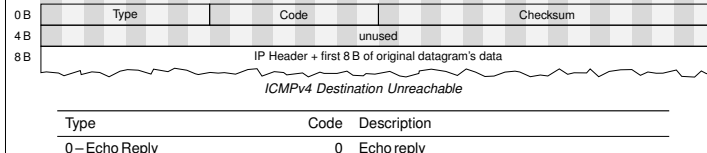
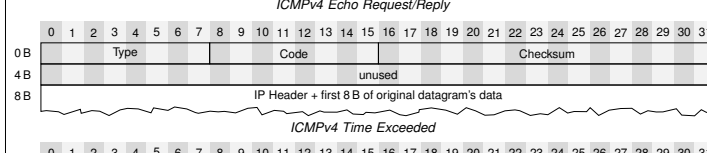
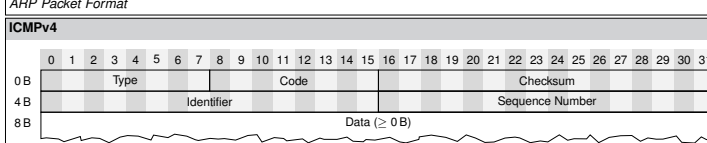
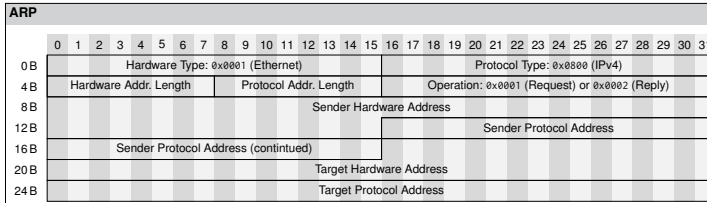


No/NH	Protocol	No/NH	Protocol
0x01	ICMPv4 (Internet Control Management)	0x2f	GRE (General Routing Encapsulation)
0x06	TCP (Transmission Control)	0x3a	ICMPv6 (ICMP for IPv6)
0x11	UDP (User Datagram)	0x3b	No Next Header
0x2c	Fragment Header	0x84	SCTP (Stream Control Transmission)

### TCP/UDP Header and ausgewählte well-known Ports

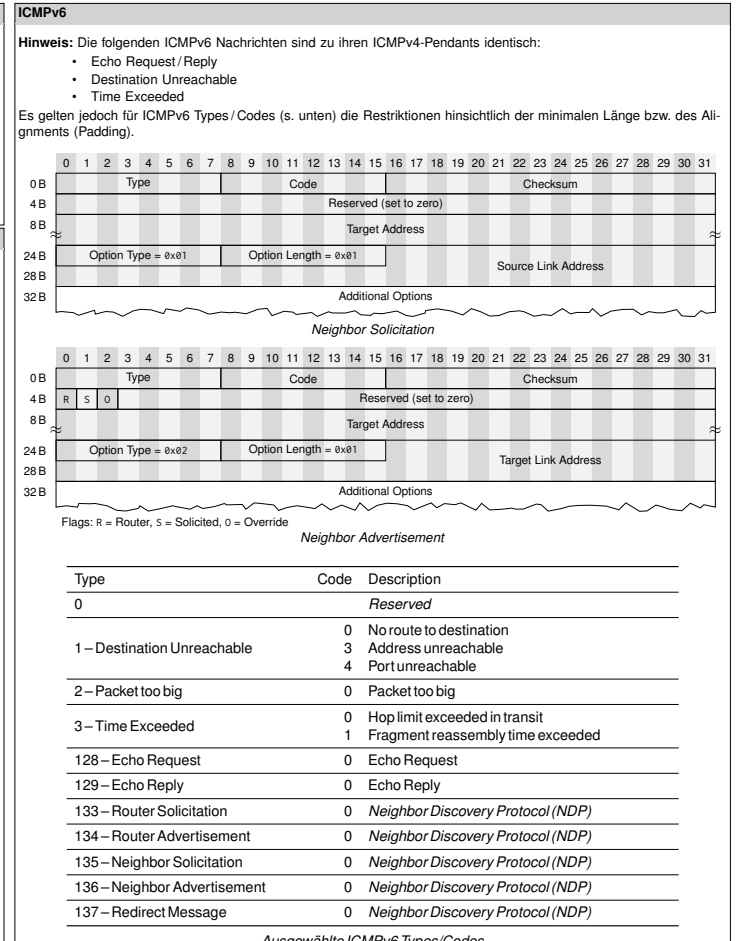
Port	Service Name	Port	Service Name
20/21	ftp	68	bootpc
22	ssh	80	http
23	telnet	110	pop3
25	smtp	443	https
53	domain (dns)	546	dhcpv6-client
67	bootps	547	dhcpv6-server



Type	Code	Description
0 – Echo Reply	0	Echo reply
1 and 2		Reserved
3 – Destination Unreachable	0	Destination network unreachable
	1	Destination host unreachable
	2	Destination protocol unreachable
	3	Destination port unreachable
4 – Source Quench	0	Source quench (congestion control)
5 – Redirect Message	0	Redirect Datagram for the Network
	1	Redirect Datagram for the Host
8 – Echo Request	0	Echo request
11 – Time Exceeded	0	TTL expired in transit
	1	Fragment Reassembly Time Exceeded

### Zahlsysteme 1/2

Dec	Hex	Binär	Ascii	Dec	Hex	Binär	Ascii	Dec	Hex	Binär	Ascii	Dec	Hex	Binär	Ascii
0	00	00000000	NUL	32	20	00100000	SPACE	64	40	01000000	@	96	60	01100000	`
1	01	00000001	SOH	33	21	00100001	!	65	41	01000001	A	97	61	01100001	a
2	02	00000010	STX	34	22	00100010	"	66	42	01000010	B	98	62	01100010	b
3	03	00000011	ETX	35	23	00100011	#	67	43	01000011	C	99	63	01100011	c
4	04	00000100	EOT	36	24	00100100	\$	68	44	01000100	D	100	64	01100100	d
5	05	00000101	ENQ	37	25	00100101	%	69	45	01000101	E	101	65	01100101	e
6	06	00000110	ACK	38	26	00100110	&	70	46	01000110	F	102	66	01100110	f
7	07	00000111	BEL	39	27	00100111	'	71	47	01000111	G	103	67	01100111	g
8	08	00010000	BS	40	28	00101000	(	72	48	01010000	H	104	68	01101000	h
9	09	00010001	HT	41	29	00101001	)	73	49	01010001	I	105	69	01101001	i
10	0a	00010010	LF	42	2a	00101010	*	74	4a	01010010	J	106	6a	01101010	j
11	0b	00010011	VT	43	2b	00101011	+	75	4b	01010011	K	107	6b	01101011	k
12	0c	00011000	FF	44	2c	00101100	,	76	4c	01011000	L	108	6c	01101100	l
13	0d	00011001	CR	45	2d	00101101	-	77	4d	01011001	M	109	6d	01101101	m
14	0e	00011010	SO	46	2e	00101110	.	78	4e	01011010	N	110	6e	01101110	n
15	0f	00011011	SI	47	2f	00101111	/	79	4f	01011011	O	111	6f	01101111	o
16	10	00100000	DLE	48	30	00110000	0	80	50	01100000	P	112	70	01110000	p
17	11	00100001	DC1	49	31	00110001	1	81	51	01100001	Q	113	71	01110001	q
18	12	00100010	DC2	50	32	00110010	2	82	52	01100010	R	114	72	01110010	r
19	13	00100011	DC3	51	33	00110011	3	83	53	01100011	S	115	73	01110011	s
20	14	00101000	DC4	52	34	00110100	4	84	54	01010100	T	116	74	01110100	t
21	15	00010101	NAK	53	35	00110101	5	85	55	01010101	U	117	75	01110101	u
22	16	00101010	SYN	54	36	00110110	6	86	56	01010110	V	118	76	01110110	v
23	17	00101011	ETB	55	37	00110111	7	87	57	01010111	W	119	77	01110111	w
24	18	00011000	CAN	56	38	00111000	8	88	58	01011000	X	120	78	01111000	x
25	19	00011001	EM	57	39	00111001	9	89	59	01011001	Y	121	79	01111001	y
26	1a	00011010	SUB	58	3a	00111010	:	90	5a	01011010	Z	122	7a	01111010	z
27	1b	00011011	ESC	59	3b	00111011	;	91	5b	01011011	[	123	7b	01111011	{
28	1c	00011100	FS	60	3c	00111100	<	92	5c	01011100	\	124	7c	01111100	
29	1d	00011101	GS	61	3d	00111101	=	93	5d	01011101	]	125	7d	01111101	}
30	1e	00011110	RS	62	3e	00111110	>	94	5e	01011110	^	126	7e	01111110	~
31	1f	00011111	US	63	3f	00111111	?	95	5f	01011111	_	127	7f	01111111	DEL



### Zahlsysteme 2/2

Dec	Hex	Binär	Dec	Hex	Binär	Dec	Hex	Binär	Dec	Hex	Binär	Dec	Hex	Binär
128	80	10000000	160	a0	10100000	192	c0	11000000	224	e0	11100000	256	100	01100000
129	81	10000001	161	a1	10100001	193	c1	11000001	225	e1	11100001	257	101	01100001
130	82	10000010	162	a2	10100010	194	c2	11000010	226	e2	11100010	258	102	01100010
131	83	10000011	163	a3	10100011	195	c3	11000011	227	e3	11100011	259	103	01100011
132	84	10000100	164	a4	10100100	196	c4	11000100	228	e4	11100100	260	104	01100100
133	85	10000101	165	a5	10100101	197	c5	11000101	229	e5	11100101	261	105	01100101
134	86	10000110	166	a6	10100110	198	c6	11000110	230	e6	11100110	262	106	01100110
135	87	10000111	167	a7	10100111	199	c7	11000111	231	e7	11100111	263	107	01100111
136	88	10001000	168	a8	10101000	200	c8	11001000	232	e8	11101000	264	108	01101000
137	89	10001001	169	a9	10101001	201	c9	11001001	233	e9	11101001	265	109	01101001
138	8a	10001010	170	aa	10101010	202	ca	11001010	234	ea	11101010	266	110	01101010
139	8b	10001011	171	ab	10101011	203	cb	11001011	235	eb	11101011	267	111	01101011
140	8c	10001100	172	ac	10101100	204	cc	11001100	236	ec	11101100	268	112	01101100
141	8d	10001101	173	ad	10101101	205	cd	11001101	237	ed	11101101	269	113	01101101
142	8e	10001110	174	ae	10101110	206	ce	11001110	238	ee	11101110	270	114	01101110
143	8f	10001111	175	af	10101111	207	cf	11001111	239	ef	11101111	271	115	01101111
144	90	10010000	176	b0	10110000	208	00	11010000	240	f0	11110000	272	116	01110000
145	91	10010001	177	b1	10110001	209	01	11010001	241	f1	11110001	273	117	01110001
146	92	10010010	178	b2	10110010	210	d2	11010010	242	f2	11110010	274	118	01110010
147	93	10010011	179	b3	10110011	211	d3	11010011	243	f3	11110011	275	119	01110011
148	94	10010100	180	b4	10110100	212	da	11010100	244	f4	11110100	276	120	01110100
149	95	10010101	181	b5	10110101	213	db	11010101	245	f5	11110101	277	121	01110101
150	96	10010110	182	b6	10110110	214	de	11010110	246	f6	11110110	278	122	01110110
151	97	10010111	183	b7	10110111	215	df	11010111	247	f7	11110111	279	123	01110111
152	98	10011000	184	b8	10111000	216	00	11011000	248	f8	11111000	280	124	01111000
153	99	10011001	185	b9	10111001</									

**Physikalische Schicht**

**Physikalische Konstanten/Zusammenhänge:**

Lichtgeschwindigkeit:  $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$   
 Relative Ausbreitungsgeschwindigkeit in Kupfer / Glas:  $\nu \approx 2/3$   
 Relative Ausbreitungsgeschwindigkeit in Vakuum / Luft:  $\nu \approx 1$   
 Wellenlänge im Medium:  $\lambda = c/f$

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

Informationsgehalt von  $x \in \mathcal{X}$ :  $I(x) = -\log_2(\Pr\{X = x\})$   
 Entropie der Quelle:  $H(X) = -\sum_{x \in \mathcal{X}} \Pr\{X = x\} \log_2(\Pr\{X = x\})$

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

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

**Fouriertransformation:**  $s(t) \leftrightarrow S(f)$ ,  $\omega = 2\pi f$  bzw.  $\omega = 2\pi/T$ , falls normiert auf Periode eines Grundimpulses.

$S(f) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} s(t) e^{-j\omega t} dt = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} s(t) (\cos(\omega t) - j \sin(\omega t)) dt$  ( $j$  bezeichnet die imaginäre Einheit)

**Abtastung, Quantisierung und Rekonstruktion:**

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

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

Abtastwerte:  $\hat{s}[n] = s(nT_a)$

Stufenbreite:  $\Delta = \frac{b-a}{M}$ , mit  $M = 2^N$  Stufen bei  $N$  bit Genauigkeit

Quantisierungsstufen:  $Q = \{a + \Delta/2, a + \Delta(1 + 1/2), \dots, a + \Delta(M - 1 + 1/2)\}$   
 $\mathbb{R} \rightarrow Q$ ,  $\hat{s}[n] \rightarrow \tilde{s}[n]$  (Runden)

Quantisiertes Signal:  $\tilde{s}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \tilde{s}[n] \cdot \text{rect}(t - nT_a)$ ,  $\text{rect}(t) = \begin{cases} 1 & \text{für } -T_a/2 \leq t \leq T_a/2 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$

Quantisierungsfehler:  $q_e(t) = s(t) - \tilde{s}(t) \leq \Delta/2$ , wenn  $a \leq s(t) \leq b$

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

**Kanalbandbreite:**  $C_{\max}$  ist eine obere Schranke für die erzielbare Netto-Datenrate in bit/s, d. h. Übertragung redundanzfreier Daten. Dazu kann es notwendig sein, Redundanz hinzuzufügen (Kanalkodierung), was jedoch am Informationsgehalt der Nachricht nichts ändert.

Hartley:  $C_H = 2B \log_2(M)$   
 Shannon/Hartley:  $C_S = B \log_2(1 + \text{SNR})$   
 Signal-to-Noise Ratio:  $\text{SNR} = \frac{P_S}{P_N} = \frac{\text{Signalleistung}}{\text{Rauschleistung}}$   
 Signal-to-Noise Ratio dB:  $\text{SNR dB} = 10 \log_{10}(\text{SNR}) \text{ dB}$   
 Obere Schranke:  $C_{\max} \leq \min\{C_H, C_S\}$

**Kanalkodierung:** Beispiel Blockcodes: Schranke 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.

$X \xrightarrow{k} [C] \xrightarrow{n} X'$  Coderate:  $R = k/n$

**Modulation:**

$s(t) = \left( \sum_{n=0}^{\infty} d[n] g_r(t - nT) \right) \cos(2\pi f_0 t) - \left( \sum_{n=0}^{\infty} d_0[n] g_r(t - nT) \right) \sin(2\pi f_0 t)$

**Sicherungsschicht und Graphen**

**Serialisierungszeit, Ausbreitungsverzögerung, Übertragungszeit, Bandbreitenverzögerungsprodukt:**

Serialisierungszeit:  $t_s = L/r$   
 Ausbreitungsverzögerung:  $t_p = d/(v/c)$   
 Übertragungszeit:  $t_t = t_s + t_p$   
 Bandbreitenverzögerungsprodukt:  $C = t_p r$

**Cyclic Redundancy Check (CRC):** Addition = XOR

Checksumme:  $c(x) = m(x)x^d \text{ mod } r(x)$ , mit  $n = \text{grad } r(x)$   
 Gesendete Nachricht:  $s(x) = m(x)x^d + c(x)$   
 Überprüfung:  $c'(x) = (s(x) + e(x)) \text{ mod } r(x)$ , mit Fehlermuster  $e(x)$

**Adjazenz- und Distanzmatrix:**

Adjazenzmatrix:  $A = (a)_{ij} = \begin{cases} 1 & \exists (i,j) \in A \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$  Distanzmatrix:  $D = (d)_{ij} = \begin{cases} c_{ij} & \exists (i,j) \in A \\ 0 & \text{wenn } i = j \\ \infty & \text{sonst} \end{cases}$

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

**Vermittlungsschicht**

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

Leitungsvermittlung:  $T_{LV} = t_s + 4t_p = \frac{L}{r} + \frac{4d}{\nu c}$   
 Nachrichtenvermittlung:  $T_{NV} = (n+1)t_s + t_p = (n+1) \frac{L_H + L}{r} + \frac{d}{\nu c}$ ,  $L_H = L_{\text{H}} = \text{Länge des Nachrichtent-Headers}$   
 Paketvermittlung:  $T_{PV} = \frac{1}{r} \left( \frac{L}{p_{\max}} L_H + L + n(L_H + p_{\max}) \right) + \frac{d}{\nu c}$ ,  $L_H = \text{Länge der Paketheader}$

**Round Trip Time (RTT):** RTT zwischen den Knoten  $s, t \in \mathcal{N}$  über den Pfad  $\mathcal{P} = \{(s, 1), (1, 2), \dots, (n, t)\}$  und den i. A. nicht symmetrischen Rückweg  $\mathcal{P}'$ :

RTT (allgemein):  $\text{RTT}(s, t) = \sum_{(i,j) \in \mathcal{P}} (t_s(i, j) + t_p(i, j)) + \sum_{(i,j) \in \mathcal{P}'} (t_s(i, j) + t_p(i, j))$   
 RTT (symmetrische Pfade):  $\text{RTT}(s, t) = 2 \sum_{(i,j) \in \mathcal{P}} (t_s(i, j) + t_p(i, j))$

**Spezielle IP-Adressen/-Adressbereiche:**

Adressbereich	Funktion	Adressbereich	Funktion
0.0.0.0/8	Hosts in diesem Netzwerk	::/128	nicht-spezifizierte Adresse
127.0.0.0/8	Loopback, speziell 127.0.0.1	::1/128	Loopback
10.0.0.0/8	private Adressen	fe80::/10	Link-Local Adressen
172.16.0.0/12	private Adressen	fc00::/7	Unique-Local Unicast Adressen
192.168.0.0/16	private Adressen	ff00::/8	Multicast Adressen
169.254.0.0/16	Automatic Private IP Addressing	ff02::1/128	All Nodes
255.255.255.255/32	Global Broadcast	ff02::1:ff00:0/104	Solicited Node Adressen

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

Bei IPv4 unterscheidet man nicht zwischen Präfix und Subnetz (das Präfix definiert das jeweilige Subnetz). Bei IPv6 spricht man zusätzlich von einem *Subnet Identifier*, der zusammen mit dem Präfix das jeweilige Subnetz identifiziert. Die Schreibweise `<address>/N` gibt dabei immer die Länge des Netzanteils an.

**Transportschicht**

**Schiebefensterprotokolle**  
 Kardinalität Sequenznummernraum:  $N$ . Maximale Größe des Sendefensters  $w_s$  um Verwechslungen zu vermeiden:

Go-Back-N:  $w_s \leq N - 1$   
 Selective Repeat:  $w_s \leq \lfloor \frac{N}{2} \rfloor$

**Fenster bei TCP**

Empfangsfenster:  $w_r$   
 Staukontrollfenster:  $w_c$   
 Sendefenster:  $w_s = \min\{w_r, w_c\}$

**TCP Durchsatz** in der Congestion Avoidance Phase. Annahme: Segmentverlust im Netzwerk ab  $w_s \geq x \cdot \text{MSS}$ .

Zeit zwischen Segmentverlust:  $T = \left(\frac{x}{2} + 1\right) \cdot \text{RTT}$   
 Anzahl gesendeter Segmente in  $T$ :  $n = \frac{3}{8}x^2 + \frac{3}{4}x$   
 Verlustrate:  $\theta = \frac{1}{n}$   
 Durchsatz:  $r_{\text{TCP}} = \frac{n \cdot \text{MSS}}{T} \cdot (1 - \theta)$

**Anwendungsschicht**

**Präfixfreie Codes**  
 Gültige Codewörter eines präfixfreien Code sind niemals Präfix eines anderen Codeworts desselben Codes. Ein optimaler präfixfreier Code minimiert die mittlere Codewortlänge

$$\sum_{i \in \mathcal{A}} p(i) \cdot |c(i)|$$

wobei  $p(i)$  die Auftretswahrscheinlichkeit von  $i \in \mathcal{A}$  und  $c(i)$  die Abbildung auf ein entsprechendes Codewort bezeichnen.

**DNS Resource Records**

Record-Typ	Funktion
SOA	(Start of Authority) markiert die Wurzel einer Zone
NS	geben die FQDNs der für die Zone autoritativen Nameserver an
A	assoziiieren einen FQDN mit einer IPv4-Adresse
AAAA	assoziiieren einen FQDN mit einer IPv6-Adresse
CNAME	Alias, verweist auf ein „Canonical Name“, welcher wiederum ein FQDN ist
MX	geben den Mailserver als FQDN einer Domain an
TXT	assoziiieren einen FQDN mit einem String (Text)
PTR	assoziiieren eine IPv4- oder IPv6-Adresse mit einem FQDN (Reverse DNS)

**Reverse DNS Zonen**  
 IPv4: `in-addr.arpa.`, IPv6: `ip6.arpa.`

**Wahrscheinlichkeitsverteilungen**

**Diskrete Gleichverteilung:**  $X \sim U(a, b)$ :  
 Drückt die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines bestimmten von mehreren gleichwahrscheinlichen Ereignissen aus, z. B. fairer Würfel.

$\Pr\{X = k\} = \frac{1}{b - a + 1}$   
 $\Pr\{X \leq k\} = \frac{k - a + 1}{b - a + 1}$   
 $E[X] = \frac{a + b}{2}$   
 $\text{Var}[X] = \frac{(b - a + 1)^2 - 1}{12}$

**Geometrische Verteilung:**  $X \sim \text{Geo}(p)$ :  
 Drückt ein zeitdiskretes Warteproblem aus, z. B. zählt die Anzahl der Versuche bis zum Erfolg (bzw. die Anzahl erfolgreicher Versuche bis zum Erfolg, wenn der Exponent entsprechend verschoben wird).

$\Pr\{X = k\} = (1 - p)^{k-1} p$   
 $\Pr\{X \leq k\} = 1 - (1 - p)^k$   
 $E[X] = \frac{1}{p}$   
 $\text{Var}[X] = \frac{1 - p}{p^2}$

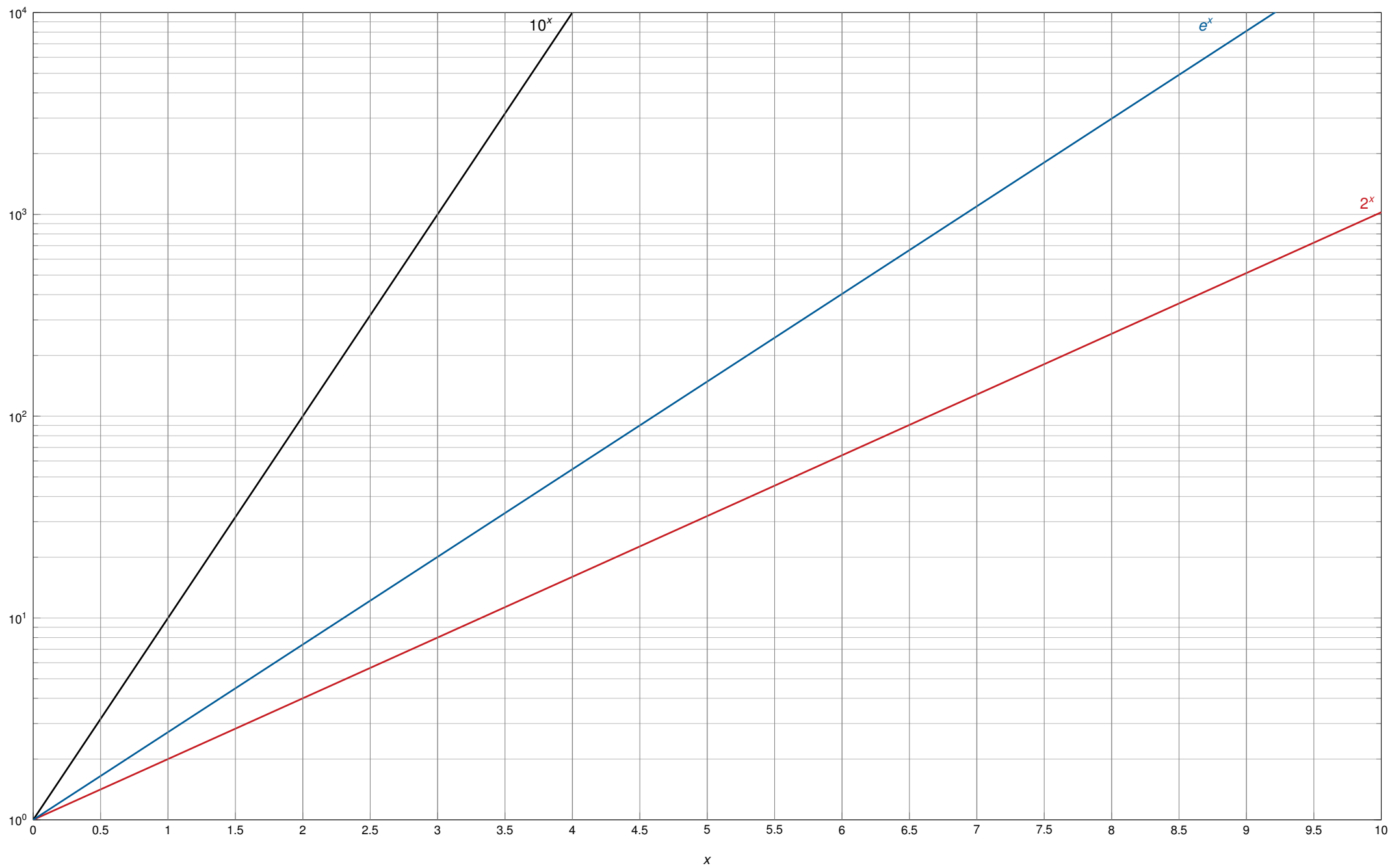
**Binomialverteilung:**  $X \sim \text{Bin}(n, p)$ :  
 Drückt die Wahrscheinlichkeit für  $0 \leq k \leq n$  Erfolge bei konstanter Erfolgswahrscheinlichkeit  $p$  aus, z. B. Lotto. Für  $n \rightarrow \infty$  und  $p \rightarrow 0$  erhöht man die Poissonverteilung. Für  $n \geq 10$  und  $p < 0.5$  kann man die Binomialverteilung verwenden.

$\Pr\{X = k\} = \binom{n}{k} p^k (1 - p)^{n-k}$   
 $\Pr\{X \leq k\}$  keine geschlossene Form  
 $E[X] = np$   
 $\text{Var}[X] = np(1 - p)$

**Poissonverteilung:**  $X \sim \text{Po}(\lambda)$ :  
 Zählt das Auftreten unabhängiger und gleich verteilter Ereignisse mit Rate  $\lambda$ . Stellt für  $\lambda = np$  den Grenzwert der Binomialverteilung ( $n \rightarrow \infty, p \rightarrow 0$ ) dar.

$\Pr\{X = k\} = \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda}$   
 $\Pr\{X \leq k\}$  keine geschlossene Form  
 $E[X] = \lambda$   
 $\text{Var}[X] = \lambda$

Plots zum ablesen verschiedener Funktionswerte auf linearer x-Achse mit logarithmischer y-Achse



Plots zum ablesen verschiedener Funktionswerte auf logarithmischer x-Achse mit linearer y-Achse

