einstellt, wären haushaltsbezogene statistische Informationen über die zeitgleiche Parallelnutzung erforderlich, die jedoch auf dieser disaggregierten Ebene nicht vorliegen. In Bezug auf den parallelen Aufruf von Webseiten kann wegen der Zufälligkeit kleinteiliger, diskretionärer Webseitenaufrufe keine verwertbare Aussage über die zeitgleich beanspruchten Übertragungskapazitäten abgeleitet werden.

Für die Bestimmung einer Datenübertragungsrate, die den Anforderungen einer Parallelnutzung im Mehrpersonenhaushalt Rechnung trägt, ist ein statischer Berechnungsansatz methodisch jedoch nicht geeignet. Grund dafür ist zum einen, dass der statische Ansatz, Datenübertragungsraten allein aus den Eigenschaften der Dienste abzuleiten, nicht in der Lage ist, Situationen der Verkehrslast zu berücksichtigen. Diese sind jedoch im Kontext der Parallelnutzung von Bedeutung: Sie entstehen, wenn mehrere Dienste parallel, d.h. zeitgleich über denselben, gemeinsamen Internetzugang genutzt werden. Da das Internet bei Kapazitätsengpässen keine Blockierung von Diensten vornimmt (wie dies beim öffentlichen Telefondienst des PSTN der Fall ist), sondern stattdessen Best-Effort-Mechanismen nutzt, sind Verfahren für einen effizienten Umgang mit dem Verkehrslastsituationen implementiert. So kommen zum Beispiel bei Streamingdiensten (z. B. Video-streaming oder Videokonferenzen) protokolltechnische Mechanismen auf Anwendungs-

ebene zum Einsatz, die innerhalb bestimmter Grenzen in der Lage sind, den dienstespezifischen Bedarf an Datenübertragungsrate an die verkehrslastbedingte Verfügbarkeit von Übertragungskapazitäten anzupassen.

Zum anderen sind die allein auf Basis der Diensteeigenschaften abgeleiteten Datenübertragungsraten per Definition unabhängig von Nutzungsprofilen, die jedoch bei der Analyse von Parallelnutzung in Mehrpersonenhaushalten notwendigerweise zu betrachten sind: Parallelnutzung erfordert die Berücksichtigung der zeitlichen Entstehung und Dauer der Dienstenutzung. Diese dynamischen Aspekte können durch den auf statischen, dienstebezogenen Datenübertragungsraten basierenden Ansatz nicht abgebildet werden. Berechnungen von Mindestdatenübertragungsraten für Konstellationen der Parallelnutzung sind methodisch darauf beschränkt, Annahmen über die Parallelnutzung zu treffen, und eine Addition der Bedarfe der parallel genutzten Dienste vorzunehmen. Diese Ergebnisse sind somit rein annahmebasiert. Die auf diese Weise für die Parallelnutzung durch Addition ermittelten Datenübertragungsraten können daher lediglich als eine konservative Obergrenze interpretiert werden.

Um die Implikationen des zeitgleichen Nutzungs- und Kapazitätsbelegungsverhaltens sowie der protokolltechnischen Zusammenhänge für die Nutzererfahrung im Mehrpersonenhaushalt beurteilen zu können, bedarf es deswegen alternativer Methoden, die die dynamischen Aspekte der aufgezeigten Phänomene berücksichtigen können. Hierfür wurde in diesem Gutachten ein messtechnischer Ansatz eingesetzt (Top-down-Methode). Dieser zielt darauf ab, die Nutzererfahrung und das Funktionieren der Dienste **bei vorgegebener Anschlussgeschwindigkeit** zu erheben.

Methodisch wurden hierzu Parallelnutzungskonstellationen an einem Internetzugang mit den Leistungsmerkmalen gemäß der Mindestversorgung gemessen (Download 10 Mbps / Upload 1,7 Mbps). An einem von fünf parallel betriebenen Messgeräten (Computern), die bis zu fünf parallele Nutzer repräsentierten, erfolgte die Erhebung von Qualitätsparametern in Form von netztechnischen Parametern [Quality of Service, QoS] und Ableitungen für die subjektiv wahrgenommene Qualität [Quality of Experience, QoE]. Diese Metriken wurden zur Beurteilung der in den simulierten Parallelnutzungskonstellationen erreichten subjektiven Nutzererfahrungen verwendet. Ebenso wurde das technische Funktionieren der gemessenen Anwendungen überwacht.

Für die Messung der Nutzererfahrung wurden die Dienste Sprachtelefonie (NGN-Calls), Webseitenabrufe, Videostreaming und Videokonferenzen herangezogen. Die Nutzererfahrung wurde dabei anhand eines standardisierten Verfahrens zur Erhebung der Nutzererfahrung (Mean Opinion Score, MOS) für Telefonie, Videokonferenzen und Videostreaming bewertet. Für die Webseitenaufrufe wurde eine zu tolerierende Übertragungsdauer bis zur Erreichung des Onload-Events definiert, um eine Vergleichbarkeit mit der dienstespezifischen Ableitung des statischen Bottom-up-Ansatzes zu ermöglichen. Die

dabei für die tolerierte Übertragungsdauer bereits im wik-zafaco-Gutachten 2021 angesetzten vier Sekunden waren aus QoE-Analysen der ITU und Orientierungsgrößen für das Design von Webseiten („Goldene Google Regel“) abgeleitet worden.

Messung der Nutzererfahrung im Parallelnutzungsfall

Die parallele Dienstenutzung im Mehrpersonenhaushalt wurde in drei Basiskonstellationen betrachtet, wobei jede Person nur einen einzelnen Dienst nutzt:

- (1) Einpersonenhaushalt (ohne parallele Nutzung, zur Bestimmung eines Referenzwertes),
- (2) Zweipersonenhaushalt mit gleichzeitiger Nutzung durch beide Mitglieder,
- (3) Fünfpersonenhaushalt mit gleichzeitiger Nutzung durch alle Mitglieder.

Es wurde darauf verzichtet, Drei- und Vierpersonenhaushalte zu messen, da zu erwarten ist, dass sich die in diesen Konstellationen beobachtbare Nutzererfahrung zwischen den Werten im Zwei- und Fünfpersonenhaushalt bewegt.

Der jeweils für die Messung der Nutzererfahrung untersuchte Dienst, wie z. B. ein Webseitenabruf, wurde hierbei in verschiedenen Konstellationen, d.h. mit verschiedenen parallelen Diensten, z.B. „störenden“ Videostreams oder Videokonferenzen betrachtet. Um die Anzahl der zu berücksichtigenden Konstellationen beherrschbar zu machen, wurde angenommen, dass bei vier parallelen Nutzern alle den gleichen Dienst in Anspruch nehmen. Im Fall von Videostreaming, Videokonferenzen und Webseitenabrufen als sogenannte störende Dienste konnte für die Konstellationen (1) und (2) keine nennenswerte Einschränkung der Nutzererfahrung beobachtet werden. Lediglich im Fall von vier parallelen, störenden Nutzern konnten leichte Einschränkungen der Nutzererfahrung auf Seiten des betrachteten Dienstes beobachtet werden, die sich in einer Überschreitung von weniger als einer Sekunde der tolerierten Übertragungsdauer von vier Sekunden oder einer leichten Unterschreitung des MOS-Wertes von vier („gut“) ausgedrückt haben. Die Messungen der Sprachtelefonie und des Videostreamings wurden unter Rückgriff auf Quality of Experience-Modelle (QoE) durchgeführt. Dem gegenüber basieren die Messreihen der Videokonferenzen auf einer Expertenbewertung. Beide Verfahren geben eine Aussage der technischen Leistung des betrachteten Dienstes bzw. der daraus abgeleiteten Nutzererfahrung.

Neben den bereits beschriebenen störenden Diensten Videostreaming, Videokonferenzen und Webseitenabrufen wurden darüber hinaus mit weiteren Messkonstellationen parallele Down- und/oder Uploads abgebildet, wie sie beispielsweise bei Diensten wie Dateitransfer oder per E-Mail versendeten Attachments von Bedeutung sind. Da die Dauer des Datentransfers vom Volumen der zu übersendenden Daten abhängt und auch hier – vergleichbar zum Webseitenabruf – der Zeitbezug und die Dauer von Bedeutung sind, mussten hierzu ergänzende Annahmen getroffen werden. Aus methodischen Gründen

wurde für jeden parallelen Down- bzw. Upload ein unbegrenztes Datenvolumen verwendet.

Mit den parallelen Down- und/oder Uploads wurde eine Verkehrslastsituation simuliert, bei der die jeweils gesendeten Daten versuchen, für die Dauer des Messvorgangs die gesamte Kapazität des Internetzugangs zu beanspruchen. Da sich im Best-Effort-Netz jedoch alle aktiven Verbindungen die gesamte Kapazität des Internetzugangs teilen, bewirken die protokolltechnischen Mechanismen, dass auch bei diesen Messreihen die vom Down- und Upload angeforderte maximale Beanspruchung des Internetzugangs der untersuchte Dienst nicht komplett verdrängt wird, sondern „lediglich“ spürbar beeinflusst wird. Diese bei den Messungen künstlich generierte maximale Beanspruchung der Kapazität des Internetzugangs soll den in der Realität möglichen und auch beobachtbaren Fällen einer exakt zeitgleichen Inanspruchnahme von Übertragungskapazitäten Rechnung tragen. Diese Szenarien zielen unter anderem darauf ab, die Leistungsfähigkeit der protokolltechnischen Mechanismen auf Transport- und Anwendungsschicht aufzuzeigen.

Im Ergebnis konnte für diese maximale Beanspruchung der Kapazität des Internetzugangs infolge eines ununterbrochenen, parallelen Down- und Uploads gezeigt werden, dass sämtliche gemessene Dienste weiterhin funktionierten. Dies gilt selbst im Fall von vier gleichzeitigen Nutzern. In keiner Situation kam es zu einem kompletten Nichtfunktionieren des Dienstes. Allerdings führten im Fall von Webseitenabrufen parallele Uploads bzw. Down- und Uploads zu einer relevanten Verzögerung der Übertragungsdauer, die im Mittel auf über 50 Sekunden angestiegen ist. Ebenfalls konnten Einschränkungen der Nutzererfahrung beim Dienst Videokonferenz für die Videoübertragung zu einem dem Haushalt externen Teilnehmer beobachtet werden, wenn parallel weitere Haushaltsmitglieder jeweils einen Upload durchführen. Hier lagen die erhobenen MOS-Ergebnisse im schlechtesten Fall unter zwei (dies beschreibt eine "schlechte" bis "mangelhafte" Qualität). Hingegen lag die Nutzererfahrung in Bezug auf die Audioübertragung mit Ausnahme einer Konstellation bei einem MOS-Wert von mindestens vier, welcher einer „guten“ Qualität entspricht.

Messergebnisse bei höheren Datenübertragungsraten

Die Messungen wurden auch für weitere, höhere Anschlussgeschwindigkeiten des Internetzugangs durchgeführt. Diese umfassten als Datenübertragungsraten

- Download: 15 Mbps / Upload 2,4 Mbps,
- Download: 20 Mbps / Upload 3,4 Mbps,
- Download: 20 Mbps / Upload 5,1 Mbps.

Mit den Ergebnissen konnte eine kontinuierliche Verbesserung der Nutzererfahrung gezeigt werden. Insbesondere zeigt sich dies bei den durchgeführten Messungen mit parallelen Uploads bzw. Down- und Uploads. Aber auch bei Messungen mit parallelen Down-

loads, Videostreaming, Videokonferenz oder Webseitenaufrufen konnten bessere Qualitäten des gemessenen Dienstes festgestellt werden. In diesen Fällen zeigten sich die Änderungen besonders im Vergleich zu der kleinsten, betrachteten Datenübertragungsraten (10 Mbit/s Download und 1,7 Mbit/s Upload). Die Messergebnisse für diese Dienste mit den höheren Datenübertragungsraten des Internetzugangs zeigen, dass mit zunehmender Geschwindigkeit des Internetanschlusses die negative Beeinträchtigung der Nutzererfahrung sinkt. Die Messungen mit den parallelen Diensten Videostreaming, Videokonferenz und Webseitenaufrufen zeigen bei den weiteren (höheren) Datenübertragungsraten sogar eine Qualität im Bereich des Dienstes ohne eine parallele Nutzung und somit eine beste anzunehmende Qualität bei der jeweiligen Anschlussgeschwindigkeit.

Schlussfolgerungen hinsichtlich der Leistungsfähigkeit der dienstespezifischen Mindestanforderungen für die Anforderungen von Mehrpersonenhaushalten

Auf Basis der durchgeführten Messungen sowie Berechnungen und Analysen kommt das Gutachten zu der Schlussfolgerung, dass die in der TKMV festgelegten Anforderungen an die Datenübertragungsraten den heutigen Anforderungen einer Parallelnutzung von Mehrpersonenhaushalten durch funktionierende Dienste Rechnung tragen. Sie gehen mit einer im Alltag nahezu durchgängig guten, wenn auch ggü. der Situation ohne Parallelnutzung ggf. reduzierten Qualität einher.

Es konnte gezeigt werden, dass eine Abschätzung durch Multiplikation der dienstespezifischen Datenübertragungsraten mit der Anzahl der Personen im Haushalt zu einer Überschätzung der notwendigen Datenübertragungsraten führt. Daher ist eine Multiplikation nicht erforderlich, um den betrachteten Anforderungen von Mehrpersonenhaushalten und ihrer Lebenswirklichkeit Rechnung zu tragen.

Bei den durchgeführten Analysen konnte außerdem gezeigt werden, dass einzelne Dienste, wie beispielweise datenintensive Webseiten, zwar durch weitere Dienste wie parallele Videokonferenzen, Videostreams oder Download verzögert werden, hierbei die zuvor definierte tolerierte Ladezeit (*responsive – 4 Sekunden*) häufig nicht oder nur leicht überschritten wird; ein Funktionieren der Dienste ist auch in diesen Fällen gegeben. Die gemessene kompakte, weniger datenintensive Webseite zeigte durchweg deutlich bessere Ergebnisse.

Dass es dennoch Situationen gibt, bei denen eine Parallelnutzung Verkehrslastsituationen erzeugen und das Funktionieren der Dienste stören kann, wurde mit Hilfe simulierter Verkehrslast-Szenarien gezeigt. Beispiele aus der Lebenswirklichkeit sind per E-Mail versendete Attachments mit nennenswertem Datenvolumen, die parallel genutzte Dienste nachhaltig in ihrer Nutzererfahrung oder auch selten in ihrer Funktionsfähigkeit beeinträchtigen können. Diese Zusammenhänge gelten auch bei paralleler Dienstenutzung im Einpersonenhaushalt. Derartige Verkehrslast-Konstellationen dürften im Alltag jedoch eine untergeordnete Relevanz haben, da beispielsweise für einen Upload mit einem Datenvo-

lumen von 10 MB und einer Datenübertragungsrate im Upload von 1,7 Mbps im Normalfall unter 50 Sekunden benötigt werden und die Häufigkeit, mit der diese Bedarfe einhergehen, entweder als überschaubar oder planbar (und damit Verkehrslast-vermeidbar) einzustufen sind.

Anhand von durchgeführten Messungen konnte beispielsweise für den Dienst Videokonferenz gezeigt werden, dass ein anhaltender paralleler Upload einen einseitigen störenden Einfluss haben kann. Die erkannte Störung wirkte sich insbesondere auf den Video-Teil der Konferenz aus und konnte bei allen betrachteten Datenübertragungsraten der Anschlussleitung festgestellt werden. Der Einfluss der Störung ging mit steigender Datenübertragungsrate zurück. Eine Sprach-Kommunikation zwischen den Teilnehmern war in einer solchen Konstellation bei reduzierter aber guter Qualität weiterhin möglich.

Auch im Falle eines Webseitenabrufs konnte eine deutlichere Verschlechterung der Qualität festgestellt werden, wenn über die komplette Messdauer eine parallele Verkehrslast-Situation im Upload vorliegt. In diesen Fällen wurde die tolerierte Ladezeit (*responsive - 4 Sekunden*) deutlich überschritten und es konnten in der definierten Messdauer teilweise nicht alle für eine Qualitätsbeurteilung notwendigen Elemente geladen werden. Die gemessene kompakte Webseite zeigte hierbei durchweg deutlich bessere Ergebnisse.

Abschließende Evaluierung

Die im ersten Teil des Gutachtens angewendete Methodik (Bottom-up-Ansatz) ist geeignet, auf Basis der Eigenschaft der Dienste spezifische Anforderungen an die Datenübertragungsrate abzuleiten. Auf diese Weise kann eine (Mindest-)Datenübertragungsrate ermittelt werden, die die in § 157 Absatz 3 Satz 3 benannten Dienste ermöglicht. Die Vorgehensweise erfordert die Vorgabe der zu erreichenden Dienstqualität und abstrahiert von qualitätseinschränkender Verkehrslast.

Die abgeleiteten dienstespezifischen Datenübertragungsraten können als Obergrenze und damit als konservative Schätzung eines Kapazitätsbedarfs für den vorgegebenen Dienstekatalog interpretiert werden. Sie sind unter Vernachlässigung protokolltechnischer Mechanismen auf Transport- und Anwendungsschicht abgeleitet, die in der Lage sind, im Fall von Verkehrslast (und damit auch im Fall der Parallelnutzung) entstehende Einschränkungen der Network Performance auf Ebene der Nutzererfahrung aufzufangen bzw. abzufedern.

Die Leistungsfähigkeit dieser protokolltechnischen Mechanismen konnte mit den Ergebnissen aus den Messungen der Nutzererfahrung anhand der QoS- und QoE-Metriken (Top-down-Ansatz) verdeutlicht werden. Ermöglicht werden diese Mechanismen durch die strikte Trennung von Netz und Anwendung. Diese Trennung ist die Voraussetzung für ein vom Netzbetrieb unabhängiges Innovationspotential, welches sich etablieren konnte und das sich dynamisch auf sich ändernde Rahmenbedingungen einstellt, um die

Dienstqualität zu verbessern. Die auf dieser Ebene wirkenden Wettbewerbskräfte leisten damit einen relevanten Beitrag für eine kontinuierliche Verbesserung von Dienstqualität und Nutzererfahrung.

Aus den gewonnenen Erkenntnissen ergibt sich, dass eine additive Betrachtung von dienstebezogenen Datenübertragungsraten zur Ermittlung von Mindestanforderungen im Parallelnutzungsfall nicht zielführend ist – weder aufgrund der dargestellten protokolltechnischen Zusammenhänge, noch aufgrund der Unbestimmtheit der nahezu unbeschränkten möglichen Konstellationen einer Parallelnutzung. Letztlich sind Parallelnutzungen nicht nur auf Mehrpersonenhaushalte beschränkt, sondern erstrecken sich auch auf parallel genutzte Dienste eines einzelnen Nutzers. Die in diesem Gutachten durchgeführten Messungen der Nutzererfahrung (Top-down-Ansatz) stellen eine Methode dar, die eine Überprüfung der Leistungsfähigkeit der ermittelten dienstespezifischen Mindestanforderungen an die Datenübertragungsrate erlaubt. Wie erwartet konnte gezeigt werden, dass mit einer Erhöhung der Datenübertragungsraten im Down- und Upstream die Nutzererfahrung verbessert werden kann. Die Messungen mit höheren Internetzugangsgeschwindigkeiten zeigen, dass insbesondere eine Erhöhung der Upload-Geschwindigkeit zu einer Verbesserung der Nutzererfahrung in den Fällen mit besonderer Verkehrslast führt.

Welches Maß an Nutzererfahrung über das Niveau der dienstespezifischen Anforderungen hinaus zugestanden und in der TKMV verankert werden kann, ist vom Verordnungsgeber unter Berücksichtigung der sonstigen Kriterien des § 157, Absatz 3 Satz 3 TKG zu entscheiden, die diese ggf. in ihrer Höhe beschränken.

Literaturverzeichnis

- Amazon (2023): Amazon Music Unlimited FAQs. In Amazon Music: <https://www.amazon.de/b?ie=UTF8&node=8322164031#:~:text=Welche%20Klangqualit%C3%A4t%20unterst%C3%BCtzt%20Amazon%20Music,durchschnittliche%20Bitrate%20von%20850%20kbps>. (zuletzt abgerufen: 14.08.2023).
- Amazon (2023): Video in 4K Ultra HD auf dem Fire TV-Gerät ansehen. https://www.amazon.de/gp/help/customer/display.html?ref_=help_search_1-1&no-deld=G201859000&qid=1682330545296&sr=1-1 (zuletzt abgerufen: 14.08.2023).
- Arbeitsgemeinschaft Verbrauchs- und Medienanalyse (VuMA). (17. November 2021). Anzahl der Personen in Deutschland, die das Internet für Online-Spiele nutzen, nach Häufigkeit von 2019 bis 2021 (in Millionen) [Graph]. In Statista. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/183136/umfrage/online-spiele-internetnutzung/> (zuletzt abgerufen: 31. Juli 2023).
- ARD (2019): Gebärdensprache. <https://www.daserste.de/specials/service/barrierefreie-angebote-ard-102.html> (zuletzt abgerufen: 21.08.2023).
- ARD (2019): Untertitel. Stand vom 09. April 2019. <https://www.daserste.de/specials/service/untertitel-allgemein100.html> (zuletzt abgerufen: 21.08.2023).
- ARD/ZDF-Onlinestudie 2020. Ergebnisse der ARD/ZDF-Onlinestudie 2020; https://www.ard-zdf-onlinestudie.de/files/2020/2020-10-12_Onlinestudie2020_Publikationscharts.pdf.
- ARD (2023): Audiodeskription-Angebote in der ARD. <https://www.daserste.de/specials/service/barrierefreie-angebote-ard-100.html> (zuletzt abgerufen: 21.08.2023).
- ARD/ ZDF (2022): ARD/ZDF-Onlinestudie 2022. Grundlagenstudie im Auftrag der ARD/ ZDF Forschungskommission. Veröffentlicht am 10.11.2022, in <https://www.ard-zdf-onlinestudie.de/> (zuletzt abgerufen: 17.07.2023).
- Autodesk (2023a). Online- und Cloud-CAD-Software. Link: <https://www.autodesk.de/solutions/cloud-based-online-cad-software> (zuletzt abgerufen: 20.11.2023).
- Autodesk (2023b). Unterstützte Browser und Systemanforderungen. https://help.autodesk.com/view/ACADWEB/DEU/?guid=AutoCAD_Web_Help_browsers_html (zuletzt abgerufen: 20.11.2023).
- Background Intelligent Transfer Service (BITS) - <https://learn.microsoft.com/en-us/windows/win32/bits/background-intelligent-transfer-service-portal>.
- Barrierefreie-Informationstechnik-Verordnung (BITV) (2023): Was verlangt die BITV?. <https://bik-fuer-alle.de/was-verlangt-die-bitv-138.html> (zuletzt abgerufen: 21.08.2023).
- Bayerischer Rundfunk (2022): Internetradio – BR-Programme richtig einstellen. Stand: 01.03.2022. <https://www.br.de/unternehmen/inhalt/technik/internetradio-programme-einstellen100.html> (zuletzt abgerufen: 14.08.2023).
- Beamten Bund und Tarif Union (2023). Onlinezugangsgesetz, die Zweite: „Der Staat muss jetzt liefern“. 24. Mai 2023. <https://www.dbb.de/artikel/onlinezugangsgesetz-die-zweite-der-staat-muss-jetzt-liefern.html> (zuletzt abgerufen: 21.07.2023).

- Beisch, N. und Koch, W. (2022). Aktuelle Aspekte der Internetnutzung in Deutschland. ARD/ZDF Onlinestudie: Vier von fünf Personen in Deutschland nutzen täglich das Internet. Media Perspektiven 10/2022, 460-470.
- BEREC (2020a): BEREC Guidelines detailing Quality of Service Parameters, BoR (20) 53, 6 March 2020, https://www.berec.europa.eu/sites/default/files/files/document_register_store/2020/3/BoR%20%2820%29%2053%20-%20QoS%20Guidelines%20FINAL.pdf (zuletzt abgerufen: 26.06.2023).
- Biggs, B. (2009). 1080p HD Is Coming to YouTube. News and Events. YouTube Official Blog. Nov. 12, 2009. <https://blog.youtube/news-and-events/1080p-hd-comes-to-youtube/> (zuletzt abgerufen: 02.08.2023).
- Bild.de (2023): Startseite. Mobilansicht / klassische Ansicht [Screenshot]. In bild.de: <https://www.bild.de/> (zuletzt abgerufen: 02.08.2023).
- Bundesagentur für Arbeit (2020): Klassifikation der Berufe 2010 – überarbeitete Fassung 2020. Band 1: Systematischer und alphabetischer Teil mit Erläuterungen. Nürnberg, November 2021. https://statistik.arbeitsagentur.de/DE/Statischer-Content/Grundlagen/Klassifikationen/Klassifikation-der-Berufe/KldB2010-Fassung2020/Printausgabe-KldB-2010-Fassung2020/Generische-Publikationen/KldB2010-PDF-Version-Band1-Fassung2020.pdf?_blob=publicationFile (zuletzt abgerufen 22.09.2023).
- Bundesagentur für Arbeit (2023a): Entdecken Sie das neue KURSNET. [Screenshot]. In arbeitsagentur.de: <https://www.arbeitsagentur.de/kursnet> (zuletzt abgerufen: 02.08.2023).
- Bundesagentur für Arbeit (2023b): Informationen in Gebärdensprache [Screenshot]. In arbeitsagentur.de: <https://www.arbeitsagentur.de/gebaerdensprache> (zuletzt abgerufen: 31.07.2023).
- Bundesagentur für Arbeit (2023c): Leichte Sprache. [Screenshot]. In arbeitsagentur.de: <https://www.arbeitsagentur.de/leichte-sprache> (zuletzt abgerufen: 01.08.2023).
- Bundesministerium des Innern und für Heimat (2023). „Bundesregierung beschließt Paket für die digitale Verwaltung: Deutschland erhält ein digitales Bürgerkonto“. Gesetzentwurf zur Änderung des Onlinezugangsgesetzes und Eckpunkte für eine moderne und zukunftsgerichtete Verwaltung. Pressemitteilung vom 24.05.2023. <https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/pressemitteilungen/DE/2023/05/ozg-kabinett.html> (zuletzt abgerufen: 21.07.2023).
- Bundesnetzagentur (2021): Nutzung von Online-Kommunikationsdiensten in Deutschland. Ergebnisse der Verbraucherbefragung 2021. Stand: Januar 2022. https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Digitales/OnlineKom/befragung_lang21.pdf?_blob=publicationFile&v=3 (zuletzt abgerufen: 15.08.2023).
- Bundesverband der Freien Berufe e.V. (2023): Struktur der Erwerbstätigen in Freien Berufen in Deutschland zum 1. Januar 2022. [Abbildung]. In IFB https://www.freie-berufe.de/wordpress/wp-content/uploads/2022/08/BFB_Fakten-Grafiken_2022-08_Struktur_Erwerbstaetige.pdf (zuletzt abgerufen: 21.07.2023).
- Corning (2023). The Evolution of Resolution. www.corning.com/worldwide/en/innovation/the-glass-age/science-of-glass/the-evolution-of-resolution.html (zuletzt abgerufen: 02.08.2023).

- DATEV (2023). DATEV Voraussetzungen. <https://apps.datev.de/help-center/documents/1023983>. Zuletzt abgerufen: 26.10.2023.
- Deutsche Bundesbank (2022). Zahlungsverhalten in Deutschland 2021. Stand: Juli 2022. <https://www.bundesbank.de/resource/blob/894078/aebb75f424c02846677ba50b0501ec5e/mL/zahlungsverhalten-in-deutschland-2021-data.pdf>
- Deutscher Bundestag (2021): Beschlussempfehlung und Bericht des Ausschusses für Wirtschaft und Energie (9. Ausschuss). Bundestagsdrucksache 19/28865 vom 21.04.2021. <https://dserver.bundestag.de/btd/19/288/1928865.pdf> (zuletzt abgerufen: 17.01.2024).
- Dinnen 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.
- Drucksache 227/22 (Beschluss). Beschluss des Bundesrates, Verordnung über die Mindestanforderungen für das Recht auf Versorgung mit Telekommunikationsdiensten (TK-Mindestversorgungsverordnung - TKMV) 10.06.2022.
- Egger, A. und Rhody, A. (2022). Ergebnisse der ARD/ ZDF-Massenkommunikation Trends 2022. Dynamische Entwicklung der Bewegtbildnutzung. Media Perspektiven 9/2022.
- eGovernment Monitor (2022). Staatliche Digitalangebote – Nutzen und Akzeptierung Bürger*innen die digitale Verwaltung? Die deutschen Bundesländer, Deutschland, Österreich und die Schweiz im Vergleich
- Elektronik Kompendium (o.J.): TCP-Kommunikation, <https://www.elektronik-kompendium.de/sites/net/2009211.htm> (zuletzt abgerufen: 11.09.2023).
- Eschelbach, M. / Lorek, K. / Novotny, J. / Pietrowiak, A. / Seiler, V. (2021): Zahlungsverhalten in Deutschland 2021. Deutschen Bundesbank. Stand: Juli 2022. <https://www.bundesbank.de/resource/blob/894078/aebb75f424c02846677ba50b0501ec5e/mL/zahlungsverhalten-in-deutschland-2021-data.pdf> (zuletzt abgerufen: 07.09.2023).
- EU (2016): Review of the scope of universal service: final report, Europäische Kommission, Generaldirektion Kommunikationsnetze, Inhalte und Technologien, (2016), Publications Office, <https://data.europa.eu/doi/10.2759/777030> (zuletzt abgerufen: 16.01.2024).
- EU-Richtlinie 2018/1972 EKEK (2018): Europäischer Kodex für die elektronische Kommunikation (EKEK), Richtlinie (EU) 2018/1972 des europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 (Neufassung). Amtsblatt der Europäische Union, 17.12.2018, L321/36.
- EU-Verordnung 2017/1128 (2017): Grenzüberschreitende Portabilität von Online-Inhaltediensten im Binnenmarkt, Verordnung (EU) 2017/1128 des europäischen Parlaments und des Rates vom 14. Juni 2017. Amtsblatt der Europäische Union, 30.06.2017, L 168/1.
- Everts, T. & Hempenius, K. (2019): Page Weight, Part IV Chapter 18, date published: Nov 11, 2019, last updated: Mar 2, 2022, von Web Almanac, <https://almanac.httpar-chive.org/en/2019/page-weight>, letzter Zugriff: 16.01.2024.
- FCC (2022): Broadband Speed Guide, Federal Communications Commission, <https://www.fcc.gov/consumers/guides/broadband-speed-guide> (zuletzt abgerufen: 02.05.2023).

- Feierabend, S. / Rathgeb T. / Kheredmand, H. / Glöcker, S. (2023): KIM-Studie 2022. Kindheit, Internet, Medien. Basisuntersuchung zum Medienumgang 6- bis 13-Jähriger. In: Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest (mpfs). Stuttgart, Juni 2023.
- Flynn, Jack (2023): 20+ crucial website statistics [2023]: How company success depends on a good website, 23.02.2023, ZIPPIA, [https://www.zippia.com/advice/website-statistics/#:~:text=The%20average%20US%20internet%20user,users\)%20to%20find%20your%20website,](https://www.zippia.com/advice/website-statistics/#:~:text=The%20average%20US%20internet%20user,users)%20to%20find%20your%20website,) letzter Zugriff 16.01.2024.
- Hitzig, A. (2021): Genug Datenvolumen für alles. PC-Welt, Veröffentlicht am 10.6.2021. <https://www.pcwelt.de/article/1167521/wie-viel-datenvolumen-brauche-ich.html> (zuletzt abgerufen: 02.08.2023).
- Initiative D21 e. V. / Technische Universität München (TUM) (2022): eGovernment Monitor 2022 Staatliche Digitalangebote – Nutzen und Akzeptierung Bürger*innen die digitale Verwaltung? Die deutschen Bundesländer, Deutschland, Österreich und die Schweiz im Vergleich. Oktober 2022. ISBN: 78-3-9821601-6-0.
- ITU (2001): ITU-T G.1010 (11/2001), End-user multimedia QoS categories, SERIES G: TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA, DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS, Quality of service and performance (zuletzt abgerufen: 27.06.2023).
- Koch, W. (2022): Ergebnisse der ARD/ZDF-Onlinestudie 2022. Reichweiten von Social-Media-Plattformen und Messengern. Media Perspektiven 10/2022, 471-478.
- Kolar, S. (2023): Top-Software 2022: Die beliebtesten Downloads des Jahres. Veröffentlicht am 01.01.2023. In computerbild.de <https://www.computerbild.de/artikel/cb-Ratgeber-Software-Downloads-Diese-Gratis-Programme-laedt-Deutschland-4473835.html> (zuletzt abgerufen: 16.08.2023).
- Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation, Deutsches Institut für Erwachsenenbildung, Deutsches Jugendinstitut, Deutsches Zentrum für Hochschul- und Wissenschaftsforschung, Leibniz-Institut für Bildungsverläufe, Soziologisches Forschungsinstitut an der Universität Göttingen sowie die Statistischen Ämter des Bundes und der Länder (2022). Bildung in Deutschland 2022. Ein indikatorgestützter Bericht mit einer Analyse zum Bildungspersonal. DOI: 10.3278/6001820hw. [Bildung in Deutschland 2022 \(bildungsbericht.de\)](https://www.bildungsbericht.de) (zuletzt abgerufen: 11.08.2023).
- Magix Software (2023): Mp3 - Alles rund um das Mp3 Format, kurz und einfach erklärt. <https://www.magix.com/de/musik-bearbeiten/audioformate/mp3/> (zuletzt abgerufen: 14.08.2023).
- Maxwell T. (2015): Videos supporting 8K resolution starting to appear on YouTube. Veröffentlicht am 08.06.2015. In 9to5Google. <https://9to5google.com/2015/06/08/videos-supporting-8k-resolution-starting-to-appear-on-youtube/> (zuletzt abgerufen: 14.08.2023).
- McFadden, C. (2023): A brief timeline of YouTube's history and its impact on the internet. Aktualisiert am: Jul 06, 2023. <https://interestingengineering.com/culture/youtubes-history-and-its-impact-on-the-internet> (zuletzt abgerufen: 02.08.2023).
- Mergener (2020): Berufliche Zugänge zum Homeoffice. Ein tätigkeitsbasierter Ansatz zur Erklärung von Chancenungleichheit beim Homeofficezugang. *Köln Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie* (2020) (Suppl. 1) 72:511-534. DOI: 10.1007/s11577-020-00669-0.

- Microsoft (2021): Background Intelligent Transfer Service. Microsoft Learn. Veröffentlicht am 25.05.2021. <https://learn.microsoft.com/en-us/windows/win32/bits/background-intelligent-transfer-service-portal> (zuletzt abgerufen: 08.09.2023).
- Microsoft (2022): Remote Desktop Protocol (RDP) bandwidth requirements. Microsoft Learn. Veröffentlicht am 26.05.2022. <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/virtual-desktop/rdp-bandwidth> (zuletzt abgerufen: 02.08.2023).
- Microsoft (2023): Prepare your organization's network for Microsoft Teams. Veröffentlicht am 15.02.2023. <https://learn.microsoft.com/en-us/microsoftteams/prepare-network> (zuletzt abgerufen: 02.08.2023)
- Netflix (2023): Internet connection speed recommendations. Netflix Hilfe-Center. <https://help.netflix.com/en/node/306> (zuletzt abgerufen: 14.08.2023).
- Netflix (2023): Netflix in HD-Videoqualität streamen. Netflix Hilfe-Center. [Netflix in HD-Videoqualität streamen](#) (zuletzt abgerufen: 02.08.2023).
- Peters, F. (2022): Jede Woche ein Tag Distanzunterricht – und das hat nichts mit Corona zu tun. Welt.de. Bericht vom 18.09.2022. [Lehrermangel: Jede Woche ein Tag Distanzunterricht – und das hat nichts mit Corona zu tun - WELT](#) (zuletzt abgerufen: 11.08.2023).
- Rhody, A. (2022): Ergebnisse der ARD/ZDF-Onlinestudie 2022. Bewegtbild im Internet erreicht immer mehr Menschen. Media Perspektiven 10/2022, 487-492.
- Sarukkai, R. (2010): What's bigger than 1080p? 4K video comes to YouTube. News and Events. YouTube Official Blog. Jul. 09, 2010. <https://blog.youtube/news-and-events/whats-bigger-than-1080p-4k-video-comes/> (zuletzt abgerufen: 02.08.2023).
- Schlegel, L. (2023): ZP Europe: Die besten Jobbörsen 2022 gekürt. <https://hire.workwise.io/blog/die-besten-jobboersen-2022>. Zuletzt abgerufen: 22.09.2023
- Schmid, U. / Goertz, L. / Behrens, J. (2017): Monitor Digitale Bildung. Die Schulen im digitalen Zeitalter. Bertelsmann-Stiftung. 15.09.2017. DOI: 10.11586/2017041.
- Schröder, J. (2022): Audio-MA: Viele große Radiosender verlieren Hörer. Veröffentlicht am 30.03.2022. In MA 2022 Audio I / Meedia. <https://www.meedia.de/marktdaten-medien/blitz-analyse-der-reichweiten-2022-i-audio-ma-viele-grosse-radiosender-verlieren-hoerer-c265abf822e4fc9870de9299e62c173b> (zuletzt abgerufen: 31.07.2023).
- Schulz, S. (2021): Wieviel Datenvolumen verbraucht YouTube? Veröffentlicht am 11.06.2021, https://praxistipps.chip.de/wieviel-datenvolumen-verbraucht-youtube_51224 (zuletzt abgerufen: 17.01.2024).
- Similarweb (2023): Top Website-Ranking: Meistbesuchte Websites in Deutschland. <https://www.similarweb.com/de/top-websites/germany/> (zuletzt abgerufen: 03.03.2023).
- Skype (2023): How much bandwidth does Skype need? <https://support.skype.com/en/faq/fa1417/how-much-bandwidth-does-skype-need> (zuletzt abgerufen: 14.08.2023).
- Spotify (2023): Audioqualität. <https://support.spotify.com/de/article/audio-quality/> (zuletzt abgerufen: 14.08.2023).
- Stadt Köln (2023): Bürgertelefon. <https://www.stadt-koeln.de/artikel/71241/index.html> (zuletzt abgerufen: 01.08.2023).

- Stadt Nürnberg (2020/21): Distanzunterricht – was ist das? [Was bedeutet Distanzunterricht? \(nuernberg.de\)](https://www.nuernberg.de) (zuletzt besucht: 11.08.2023).
- Statista (2022a): Bei welchem Geldinstitut haben Sie Ihr hauptsächlich genutztes Bankkonto? [Abbildung]. In Statista <https://de.statista.com/prognosen/999886/deutschland-beliebteste-geldinstitute-fuer-das-privatkonto> (zuletzt abgerufen: 08.03.2023).
- Statista (2022b): Beliebteste soziale Netzwerke in Deutschland im Jahr 2022 [Abbildung]. In Statista <https://de.statista.com/prognosen/999733/deutschland-beliebteste-soziale-netzwerke> (zuletzt abgerufen: 07.03.2023).
- Statista (2022c): Beliebteste Suchmaschinen in Deutschland im Jahr 2022 [Abbildung]. In Statista <https://de.statista.com/prognosen/999767/deutschland-beliebteste-suchmaschinen> (zuletzt abgerufen: 08.03.2023).
- Statista / Arbeitsgemeinschaft Verbrauchs- und Medienanalyse (VuMA) (2021): Anzahl der Personen in Deutschland, die das Internet für Online-Spiele nutzen, nach Häufigkeit von 2019 bis 2021 (in Millionen) [Abbildung]. In Statista. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/183136/umfrage/online-spiele-internetnutzung/> (zuletzt abgerufen: 31.07.2023).
- Statista / Bitkom Research (2022): Welche Kanäle für die interne und externe Kommunikation nutzt Ihr Unternehmen? [Abbildung]. In Statista. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1319453/umfrage/umfrage-zu-kommunikations-kanaelen-von-unternehmen/> (zuletzt abgerufen: 24.07.2023).
- Statista / Bundesverband der Freien Berufe. (2022): Anzahl der Selbstständigen in freien Berufen in Deutschland nach Berufen im Jahr 2022 [Abbildung]. In Statista. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/158667/umfrage/freie-berufe-selbststaendige-2010/> (zuletzt abgerufen: 21.07.2023).
- Statista / Convios Consulting (2022): Bei welchem Anbieter haben Sie Ihre am häufigsten genutzte E-Mail-Adresse? [Abbildung]. In Statista <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/170371/umfrage/nutzung-von-e-mail-domains/> (zuletzt abgerufen: 25.08.2023).
- Statista / CyberDirekt (2022): Welche Sicherheitsmaßnahmen ergreifen Sie für Ihre Mitarbeitenden im Home-Office? [Abbildung]. In Statista. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1311274/umfrage/umfrage-zu-den-leistungen-einer-cyber-versicherung/> (zuletzt abgerufen: 24.07.2023).
- Statista / faktenkontor.de (2022): Anteil der befragten Internetnutzer, die folgende soziale Netzwerke nutzen, in Deutschland im Jahr 2021/22 [Abbildung]. In Statista. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1026109/umfrage/beliebteste-soziale-netzwerke-in-deutschland/> (zuletzt abgerufen: 08.03.2023).
- Statista / IVW (2023): Anzahl der Visits der Nachrichtenportale in Deutschland im Januar 2023 [Abbildung]. In Statista <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/154154/umfrage/anzahl-der-visits-vonnachrichtenportalen/> (zuletzt abgerufen: 07.03.2023).
- Statista / krankenkasse.de (2022): Größte gesetzliche Krankenkassen in Deutschland nach der Versichertenzahl im Jahr 2022 [Abbildung]. In Statista. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/856392/umfrage/groesste-gesetzliche-krankenkassen-in-deutschland-nach-der-versichertenzahl/> (zuletzt abgerufen: 03.03.2023).

- Statista / monster (2018): Anteil der Kandidaten, die folgende soziale Netzwerke für die Vernetzung mit Unternehmen nutzen, in Deutschland im Jahr 2018 [Abbildung]. In Statista. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/528165/umfrage/social-networks-nutzung-fuer-die-vernetzung-mit-unternehmen-in-deutschland/> (zuletzt abgerufen: 22.09.2023).
- Statista / softgarden e-recruiting GmbH (2020): Wo haben Sie die Suche nach dem Job gestartet, auf den Sie sich gerade beworben haben? [Abbildung]. In Statista. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1176295/umfrage/erste-anlaufpunkte-bei-der-jobsuche/> (zuletzt abgerufen: 22.09.2023).
- Statista / Uni Bamberg (2019): Anteil der Kandidaten, die folgende soziale Netzwerke für die Vernetzung mit Unternehmen nutzen, in Deutschland im Jahr 2018 [Abbildung]. In Statista <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/528165/umfrage/social-networks-nutzung-fuer-die-vernetzung-mit-unternehmen-in-deutschland/> (zuletzt abgerufen: 07.09.2023).
- Statistisches Bundesamt, Destatis (2020a): Personen, die das Internet im 1. Quartal genutzt haben: Deutschland, Früheres Bundesgebiet/Neue Länder, Jahre (bis 2020), Nutzung des Internet (Code: 12231-9005) [Datensatz]. Stand: 02.03.2023.
- Statistisches Bundesamt, Destatis (2020b): Rund eine halbe Million Selbständige in Kulturberufen. Pressemitteilung Nr. 145 vom 22. April 2020. https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2020/04/PD20_145_216.html (zuletzt abgerufen 24.07.2023).
- Statistisches Bundesamt, Destatis (2022a): IKT-Nutzung in privaten Haushalten, Priv. Internetaktivitäten i.d. letzten drei Monaten, Bevölkerung von 16-u75 J. in Hauptwohnsitzhaushalten (Code: 12231-0001) [Datensatz]. Stand: 17.03.2023.
- Statistisches Bundesamt, Destatis (2022b): Zahl der Woche Nr. 24 vom 14. Juni 2022. Ein Viertel aller Erwerbstätigen arbeitete 2021 im Homeoffice. [https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Zahl-der-Woche/2022/PD22_24_p002.html#:~:text=24%20vom%2014.,Statistische%20Bundesamt%20\(Destatis\)%20mitteilt](https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Zahl-der-Woche/2022/PD22_24_p002.html#:~:text=24%20vom%2014.,Statistische%20Bundesamt%20(Destatis)%20mitteilt) (zuletzt abgerufen 24.07.2023).
- Statistisches Bundesamt, Destatis (2022c): Beschäftigte in Deutschland nach Berufsgruppen 2022 am 30. Juni 2022 (in 1.000; sozialversicherungspflichtig und geringfügig Beschäftigte) (Code: 1099494) [Datensatz]. Stand: 13.03.2023.
- Statistisches Bundesamt, Destatis (2023a): Erwerbstätigkeit 2022 auf höchstem Stand seit der deutschen Vereinigung. Pressemitteilung Nr. 001 vom 2. Januar 2023. https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2023/01/PD23_001_13321.html (zuletzt abgerufen 22.09.2023).
- Statistisches Bundesamt (Destatis) (2023 a). Ein Viertel aller Erwerbstätigen arbeitete 2021 im Homeoffice, Zahl der Woche Nr. 24 vom 14. Juni 2022, [https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Zahl-der-Woche/2022/PD22_24_p002.html#:~:text=24%20vom%2014.,Statistische%20Bundesamt%20\(Destatis\)%20mitteilt](https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Zahl-der-Woche/2022/PD22_24_p002.html#:~:text=24%20vom%2014.,Statistische%20Bundesamt%20(Destatis)%20mitteilt). Zuletzt abgerufen: 24.07.2023
- Statistisches Bundesamt, Destatis (2023b). Erwerbstätige, die von zu Hause aus arbeiten - Statistisches Bundesamt (destatis.de). <https://www.destatis.de/DE/Themen/Arbeit/Arbeitsmarkt/Qualitaet-Arbeit/Dimension-3/home-office.html> (zuletzt abgerufen: 24.07.2023).

- Statistisches Bundesamt (Destatis) (2023 c). Erwerbstätigkeit 2022 auf höchstem Stand seit der deutschen Vereinigung. Pressemitteilung Nr. 001 vom 2. Januar 2023, https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2023/01/PD23_001_13321.html. Zuletzt abgerufen: 22.09.2023.
- Statistisches Bundesamt, Destatis (2021): Haushaltsmitglieder in Hauptwohnsitzhaushalten für das Jahr 2021 (Code 12211-0302) [Datensatz]. Mikrozensus. Stand: 17.03.2023.
- Südwestrundfunk, SWR3 (2021): SWR3 über das Internet empfangen. Veröffentlicht am 18.8.2021. <https://www.swr3.de/musik/webradio/swr3-ueber-das-internet-empfangen-100.html> (zuletzt abgerufen: 14.08.2023).
- Technischen Universität Braunschweig (2019): Wie groß wird eine Bilddatei bei welcher Auflösung? <https://otrs.rz.tu-bs.de/external/knowledge-base/article/1146> (zuletzt abgerufen 17.01.2024).
- The Tech Rover (2023): What 8K content is available in 2023? Veröffentlicht am 22.02.2023. <https://thetechrover.com/what-8k-content-is-available-in-2023/> (zuletzt abgerufen: 14.08.2023).
- Von Oehsen, D. (2022): Ergebnisse der ARD/ZDF-Onlinestudie 2022. Lineare und non-lineare Audionutzung im Internet nehmen weiter zu. Media Perspektiven 10/2022, 479-486. Media Perspektiven 10/2022, 479-486.
- Westdeutscher Rundfunk Köln (2017): HTTP-Streams der WDR-Radios. Stand: 17.11.2017. <https://www1.wdr.de/unternehmen/der-wdr/dialog/digitalradio/streams-100.html> (zuletzt abgerufen: 14.08.2023).
- Wieruch, L. (2021): Die perfekte Videolänge für jeden Einsatzzweck & Kanal. Veröffentlicht am 26. Juli 2021, <https://blog.mynd.com/de/perfekte-videolaenge-einsatzort/> (zuletzt abgerufen: 17.01.2024).
- wik-zafaco-Gutachten (2021): „Mindestanforderungen Internetzugangsdienst“, Gutachten im Auftrag der Bundesnetzagentur, Kulenkampff, G. / Hackbarth, K. / Ockenfels, M. / Plückebaum / T., Portugall / O., Schwarz-Schilling / C., Sudhues, C. / Zuloaga, G., unter Mitarbeit von Hubner, J. & Kiesewetter, W., Gutachten abrufbar auf der Internetseite der Bundesnetzagentur: <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/Telekommunikation/Grundversorgung/start.html>.
- wik-zafaco-Gutachten (2023): Qualitätsparameter, Gutachten für die Bundesnetzagentur, Kulenkampff, G. / Hackbarth, K. / Ott, J. / Plückebaum, T. / Portugall, O. und unter Mitarbeit von Ockenfels, M., Bad Honnef, Dezember 2023, https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Grundversorgung/Gutachten_WIK_zafaco_Qualit%C3%A4tsparameter%20-%20Vorabfassung.pdf?__blob=publicationFile&v=3
- YouTube (2022): Untertitel hinzufügen. YouTube-Hilfe. <https://support.google.com/youtube/answer/2734796#create> (zuletzt abgerufen: 29.11.2022).

YouTube (2023): Audioqualität auswählen oder ändern. YouTube Music-Hilfe. <https://support.google.com/youtubemusic/answer/9076559?hl=de#zippy=%2CAudioqualit%C3%A4t-%C3%BCber-wlan%2CAudioqualit%C3%A4t-%C3%BCber-mobilfunknetz>
<https://support.google.com/youtube/answer/78358?hl=de&sjid=15421854092820543255-EU>(zuletzt abgerufen: 14.08.2023).

YouTube (2023): Systemanforderungen und von YouTube unterstützte Geräte. YouTube-Hilfe. <https://support.google.com/youtube/answer/78358?hl=de&sjid=15421854092820543255-EU> (zuletzt abgerufen: 14.08.2023).

Yu, J. und Al Ajarmeh, I.H. (2007): Call Admission Control and Traffic Engineering of VoIP. Conference Paper August 2007. DOI: 10.1109/ICDT.2007.44.

Zoom (2023): Zoom system requirements: Windows, macOS, Linux. Zoom-Suport. Zuletzt aktualisiert: 17.02.2023. <https://support.zoom.us/hc/en-us/articles/201362023-System-requirements-for-Windows-macOS-and-Linux> (zuletzt abgerufen: 02.08.2023).