

0 B		Versio	n		1	HL					T	os										1	Total	Ler	ngth						
4 B						ŀ	denti	ficatio	on							RES	8	190						Fraç	gmer	nt Of	fset				
8B				ΠL	П						Pro	otoco	ol		П	Т						Hea	der	Che	cksu	ım					Т
12 B														Si	ourc	e Adı	dress										Т		Т		Т
16B					П									Des	tinat	ion A	ddre	ss					П								Т
20 B													Opt	ions	/Pa	ddin	g (op	tion	al)												
	_	<u></u>	_	~	^	_	_	~	~	~	$\sim$	~	$\overline{}$			~~ ade	~	_	_	_~	_	_	_	_	$\sim$	^	~	~	~	_	
													"																		
	0	1 2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20 2	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
0 B		Version	n			Т	raffic	Clas	s											Flo	w L	abe									
4 B						Pa	yloac	Leng	gth										Nex	t Head	ier						Нор	Limit	-		
8B	¥													So	urce	Addı	ress														
24 B	Ţ				П									Desti	natio	on Ac	dres	s									Г				
40 B													Exte	nsior	He	aders	(opt	iona	I)												_
	h	~	~	~	$\overline{}$	_	~	_	_	V	~	~	$\overline{}$	_	<u></u>	~		_	_	_	~	_	^	_	$\overline{}$	_	^	_	~	_	_
													//	PV6	He	ade	er														
	0	1 2	3	4	5	6	7	8 9	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20 2	1 2	2	23	24	25	26	27	28	29	30	31
0В		Ne	ext H	eade	r			Н	lead	ier E	xten:	sion	Leng	gth						Frag	gme	nt O	ffset						Rese	rved	M F
4B														lde	entifi	catio	n														
8B											ad	lditic	nal e	exter	sion	hea	ders	(opt	ional	)											
L	_	$\sim$		_	~	$\overline{}$	_	$\sim$	^	_		_	_	~	^	_		_	$\overline{}$	~~	~		<u> </u>	~	_		~		_		~
											IP	°v6	Fra	gme	enta	atior	1 Не	ead	er												

No/NH	Protocol	No/NH	Protocol
0x01	ICMP (Internet Control Management)	0x29	IPv6 encapsulation
0x04	IPv4 encapsulation	0x2f	GRE (General Routing Encapsulation)
0x06	TCP (Transmission Control)	0x3a	ICMPv6 (ICMP for IPv6)
0x11	UDP (User Datagram)	0x84	SCTP (Stream Control Transmission)

TCP/	TCP/UDP Header und ausgeählte well-known Ports																															
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
0 B							5	Sourc	ce Po	ort													Des	stina	tion I	Port						
4 B															Sec	uenc	e Nu	mbe	r													
8B										П				Ack	now	ledge	emer	t Nu	mbe													
12 B		Off	set				Res	erved	d		URG	ACK	PSH	RST	SYN	E N								Win	dow							
16B								Chec	cksur	n		Г		Г		Т							Ur	gent	Poir	iter						
20 B													Op	tions	(O c	r mo	re m	ultiple	es of	4 B)												
	<b>ا</b>	7		_	~	$\overline{}$	_	~	_	~	~	$\sim$	~	$\overline{}$	<u></u>	~	⊸r ade	_	_	_	_	$\sim$	_	_	7	$\overline{}$	_	^	_	<u> </u>	_	
١.														- / 1	UP	пеа	aue															
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
0B							S	ourc	e Po	rt													Des	tinat	ion F	ort						
4B								Len	gth														C	Chec	ksun	n						
														U	DP	He	ade	r														
								Po	rt		Se	rvic	e N	lam	е	-	Р	ort		Se	rvi	ce l	Nan	ne	-							

68

80 http

110

443

546

547

bootpc

pop3

https

dhcpv6-client

dhcpv6-server

20/21

22 23 25

53

67

ftp ssh

telnet

smtp

bootps

domain (dns)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11 13	2 .	13 14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	31
	Т		П	На	ırdwa	are T	ype:	0×06	01 (l	Ether	net)	T		П		Т		Т		Prot	ocol	Туре	: 0x0	800	(IPv4	)		П	ī
	H	lardw	are .	Addr.	Len	gth			F	roto	col Addr	. Le	ngth					Оре	eratio	n: 0x	0001	(Rec	quest	t) or	0x004	02 (R	eply	)	
	Г		Г		П		П		П			S	ender	Hard	ware	Add	iress												
	L		L		L		L		L			L			L	L		L		Sei	nder	Proto	ocol.	Addı	ress			L	
_	Н		Н	Send	der P	roto	col A	Addre	iss (d	conti	ntued)	,	arget	Hard		Add	roce												
_	Н	-	Н		Н		Н		Н		-		Target	_		_		Н		Н		Н		Н		Н		Н	
_												_	P Pa			_													
<b>v</b> 4															-														_
,,																													
)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11 12	1	3 14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	3
			Ту	ре							Code											Chec							
							lden	tifier													Sequ	ence	e Nur	mbei	r				
_	~	_	_			_		_	_	٦,	~~	_	\	ata (	≥0E	3)	_			~	_	_	_	_	_	~	_	۸_	_
											ICMP	v4	Echo	Re	que	st/l	Рер	ly											
)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11 12	1	3 14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	3
			Ту	ре							Code										(	Chec	ksun	n					
														unu															
	_	_	_	_	_ /	_	_	_	_	^ '	IP Head	er +	first 8	B of	origi	nal c	data	data	gram	. ^	_	~	_	_	_	~	_	_	
		_			~					_	ICI	ЛP	v4 Ti	me .	Exc	eed	led		-	-									
																		10	20	21	00	00							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11 12	1	3 14	15	16	17							24	25	26	27	28		3
-	1	2	3 Ty	4 pe	5	6	7	8	9	10	11 12 Code	1	3 14	15	16	17	18	19			_	Chec	_	_	26	27	28	29	3
_	1	2		_	5	6	7	8	9	10		1	3 14	15 unu		17	18	19			_	_	_	_	26	27	28	29	3
0	1	2		_	5	6	7	8	9			H	first 8	unu B of	sed origi						_	_	_	_	26	27	28	29	3
	1	2		_	5	6	7	8	9	~	Code	er +	first 8	unu B of	sed origi	nal o	data	data	gram		_	_	_	_	26	27	28	29	3
_	Typ			_	5	6	7	8	9	~	Code IP Head	er +	first 8	unu B of	sed origi	nal d	iata acha	data	gram		_	_	_	_	26	27	28	~	3
	1 ~ Typ		Ту	pe ~	_	6	7	8	9	~	Code IP Head	er +	first 8	unu BB of atio	sed origi	nal o	acha	data	gram		_	_	_	_	26	27	28	29	3
	0 –	e Ec	ho l	pe ~	_	6	7	8	9	~	Code IP Head	er +	estin	atio	sed origi n Ui scri	nal o	acha	data	gram		_	_	_	_	26	27	28	29	3
	0 –	oe e	ho l	pe ~	_	6	7	8	9	~	Code IP Head	er +	estin	unu BB of ation	sed origi n Ui scri	nal conrections	acha	able	gram			Chec	ksun	~	26	27	28	29	3
	0 –	e Ec	ho l	pe ~	_	6	7	8	9	~	Code IP Head	er +	estin	unu BB of  ation  De Ec Re	sed origin Ui	nnal di nrea	acha	able	gram	k ui	nrea	_	ksun	~	26	27	28	29	3
	0 –	e Ec	ho l	pe ~	_	6	7	8	9	~	Code IP Head	er +	estin	De Ec De De De De	sed origin United Secritarians	nnal contraction in the contract	acha	netv	wor t ur	k ui	nreacha	ach	abli e iabl	e	26	27	28	~	3
	0 –	e Ec	ho l	pe ~	_	6	7	8	9	~	Code IP Head	er +	de 0 1 2 3	De Ec De De De De	sed origin Un Scrii	nnal conrections at its action	acha	netv	gram e wor tt ur tocc	k ui	nreacha	ach able ach	aable e aable e	e e		~	28	29	3
	0 –	e Ec	ho l	pe ~	_	6	7	8	9	~	Code IP Head	er +	estin	De Ec De De De Fra	sed origin Un Scrii	nnal connrections of the contrections of the contrection of the contraction of the contrection of the contrection of the contraction of the contraction of the contr	on ly	netv nos prof	wor t ur tocc t ur requ	k un nrea ol un rea uire	nreacha	ach	aable e aable e	e e		~	28	29	3
	0 –	e Ec	ho l	pe ~	_	6	7	8	9	~	Code IP Head	er +	0 0 1 2 3 4 5 6	De Ec De De Fra So De	sed origin Union Union Union Union Union Series stimus sti	iptio	acha	netvonos proficion in extra facilitation de fa	wor tt ur tocc t ur requi	k ui nrea ol ui irea uire	nreacha nreacha acha d, a	ach able ach able and	able pable DF	e e		~	28	29	3
	0 – 1 a	e Ec	ho l	Rep	bly					~	Code IP Head	er +	0 0 0 1 2 3 4 5 6 7	De Ec De De De Fra So De	sed origin Union Union Union Union Scriin Stinn	nnal control of the c	acha on ly on pon pon pon pon pon pon pon pon pon p	netvosorolo or inetvosorolo or	workt urrequiled workt urrett urrequiled	k ui nrea uirea uire k ui	nreacha nreacha acha d, a	ach able ach able and	able pable DF	e e		~	28	29	3
	0 – 1 a	e Eco	ho l	Rep	bly					~	Code IP Head	er +	0 0 1 2 3 4 5 6	De De De De So	sed origin Under Scrip Stin stin stin stin stin stin urce	nnal contrete interest in the contrete in the	data on ly	netvosorion in esta	wor t ur tocc t ur requiled wor t ur	k un nrea uire k un hkno	nrea acha nrea acha d, a	ach able ach able and	abli e labli e DF	e e	ag s	~	28	29	3
	0 – 1 a	e Eco	ho l	Rep	bly					~	Code IP Head	er +	0 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	De Ec De De Fra So De De So Ne Ho	sed original series stin stin stin stin stin stin stin sti	nal conrections at its interest of the contrection	data con ly de la con le con l	netvos proficion retros proficion retros iso ninii	gram workt ur tockt ur requiled workt ur tlate	k un nrea ol un rea uire k un hkno ed	nreacha acha acha acha acha acha acha acha	ach able ach able and own	able place of the	e e	ag s	~	28	29	3
	0 – 1 a	e Eco	ho l	Rep	bly					~	Code IP Head	er +	0 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11	De Ec De De Fra So De De So Ne Ho Ne	sed original vision of the ser stime	nal conrections at its interest of the contrection	on ly on properties on the control of the control o	metrosorion retrosorion retrosorio retr	wort urrequired work turillate	k un nrea uire k un hkno ed tive	nreachachachachachachachachachachachachacha	ach able ach able and own prob hibit	able place of the	e e	ag s	~	28	29	3
	0 – 1 a	e Eco	ho l	Rep	bly					~	Code IP Head	er +	0 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	De De De Soo Ne Ho Ne Ho	sed original vision of the ser of	nal control	data acha	metunos proficion in inchination in	wor toccut ur requiled wor t ur late	k un nrea bl un rea uire k un hkno ed ative	nreachanneacha ad, a short and	ach able ach able and own prob nibit TOS	aable plaable DF	e e e ted	ag s	et		29	3
	0 – 1 a	e Eco	ho l	Rep	bly					~	Code IP Head	er +	0 0 1 2 3 4 4 5 6 6 7 8 9 10 11 12 13 14	De Ec De De Fra So De Ho Ne Ho Co Ho	sed original variation of the series of the	iptic replication actio	on ly on pontation in initiation initi	metunos proficion references isonences istra eaco habition	worreture ture ture ture ture ture ture tu	k un nrea bl un rea uire k un hkno ed ative or min /iola	nreachanneachachachachachachachachachachachachacha	ach able ach able and prob tros s rativ	aable plaable DF	e e e ted	ag s	et		29	3
	0 – 1 a	De De	ho l	Rep	oly on U	Jnre				~	Code IP Head	er +	0 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15	De Ec De De Fra So De So Ne Ho Ne Ho Co Pre	sed original variation of the series stime	iptione in the control of the contro	on ly on room ly on loom ly on	data able able port on responsion ison istra eachab	workt urttocctt urrequiiled workt urtlate istrative bhall i addice \ toff	k un nrea uire k un rea dative dative oly p ole for	nreachachachachachachachachachachachachacha	ach able ach able and own probable rative	dable able by DF	e e e fla	ag s	et		29	3
	0 – 1 a	e Eco	ho l	Rep	oly on U	Jnre				~	Code IP Head	er +	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 0	De Ec De De De Fra So De Ho Ne Ho Co Ho So	sed origin Un scribbon stin stin stin stin stin urco stin stin urco st at two st at two st urco st urco	nal control	on ly on pon pon pon pon pon pon pon pon pon	metunos proficion initiativamente isominiativame	wortt urrequiled wortt urrelate strative challed to continue to co	k un hrea bl un rea duire k un kno ed attive dity pole min /iola in e	nreachannes achannes	ach able ach nibit TOS Serativen ct on c	abli e iabli e DF n hibi	e e e fla	ohik	et		29	3
	0 – 1 a	De De	ho l	Rep	oly on U	Jnre				~	Code IP Head	er +	0 0 1 2 3 4 4 5 6 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 0 0	De Ecc De De De De So Ne Ho Co Ho Pre So Re	sed origing scripe of the service of	iptio	on ly on pon pon pon pon pon pon pon pon pon	metunos por la fainetunos iso ninii eace habiion enceut	wortt urttocct urtturellate strative challed cot (co	k un hrea bil un rea uire k un rea duire k un rea duire k un rea duire k un rea duire min for	nreachann	ach able ach ibit TOS active on ce	able e lable by able b	e e e fla	ohik	et		29	3
	0 - 1 a	De De	ho l	Representation e Q	oly uer	Jnre	eac			~	Code IP Head	er +	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 0	De Ec De De De Fra So De Ho Ne Ho Go Ho Re Re	sed origing scripe stimus stim	nal control of the process of the pr	Date Date	nettenos proficion in inchination cut agrical	workt urrequiled workt urrequiled strative strative (co	k unreaduire k unr	nreachann	ach able ach nibit TOS Serativen ct on c	able e lable DF n hibited S vely con etwo ost	e e e fla	ng s	et	d	29	3
	0 - 1 a	De Ecland :	ho l	Representation e Q	oly uer	Jnre	eac			~	Code IP Head	er +	0 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 0 0 1	De De De De So Ne Ho Co Ho Co Re Re Re Re Re	sed original series of the ser	iption representation in the representation	Date Date	nettonos isonini istra eachabion encut	workt urrequiled workt urrelate strative challed in addice \ (co	k unreaduire k unreaduire k unreaduire k unreaduire k unreaduire for in in enge for	nreachann	ach able ach able and probable are to ach able and ach able ach	aable plaable DF	e e e trol ork & n	ophib	et	d	29	3
	0 - 1 a 3 - 5 -	De Ecland :	ho l	Rep	on U	Jnre	eac			~	Code IP Head	er +	0 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 0 0 1 2	De Ec De De Fra So De De Ho Ne Ho Co Ho Pre Re Re Re Re	sed original series of the ser	iptione in the control of the contro	data on ly	nettonos profesor i son initiatra eaconimiento cut agricaggia agricaggia agricaggia agricaggia en cutono cu	workt urrequiled workt urrelate strative challed in addice \ (co	k unreaduire k unreaduire k unreaduire k unreaduire k unreaduire for in in enge for	nreachann	ach able ach able ach nibit TOS Serative on cet	aable plaable DF	e e e trol ork & n	ophib	et	d	29	3
	0 - 1 a 3 - 5 - 8 -	De Ecl nd :	ho l	Representation of the second s	uer Mes	Jnre	eac			~	Code IP Head	er +	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 111 112 113 114 115 0 0 1 2 3	De Ec De De De De So Ne Ho Ne Ho So Re Re Re Re Re Ec TT	sed original vision original v	iption reprinted in a tion	data acha acha acha acha acha acha acha a	nettonos profesor in encut in	wort urrequiled worth urrequiled worth urrequiled worth urrequiled worth urrequiled worth urremark tive strain (co	k uninreaduire k uninreaduire k uninknoed attive ed attive ed for for for for for sit	nreachann	ach able ach able ach nibit TOS Serative on cet	dable plable DF n hibited S vely contestwo	e e e flatted trol ork & n	op setwood	et	d	29	

Ausgewählte ICMPv4 Types/Codes

# ICMPv6

24 B

28 B 32 B

Hinweis: Die folgenden ICMPv6 Nachrichten sind mit ihren ICMPv4-Pendants identisch:

- Echo Request/Reqply
- Destination UnreachableTime Exceeded

Es gelten jedoch die für ICMPv6 Types/Codes (s. unten) sowie die Restriktionen hinsichtläch der minimalen Länge bzw. des Alignments (Padding).



# 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 Type Code Checksum R S 0 Reserved (set to zero) Target Address

Target Link Address

Flags: R = Router, S = Solicited, 0 = Override

Option Type = 0x02

Neighbor Advertisement

Additional Options

Option Length = 0x01

reserved  No route to destination  Communication administratively prohibited  Beyond scope of source address  Address unreachable  Port unreachable  Source address failed ingress/egress policy  Reject route to destination  Error in source routing header
Communication administratively prohibited Beyond scope of source address Address unreachable Port unreachable Source address failed ingress/egress policy Reject route to destination
Beyond scope of source address Address unreachable Port unreachable Source address failed ingress/egress policy Reject route to destination
Address unreachable Port unreachable Source address failed ingress/egress policy Reject route to destination
Port unreachable Source address failed ingress/egress policy Reject route to destination
Source address failed ingress/egress policy Reject route to destination
Reject route to destination
Error in source routing header
Hop limit exceeded in transit
ragment reassembly time exceeded
Neighbor Discovery Protocol (NDP)
veignbur Discovery Frotocol (IVDF)

#### Physikalische Schicht

#### Physikalische Konstanten/Zusammenhänge:

 $c_I \approx 3 \cdot 10^8 \, \text{m/s}$ Lichtgeschwindigkeit: Relative Ausbreitungsgeschwindigkeit in Cu:  $\nu = 2/3$ 

Relative Ausbreitungsgeschwindigkeit in Lichtwellenleiter:  $\nu$  = 0.9 Wellenlänge:

Informationsgehalt und Entropie: Gedächtnislose Quelle emittiert Zeichen  $x \in \mathcal{X}$ , ausgedrückt durch ZV X sei:

$$\begin{split} & \text{Informationsgehalt von } x \in \mathcal{X} \colon \quad \textit{I(x)} = -\log_2\left(\Pr[X = x]\right) \\ & \text{Entropie der Quelle:} \quad \textit{H(X)} = -\sum \Pr[X = x]\log_2\left(\Pr[X = x]\right) \end{split}$$

Fourierreihe: Kreisfrequenz  $\omega = 2\pi/T$ 

$$s(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \cos(k\omega t) + b_k \sin(k\omega t) \quad \text{mit } a_k = \int_{-T/2}^{T/2} s(t) \cos(k\omega t) \, \mathrm{dt}, \ b_k = \int_{-T/2}^{T/2} s(t) \sin(k\omega t) \, \mathrm{dt}.$$

Fouriertransformation:  $s(t) \hookrightarrow S(t)$ ,  $\omega = 2\pi t$  bzw.  $\omega = 2\pi / T$ , falls normiert auf Periode eines Grundimpulses.  $S(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} s(t)e^{j\omega t} dt = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} s(t)\cos(\omega t) - j\sin(\omega t) dt.$ 

#### Abtastung, Quantisierung und Rekonstruktion:

Abtasttheorem (Nyquist):  $f_N = 2B$  (B ist die einseitige Grenzfrequenz im Basisband)

 $\text{Abgetastetes Signal:} \qquad \hat{\mathbf{s}}(t) = \mathbf{s}(t) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta[t-nT_a], \text{ mit } \delta[t-nT_a] = \begin{cases} 1 & \text{für } t=nT_a \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$ 

Abtastwerte:

 $\Delta = \frac{b-1}{M}$ , mit  $M = 2^N$  Stufen bei N bit Genauigkeit Stufenbreite: Quantisierungsstufen:  $Q = \{a + \Delta/4, a + \Delta(1 + 1/4), \dots, a + \Delta(M - 1 + 1/4)\}$ 

 $\mathbb{R} \to Q$ ,  $\hat{s}[n] \mapsto \overline{s}[n]$  (Runden)

 $\begin{aligned} & \text{Quantisiertes Signal:} & & \overline{s}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \underline{s}[n] \cdot \text{rect}(t-nT_a), \ \text{rect}(t) = \begin{cases} 1 & \text{für } -T_a/2 \le t \le T_a/2 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \\ & \text{Quantisierungsfehler:} & & q_e(t) = \underline{s}(t) - \overline{s}(t) \le \Delta/2, \ \text{wenn } a \le \underline{s}(t) \le b \end{aligned}$ 

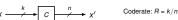
 $s(t) \approx \sum_{n=0}^{\infty} \hat{s}[n] \cdot \text{sinc}\left(\frac{t - nT_a}{T_a}\right), \text{ sinc}(t) = \frac{\sin(\pi t)}{\pi t}$ Rekonstruktion

Kanalbandbreite: C<sub>max</sub> ist eine obere Schranke für die erzielbare Netto-Datenrate in bit/second, d.h. Übertragung redundanzfreier Daten. Dazu kann es notwendig sein. Redundanz hinzuzufügen (Kanalkodierung), was jedoch am Informationsgehalt der Nachricht nichts ändert.

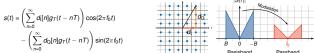
Hartley:  $C_H = 2B \log_2(M)$  (B = einseitige Grenzfrequenz im Basisband) Shannon/Hartley  $C_S = B' \log_2(1 + SNR)$  (B' = Bandbreite im Passband, d.h. B' = 2B)

 $=\frac{P_S}{P_N} = \frac{\text{Signalleistung}}{\text{Rauschleistung}}$ Signal-to-Noise Ratio: Signal-to-Noise Ratio dB: SNR dB = 10 log<sub>10</sub>(SNR) dB Obere Schranke:  $C < \min\{C_H, C_S\}$ 

Kanalkodierung: Beispiel Blockcodes: Block der Länge k bit wird n bit lange Kanalwörter abgebildet (n > k). Pro Kanalwort können dafür (je nach Code) m < n - k bit korrigiert werden.



# Modulation:



# Sicherungsschicht und Graphen

# Serialisierungszeit, Ausbreitungsverzögerung, Übertragungszeit, Bandbreitenverzögerungsprodukt

Serialisierungszeit:  $t_c = L/r$ Ausbreitungsverzögerung:  $t_0 = d/(\nu c)$ Übertragungszeit:  $t_d = t_c + t_d$ Bandbreitenverzögerungsprodukt:  $C = t_D r$ 

Cyclic Redundancy Check (CRC): Addition = XOR

Checksumme:  $c(x) = m(x)x^n \mod r(x)$ , mit  $n = \operatorname{grad} r(x)$ Gesendete Nachricht:  $s(x) = m(x)x^n + c(x)$ 

Überprüfung:  $c'(x) = (s(x) + e(x)) \mod r(x)$ , mit Fehlermuster e(x)

#### Adjazenz- und Distanzmatrix:

min-plus-Produkt: 
$$\mathbf{D}^n = \mathbf{D}^{n-1} \otimes \mathbf{D}$$
, mit  $d_{ij}^n = \min_{k \in \mathcal{M}} \left\{ d_{ik}^{n-1} + d_{kj} \right\}$ ,  $n \geq 1$ 

#### Vermittlungsschicht

Vermittlungsarten: Übertragungszeit einer Nachricht der Länge der L über n Zwischenstationen mit jeweils identischer Datenrate r über die Gesamtdistanz d:

Leitungsvermittlung:  $T_{LV} = t_s + 4t_p = \frac{L}{r} + \frac{4d}{v_C}$ 

Nachrichtenvermittlung:  $T_{NV} = (n+1)t_s + t_p = (n+1)\frac{L_H + L}{L_T} + \frac{d}{L_T}$ ,  $L_H = L$ änge des Nachrichtenheaders

Packetvermittlung:  $T_{\text{PV}} = \frac{1}{r} \left( \left\lceil \frac{L}{\rho_{\text{max}}} \right\rceil L_h + L + n(L_h + \rho_{\text{max}}) \right) + \frac{d}{\nu_c}, \ L_h = \text{Länge der Paketheader}$ 

**Round Trip Time (RTT):** RTT zwischen den Knoten  $s, t \in \mathcal{N}$  über den Pfad  $\mathcal{P} = \{(s, 1), (1, 2), ..., (n, t)\}$ 

$$\begin{split} & \text{RTT (aligemein):} & \text{RTT(s, t)} = \sum_{(i,j) \in \mathcal{P}} \left( t_b(i,j) + t_p(i,j) \right) + \sum_{(i,j) \in \mathcal{P}} \left( t_b(j,i) + t_p(j,i) \right) \\ & \text{RTT (symmetrische Pfade): RTT(s, t)} = 2 \sum_{(i,j) \in \mathcal{P}} \left( t_b(i,j) + t_p(i,j) \right) \end{split}$$

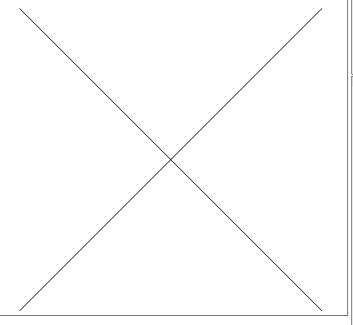
#### Spezielle IP-Adressen/Adressbereiche:

Funktion	Adressbereich	Funktion
Hosts in diesem Netzwerk	::/128	nicht-spezifizierte Adresse
Loopback, speziell 127.0.0.1	::1/128	Loopback
	fe80::/10	Link-Local Adressen
private Adressen	fc00::/7	Unique-Local Unicast Adressen
	ff00::/8	Multicast Adressen
Automatic Private IP Addressing	ff02::1/128 ff02::1-ff00/104	All Nodes Solicited Node Address
	Hosts in diesem Netzwerk Loopback, speziell 127.0.0.1 private Adressen	Hosts in diesem Netzwerk ::/128 Loopback, speziell 127.0.0.1 ::1/128 private Adressen fc80::/7 ff80::/8 Automatic Private IP Addressing ff62::1/128

#### IPv4/6 Adressformat: (Beispiele)



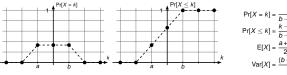
#### Transportschicht



### Wahrscheinlichkeitsverteilungen

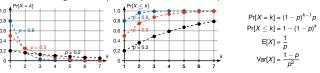
Diskrete Gleichverteilung:  $X \sim U(a,b)$ :

Drückt die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines bestimmten von mehreren gleichwahrscheinlichen Ereignissen aus,



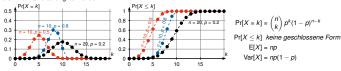
#### Geomeotrische Verteilung: $X \sim \text{Geo}(p)$ :

Drückt ein zeitdiskretes Warteproblem aus, z. B. zählt die Anzahl der Versuche bis zum Erfolg (bzw. die Anzahl erfolgloser Versuche bis zum Erfolg, wenn der Exponent entsprechend verschoben wird).



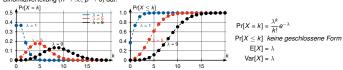
#### **Binomialverteilung:** $X \sim Bin(n, p)$ :

Drückt die Wahrscheinlichkeit für  $0 \le k \le n$  Erfolge bei konstanter Erfolgswahrscheinlichkeit p aus, z.B. Lotto. Für  $n \to \infty$ und  $p \to 0$  erhählt man die Poissonverteilung. Für n > 10 und p < 0.5 kann man die Poissonverteilung als Näherung für die Binomialverteilung verwenden



# **Poissonverteilung:** $X \sim Po(\lambda)$ :

Zählt das Auftreten unabhängiger und gleich verteilerter Ereignisse mit Rate  $\lambda$ . Stellt für  $\lambda = np$  den Grenzwert der Binomialverteilung  $(n \to \infty, \vec{p} \to 0)$  dar.



Dez Hex Oktal Binär Asrii Dez Hex Oktal Binär Asrii Dez Hex Oktal Binär Asrii Dez Hex Oktal Binär

#### Zahlensysteme

Dez	Hex	0ktal	Binär	Ascii	Dez	Hex	0ktal	Binär	Ascii	Dez	Hex	0ktal	Binär	Dez	Hex	Oktal	Binär
- 0	99	999	00000000	NUL	64	40	100	01000000	0	128	88	200	10000000	192	c0	300	11000000
1	01	001	00000001	SOH	65	41	101	01000001	A	129	81	201	10000001	193	c1	301	11000001
2	02	882	00000010	STX	66	42	102	01000010	В	130	82	202	10000010	194	c2	302	11000010
3	03	003	00000011	ETX	67	43	103	01000011	C	131	83	203	10000011	195	c3	303	11000011
4	94	884	00000100	EOT	68	44	184	01000100	D	132	84	284	10000100	196	c4	384	11000100
5	95	005	00000101	ENO	69	45	105	01000101	E	133	85	205	10000101	197	c5	305	11000101
6	86	886	00000110	ACK	70	46	106	01000110	F	134	86	206	10000110	198	c6	306	11000110
7	97	007	00000111	BEL	71	47	107	01000111	G	135	87	207	10000111	199	c7	307	11000111
8	89	010	00001000	BS	72	48	110	01001000	H	136	88	210	10001000	200	c8	310	11001000
9	09	011	00001001	HT	73	49	111	01001001	I	137	89	211	10001001	201	c9	311	11001001
10	0a	012	00001010	LF	74	4a	112	01001010	J	138	8a	212	10001010	202	ca	312	11001010
11	6P	013	00001011	VT	75	4b	113	01001011	K	139	86	213	10001011	203	cb	313	11001011
12	0c	014	00001100	FF	76	4c	114	01001100	L	140	8c	214	10001100	284	CC	314	11001100
13	6d	015	00001101	CR	77	4d	115	01001101	M	141	8d	215	10001101	205	cd	315	11001101
14	0e	016	00001110	S0	78	4c	116	01001110	N	142	8e	216	10001110	206	ce	316	11001110
15	0f	017	00001111	SI	79	4f	117	01001111	0	143	8f	217	10001111	207	cf	317	11001111
16	10	020	00010000	DLE	88	50	120	01010000	P	144	90	220	10010000	208	d0	320	11010000
17	11	021	00010001	DC1	81	51	121	01010001	Q	145	91	221	10010001	209	d1	321	11010001
18	12	022	00010010	DC2	82	52	122	01010010	R	146	92	222	10010010	210	d2	322	11010010
19	13	023	00010011	DC3	83	53	123	01010011	S	147	93	223	10010011	211	d3	323	11010011
20	14	024	00010100	DC4	84	54	124	01010100		148	94	224	10010100	212	d4	324	11010100
21	15	025	00010101	NAK	85	55	125	01010101	U	149	95	225	10010101	213	d5	325	11010101
22	16	026	00010110	SYN	86	56	126	01010110	V	150	96	226	10010110	214	d6	326	11010110
23	17	027	00010111	ETB	87	57	127	01010111	W	151	97	227	10010111	215	d7	327	11010111
24 25	18 19	030	00011000	CAN	88 89	58 59	130 131	01011000	X	152	98 99	230 231	10011000	216	d8 d9	330 331	11011000
	19 1a	031 032	00011001	SUR	99	59 5a	132	01011001	ž	154	99	231	10011001	217	da	331	11011001
26 27				ESC	91	5b			ŕ		9a 9b	232		218	db	332	
28	1b	033 034	00011011	FS	92	Sc Sc	133 134	01011011	,	155	90 9c	233	10011011	220	dc	333	11011011
28	1c 1d	034	00011100	GS	92	5d	135	01011100	ì	157	96	234	10011100	220	dd	334	11011100
30	1e	035	00011101	RS	94	5e	136	01011110	1	158	9a	235	10011110	222	de	335	11011110
31	1f	035	00011110	US	95	5f	137	01011111		159	9f	230	100111111	222	df	336	110111111
32	28	949	000111111	SPACE	96	68	149	01100000	7	168	30	249	101100000	223	e0	349	11100000
32	20	040	00100000	SPALE	97	61	141	01100000		161	a1	240	10100000	225	e0 e1	340	11100000
34	21	941	00100001	- 1	98	62	142	01100001	a h	162	a2	241	10100001	225	e2	341	11100001
35	23	043	00100010		99	63	143	01100010		163	a2	243	10100011	227	e3	343	11100011
36	24	043	00100011	š	100	64	144	01100011	ď	164	a4	244	10100111	228	e4	344	11100100
37	25	045	00100100	ž	101	65	145	01100100		165	a5	245	10100101	229	e5	345	11100101
38	26	046	00100110	8	102	66	146	01100110	f	166	a6	246	10100110	230	e6	346	11100110
39	27	947	00100111	,	103	67	147	01100111	8	167	a7	247	10100111	231	e7	347	11100111
40	28	858	00100111	(	184	68	150	01101000	ĥ	168	a8	250	10101000	232	e8	350	11101000
41	29	051	00101000	)	105	69	151	01101000	ï	169	a9	251	10101001	233	e9	351	11101001
42	2.0	852	00101001	*	186	6a	152	01101010	- 1	170	22	252	10101010	234	ea	352	11101010
43	2b	053	00101011	+	107	6b	153	01101011	6	171	ab	253	10101011	235	eb	353	11101011
44	2c	054	00101100		108	6c	154	01101100	ï	172	ac	254	10101100	236	ec	354	11101100
45	2d	055	00101101		109	6d	155	01101101		173	ad	255	10101101	237	ed	355	11101101
46	2e	056	00101110		110	6e	156	01101110	n	174	ac	256	10101110	238	cc	356	11101110
47	2f	057	00101111	/	111	6f	157	01101111		175	af	257	10101111	239	ef	357	11101111
48	30	868	00110000	0	112	70	160	01110000		176	Ь0	260	10110000	240	fø	360	11110000
49	31	861	00110001	1	113	71	161	01110001	ā	177	b1	261	10110001	241	f1	361	11110001
50	32	862	00110010	2	114	72	162	01110010	ŕ	178	b2	262	10110010	242	f2	362	11110010
51	33	863	00110011	3	115	73	163	01110011	5	179	b3	263	10110011	243	f3	363	11110011
52	34	864	00110100	4	116	74	164	01110100	t	180	b4	264	10110100	244	f4	364	11110100
53	35	065	00110101	5	117	75	165	01110101	u	181	b5	265	10110101	245	f5	365	11110101
54	36	866	00110110	6	118	76	166	01110110	v	182	b6	266	10110110	246	f6	366	11110110
55	37	067	00110111	7	119	77	167	01110111	w	183	Ь7	267	10110111	247	f7	367	11110111
56	38	979	00111000	8	120	78	170	01111000	×	184	Ь8	270	10111000	248	f8	370	11111000
57	39	071	00111001	9	121	79	171	01111001	у	185	Ь9	271	10111001	249	f9	371	11111001
58	3a	072	00111010		122	7a	172	01111010	z	186	ba	272	10111010	250	fa	372	11111010
59	3b	073	00111011		123	7b	173	01111011	{	187	bb	273	10111011	251	fb	373	11111011
60	3c	074	00111100	<	124	7c	174	01111100	ĺ	188	bc	274	10111100	252	fc	374	11111100
61	3d	075	00111101	=	125	7d	175	01111101	)	189	bd	275	10111101	253	fd	375	11111101
62	3e	076	00111110	>	126	7e	176	011111110	-	198	be	276	10111110	254	fe	376	111111110
63	3f	977	00111111	?	127	7f	177	01111111	DEI	191	hf	277	10111111	255	ff	377	11111111