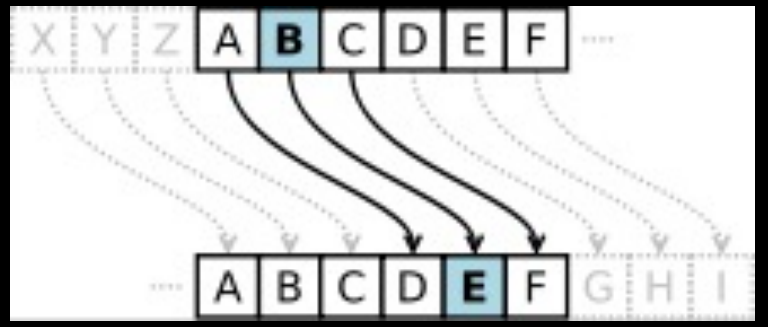
Verschlüsselung

Häufigkeitsanalyse

Monoalphabetische Verschlüsselung

- **Caesar Verschlüsselung**:
  - Einfachster Fall
  - 26 Möglichkeiten (falls nur Grossbuchstaben)
  - Extrem einfach zu entschlüsseln



- **Allgemeine Monoalphabetische Verschlüsselung**:
  - «ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ» -> «UELXBICNYAZJSQORTPKFMGVHWD»
  - Anzahl mögliche Verschlüsselungen:

$$26! \approx 4 \cdot 10^{26}$$

  - Wie **knacken**?
  - Brute-Force:
    - Alle Möglichen Permutationen durchgehen
    - Zeit: Millionen bis Milliarden Jahre
    - Kurz: keine gute Idee
  - Bessere Idee: Häufigkeitsanalyse!

Häufigkeitsanalyse

- Verschiedene Buchstaben im Alphabet kommen s**tatistisch unterschiedlich häufig** oft vor in deutscher Sprache
- Rechts: Häufigkeitsanalyse für Goethes Faust
- Ganz klar **häufigster Buchstabe** im Deutsch: **E** (ca. 16%)
- Beispiel: Verschlüsselter Ausschnitt aus Buch (optionale Aufgabe):
  - Text: «rx jlw rxn wjxnzvc qr zqtjnbvxivt ljrrvx 4 isxvl nbyzm wsxsjo, tslm jlw tsx lyxrsz mj nvql, nvhx nbyzm nytsx. lqvrslw isxv sjo wqv qwvv tvuyrrvl, nqv uyllbvl nqkh ql vqlv rvxuijxwqtv jlw tvhvqrlqngyzzv tvnkhqkhbv gvxnbxqkuvl, wvll rqb nyzkhvr jlnqll iyzzbvl nqv lqkhbn mj bjl hsevl. rx wjxnzvc isx wqxvubyx vqlvx oqxrs lsrvln txjllqltn, wqv eyhxrsnkhqlvl hvxnbvzzbv. vx isx txynn jlw ejzzqt jlw hsbbv osnb uvqlvl hszn, wsojx sevx vqlvl nvhx txynnvl nkhljxxesxb. rxn wjxnzvc isx wjll jlw ezylw jlw evnsnn wyddvzb ny gqvz hszn, iqv lybivlwqt tvivnvl isxv, isn szzvxwqltn nvhx ljbmzqkh isx, wvll ny uyllbv nqv wvl hszn jevx wvl tsxbvlmsjl xvkuvl jlw mj wvl lskhesxl hqljevxndshvl. wqv wjxnzvcn hsbbvl vqlvl uzvqlvl nyhl lsrvln wjwzvc jlw ql qhxvl sjtvl tse vn lqxtvlwiy vqlvl dxskhbqtvxvl fjltvl. wqv wjxnzvcn evnsnnvl szzvn, isn nqv iyzzbvl, wykh nqv hsbbvl sjkh vql tvhvqrlqn, jlw wsnn vn fvrslw sjowvkuvl uyllbv, isx qhxv txynnbv nyxtv. vqloskh jlvxbxstzqkh isxv vn, ivll wqv nskhv rqb wvl dybbvxn hvxsjnuyrrvl ijxwv. rxn dybbvx isx wqv nkhivnbvx gyl rxn wjxnzvc; wykh wqv evqwvl hsbbvl nqkh nkhyl nvqb vbzqkhvl fshxvl lqkhb rvhx tvnvhvl. rxn wjxnzvc evhsjdbvbv nytsx, wsnn nqv tsx uvqlv nkhivnbvx hsbbv, wvll wqvnv jlw wvxvl lqkhbnljbm gyl vqlvr rsll isxvl ny jlwjxnzvchsob, iqv rsl vn nqkh ljx wvluvl uyllbv. wqv wjxnzvcn nkhsjwvxbvl evqr tvwsluvl wsxsl, isn wqv lskhesxl nstvl ijxwvl, nyzzbvl wqv dybbvxn vqlvn bstvn ql qhxvx nbxsnnv sjouxvjmvl. wqv wjxnzvcn ijnnbvl, wsnn sjkh wqv dybbvxn vqlvl uzvqlvl nyhl hsbbvl, wykh wvl hsbbvl nqv lqv tvnvhvl. sjkh wqvnvx fjltv isx vql tjbvx txjlw, nqkh gyl wvl dybbvxn ovxlmjhszbvl; rqb vqlvr nyzkhvl uqlw nyzzbv qhx wjwzvc lqkhb ql evxjhxjlt uyrrvl.»
  - Häufigster Buchstabe: V (15.79%)
  - Kann sicher sein, dass das V im Geheimtext dem E im Klartext entspricht
  - Weiter für 2. häufigsten Buchstaben usw.
  - Irgendwann wird nicht mehr ganz stimmen, dann Buchstaben vertauschen (Trial and Error)
  - Ziel: Herausfinden, von welchem Buch der Text ist.

- a: 4.81%
- b: 1.97%
- c: 4.27%
- d: 5.02%
- e: 16.43%
- f: 1.48%
- g: 2.33%
- h: 6.53%
- i: 8.47%
- j: 0.1%
- k: 1.33%
- l: 3.99%
- m: 3.84%
- n: 9.19%
- o: 2.15%
- p: 0.64%
- q: 0.1%
- r: 6.6%
- s: 6.78%
- t: 5.32%
- u: 5.19%
- v: 0.54%
- w: 1.84%
- x: 0.0%
- y: 0.0%
- z: 1.07%

Vigenère-Verschlüsselung

- Verschlüsselung: **Verschiebung mit Schlüsselwort**
- Beispiel:
  - Schlüsselwort: `ABC`
  - Klartext: `INFORMATIK`
  - Verschiebung: `ABCABCABCA`
  - Geheimtext: `JPIPTPBVLL`
- Ist *keine* monoalphabetische Verschlüsselung, da bestimmter Buchstabe im Klartext nicht immer mit gleichem Buchstaben verschlüsselt wird. Ist eine **polyalphabetische Verschlüsselung**.

Vigenère-Verschlüsselung

- Ist es möglich, damit verschlüsselte Nachricht zu knacken?
- Ja
- Zumindest wenn Nachricht deutlich länger ist als Schlüsselwort.
- Nicht knackbar:
  - Nachricht: «INFORMATIK»
  - Schlüsselwort: «KANTIROMANSHORNDIEINNOVATIVESCHULEIMGRUENEN»
- Beispiel knackbar:
  - Nachricht: Goethes Faust (das ganze Buch)
  - Schlüsselwort: «PIZZA»
- Kasiski-Test

Kasiski-Test

- Zum knacken von Nachricht, mit Vigenère verschlüsselt
- Vorgehen:
  - Suche im Text nach Zeichenfolgen, die mehrfach vorkommen …
  - … und bestimmte Abstände dazwischen
  - ggT der Abstände ist vielfaches der Länge des Schlüsselworts
  - Beruht darauf, dass gewisse Silben und Wortendungen oft vorkommen in Sprachen

Kasiski-Test

KIQIGIQEOBZTLHCUMHXZAOLKZWNRZBWHZV-
GYAVZSHWNGUYCQGKLVIDJJMRWCQEOELZF-
HXZWLSUCRJDWFLWEMVNIGRATRVEOPAGIJ-
ZIRGVZUHQJKLDITGZGRJFDXMFLWJMMQVM-
TRJEVXQZAULGZADXJMKUJDBSGXMJLNDPMHCB

- Geheimtext, mit Vigenère verschlüsselt
- Resultat Kasiski-Test ->
- Häufigster Teiler: 9
- Vermutung: Schlüsselwort ist 9 Zeichen lang
- (stimmt tatsächlich)
- Kann nun Häufigkeitsanalyse von jedem 9. Buchstaben machen

	Abstand	Teiler
FLW	45	3, 5, 9, 15, 45
HXZ	50	2, 5, 10, 25, 50
QEO	54	2, 3, 6, 9, 18, 27, 54
CQ	13	13
DX	26	2, 13, 26
EO	*54*	*2, 3, 6, 9, 18, 27, 54*
EO	86	2, 43, 86
EO	32	2, 4, 8, 16, 32
FL	*45*	*3, 5, 9, 15, 45*
GI	93	3, 31, 93
GR	30	2, 3, 5, 6, 10, 15, 30
GZ	29	29
HC	153	3, 9, 17, 51, 153
HX	*50*	*2, 5, 10, 25, 50*
IG	83	83
IQ	4	2, 4
JD	77	7, 11, 77
JM	72	2, 3, 4, 6, 8, 9, 12, 18, 24, 36, 72
JM	94	2, 47, 94
JM	22	2, 11, 22
KL	61	61
LW	*45*	*3, 5, 9, 15, 45*
MH	149	149

	Abstand	Teiler
QE	*54*	*2, 3, 6, 9, 18, 27, 54*
RJ	43	43
RJ	59	59
RJ	16	2, 4, 8, 16
TR	43	43
VZ	67	67
WN	16	2, 4, 8, 16
XM	36	2, 3, 4, 6, 9, 12, 18, 36
XZ	*50*	*2, 5, 10, 25, 50*
ZA	121	11, 121
ZA	126	2, 3, 6, 7, 9, 14, 18, 21, 42, 63, 126
ZA	5	1, 5
ZW	45	3, 5, 9, 15, 45

Auftrag

- Siehe Wiki

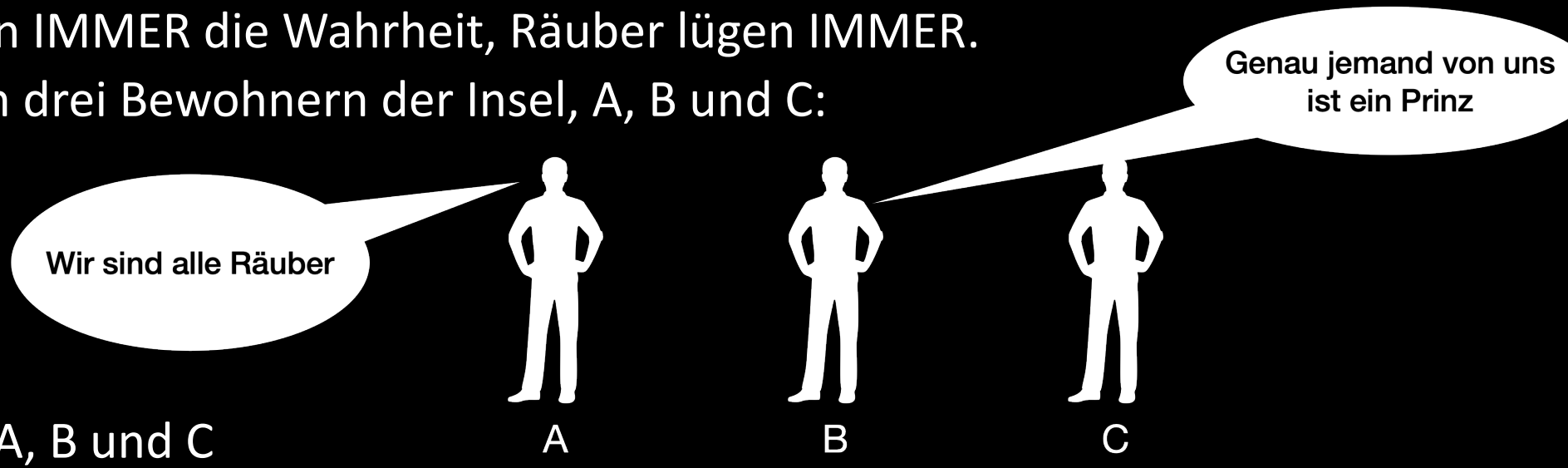
Vigenère-Game

Vigenère-Game: Auftrag

- In **Klassenchat** miteinander kommunizieren …
- … aber **nur mit verschlüsselten Nachrichten** (kein Klartext!!!)
- Mit Vigenère verschlüsselt (Code wird bereitgestellt)
- Jede Person erhält **Schlüsselwort** —> Lesen, eintippen, vernichten!
- Auftrag:
  1. Finde andere **Gruppenmitglieder** (3-4, gleiches Schlüsselwort). Versuche also Nachrichten der anderen Personen mit deinem Schlüsselwort zu entschlüsseln
  2. Löst und diskutiert gemeinsam **Rätsel** (siehe nächste Slides).
- Wichtigste **Regeln**:
  - **Kommunikation nur im Klassenchat** auf Teams (nicht sprechen, keine privaten Chats, keine Telepathie, …) und …
  - … nur **verschlüsselt**.
  - Keine Smileys o.ä.
  - Erst mit Rätsel beginnen, wenn **Gruppe komplett**.

Vigenère-Game: Rätsel

- Rätsel 1:
  - Auf der Insel befinden sich ausschliesslich Prinzen und Räuber.
  - Prinzen sagen IMMER die Wahrheit, Räuber lügen IMMER.
  - Sie begegnen drei Bewohnern der Insel, A, B und C:



  - Identifiziere A, B und C
- Rätsel 2: du begegnest wieder drei Personen A,B,C
  - A sagt: «B und C» sind von der gleichen Art.
  - Du fragst C: «Sind A und B von der gleichen Art?»
  - Was sagt C?

Zeichencodierung

Zeichencodierung

- Bisherige Verschlüsselungsverfahren: haben gewissermassen Buchstaben in Dezimalzahlen umgewandelt
- Beispiel: Vigenère-Verschlüsselung
  - Klartext: «`INFORMATIK`» mit Schlüsselwort «`ABC`»
  - Erster Buchstabe (`I`) wird um 1 Stelle (`A`) verschoben, zweiter um 2 Stellen, …
- Jede Zahl steht also für ein Symbol:
  - 1 für A, 2 für B, 3 für C, …
- Nennt diese Zuordnung Zahl zu Symbol ein **Zeichencodierung**
- Wollen uns jetzt mit Zeichencodierungen, wie sie in Computern verwendet werden, auseinandersetzen
- Beachte: Zeichencodierung per se ist *keine* Verschlüsselung.

Zeichencodierung

- Möchte Nachricht «Kanti Romanshorn, die innovative Schule im Grünen.» meinem Freund Jack in Australien per Computer (und unverschlüsselt) übermitteln.
- Computer kennt auf unterster Ebene aber nur Binärsystem (0 und 1).
- Nachricht muss also in 0 und 1 umgewandelt werden (encoding) …
- … diese werden nach Australien übermittelt …
- … und dort in lesbaren Text zurückübersetzt (decoding) werden.
- Damit klappt, müssen Jack und ich uns auf eine *Zeichencodierung einigen*. Verwenden wir unterschiedliche Zeichencodierungen, erhält Jack Kauderwelsch.

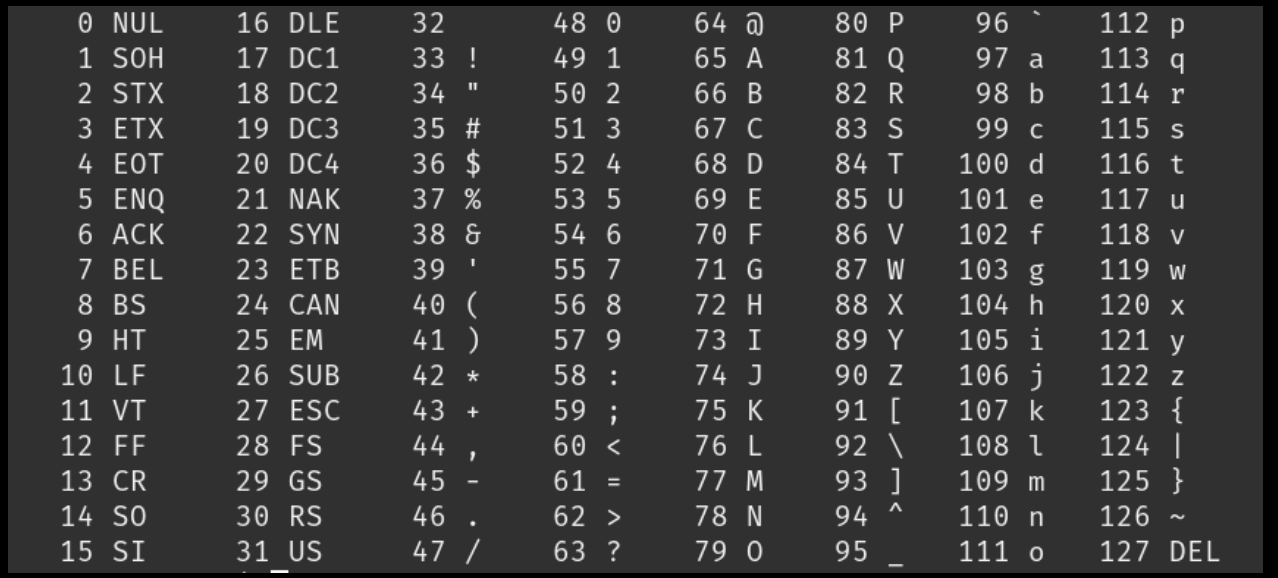
ASCII

- 1963 wurde ASCII-Zeichentabelle eingeführt
- «**A**merican **S**tandard **C**ode for **I**nformation **I**nterchange»
- 7-Bit Zeichencodierung
- Probleme mit ASCII?
- Viele Zeichen fehlen:
  - Umlaute ä,ö,ü
  - Zeichen anderer Sprachen (z.B. Chinesisch)
  - Keine 😀 😃 😄 😁 😆 😅 😂 🤣

0	NUL	16	DLE	32		48	0	64	@	80	P	96	`	112	p
1	SOH	17	DC1	33	!	49	1	65	A	81	Q	97	a	113	q
2	STX	18	DC2	34	"	50	2	66	B	82	R	98	b	114	r
3	ETX	19	DC3	35	#	51	3	67	C	83	S	99	c	115	s
4	EOT	20	DC4	36	$	52	4	68	D	84	T	100	d	116	t
5	ENQ	21	NAK	37	%	53	5	69	E	85	U	101	e	117	u
6	ACK	22	SYN	38	&	54	6	70	F	86	V	102	f	118	v
7	BEL	23	ETB	39	'	55	7	71	G	87	W	103	g	119	w
8	BS	24	CAN	40	(	56	8	72	H	88	X	104	h	120	x
9	HT	25	EM	41	)	57	9	73	I	89	Y	105	i	121	y
10	LF	26	SUB	42	*	58	:	74	J	90	Z	106	j	122	z
11	VT	27	ESC	43	+	59	;	75	K	91	[	107	k	123	{
12	FF	28	FS	44	,	60	<	76	L	92	\	108	l	124	|
13	CR	29	GS	45	-	61	=	77	M	93	]	109	m	125	}
14	SO	30	RS	46	.	62	>	78	N	94	^	110	n	126	~
15	SI	31	US	47	/	63	?	79	O	95	_	111	o	127	DEL

- Ersten 32 Zeichen sind **Steuerzeichen** (control characters):
  - SOH: Start of Heading (Beginn der Kopfzeile)
  - LF: Line Feed (Zeilenvorschub): Zeilenumbruch
  - https://de.wikipedia.org/wiki/Steuerzeichen

ASCII



0	NUL	16	DLE	32		48	0	64	@	80	P	96	`	112	p
1	SOH	17	DC1	33	!	49	1	65	A	81	Q	97	a	113	q
2	STX	18	DC2	34	"	50	2	66	B	82	R	98	b	114	r
3	ETX	19	DC3	35	#	51	3	67	C	83	S	99	c	115	s
4	EOT	20	DC4	36	$	52	4	68	D	84	T	100	d	116	t
5	ENQ	21	NAK	37	%	53	5	69	E	85	U	101	e	117	u
6	ACK	22	SYN	38	&	54	6	70	F	86	V	102	f	118	v
7	BEL	23	ETB	39	'	55	7	71	G	87	W	103	g	119	w
8	BS	24	CAN	40	(	56	8	72	H	88	X	104	h	120	x
9	HT	25	EM	41	)	57	9	73	I	89	Y	105	i	121	y
10	LF	26	SUB	42	*	58	:	74	J	90	Z	106	j	122	z
11	VT	27	ESC	43	+	59	;	75	K	91	[	107	k	123	{
12	FF	28	FS	44	,	60	<	76	L	92	\	108	l	124	|
13	CR	29	GS	45	-	61	=	77	M	93	]	109	m	125	}
14	SO	30	RS	46	.	62	>	78	N	94	^	110	n	126	~
15	SI	31	US	47	/	63	?	79	O	95	_	111	o	127	DEL

- Nachricht: «Kanti Romanshorn, die innovative Schule im Gruenen.»
- ASCII (dezimal):
  75 97 110 116 105 32 82 111 109 97 110 115 104 111 114 110 44 32 100 105 101 32 105 110 110 111 118 97 116 105 118 101 32 83 99 104 117 108 101 32 105 109 32 71 114 117 101 110 101 110 46
- ASCII (binär):
  1001011 1100001 1101110 1110100 1101001 100000 1010010 1101111 1101101 1100001 1101110 1110011 1101000 1101111 1110010 1101110 101100 100000 1100100 1101001 1100101 100000 1101001 1101110 1101110 1101111 1110110 1100001 1110100 1101001 1110110 1100101 100000 1010011 1100011 1101000 1110101 1101100 1100101 100000 1101001 1101101 100000 1000111 1110010 1110101 1100101 1101110 1100101 1101110 101110
- Nachricht kann nun im ASCII-Binärcode übermittelt werden …
- … und am Zielort mithilfe der ASCII-Zeichentabelle zurückübersetzt werden

ASCII mit Python

- ASCII-Code von Zeichen bestimmen:
  `ord('t') # 116`
- Zeichen von ASCII-Code bestimmen:
  `chr(116) # 't'`

0	NUL	16	DLE	32		48	0	64	@	80	P	96	`	112	p
1	SOH	17	DC1	33	!	49	1	65	A	81	Q	97	a	113	q
2	STX	18	DC2	34	"	50	2	66	B	82	R	98	b	114	r
3	ETX	19	DC3	35	#	51	3	67	C	83	S	99	c	115	s
4	EOT	20	DC4	36	$	52	4	68	D	84	T	100	d	116	t
5	ENQ	21	NAK	37	%	53	5	69	E	85	U	101	e	117	u
6	ACK	22	SYN	38	&	54	6	70	F	86	V	102	f	118	v
7	BEL	23	ETB	39	'	55	7	71	G	87	W	103	g	119	w
8	BS	24	CAN	40	(	56	8	72	H	88	X	104	h	120	x
9	HT	25	EM	41	)	57	9	73	I	89	Y	105	i	121	y
10	LF	26	SUB	42	*	58	:	74	J	90	Z	106	j	122	z
11	VT	27	ESC	43	+	59	;	75	K	91	[	107	k	123	{
12	FF	28	FS	44	,	60	<	76	L	92	\	108	l	124	|
13	CR	29	GS	45	-	61	=	77	M	93	]	109	m	125	}
14	SO	30	RS	46	.	62	>	78	N	94	^	110	n	126	~
15	SI	31	US	47	/	63	?	79	O	95	_	111	o	127	DEL

Zeichentabellen

- ASCII alleine reicht also nicht aus
- Deshalb benötigte viele weiteren Zeichentabellen für weitere Zeichen
- -> umständlich & fehleranfällig
- Ausweg: **Unicode**

Unicode

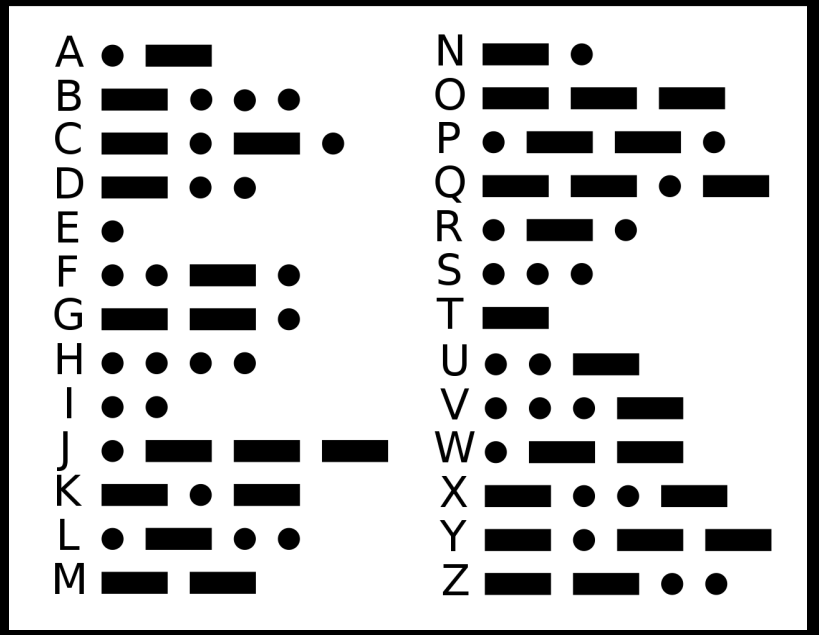
- 1991: Veröffentlichung Version 1.0.0
- Ist universeller Zeichensatz
- Jedes Zeichen besteht aus 1-4 Bytes (1 Byte = 8 Bit) …
- … und hat Form:

Länge	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4	Anzahl Zeichen
1 Byte	0??? ????				
2 Byte	110? ????	10?? ????			
3 Byte	1110 ????	10?? ????	10?? ????		
4 Byte	1111 0???	10?? ????	10?? ????	10?? ????	

- Ist **präfixfreier Code**

Präfixfreier Code

- **Präfixfreier Code**:
  - Code mit variabler Zeichenlänge, …
  - … bei dem immer klar ist, wo neues Zeichen beginnt.
  - Es ist also kein Präfix nötig.
- Beispiel nicht präfixfreier Code: **Morsen**
  - Was bedeutet: * * * * - - ?
  - Mehrere Möglichkeiten:
    - HM
    - EEEEM
    - IEW
    - …
  - Damit eindeutig ist, benötigt *Präfix* (z.B. Abstand, …) am Anfang von jedem Symbol:
    - pause**pause*pause*--



Unicode

Länge	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4
1 Byte	0??? ????			
2 Byte	110? ????	10?? ????		
3 Byte	1110 ????	10?? ????	10?? ????	
4 Byte	1111 0???	10?? ????	10?? ????	10?? ????

- Ist präfixfreier Code
- Immer klar, wo neues Zeichen beginnt.
- Beispiel:
  11010011 10100111 01101010 11110011 10011010 10010110 10100101

- Stand 2022: Ca. 150’000 Zeichen in Unicode
- Unicode Konsortium (Non-Profit Organisation) entscheidet über Aufnahme neuer Zeichen

Unicode

- Gibt verschiedene Kodierungen von Unicode, am bekanntesten ist …
- UTF-8
  - UCS Transformation Format, wobei UCS: Universal Coded Character Set
  - Stimmt in ersten 128 Zeichen mit ASCII überein
  - Stand 2022: Ca. 98% aller Websites verwenden UTF-8
- Python:
  - `ord()` und `chr()` Funktionen von vorher funktionieren für erste 256 Zeichen von UTF-8

Auftrag

- Siehe Wiki

XOR-Verschlüsselung

Verschlüsselung von Binärzahlen

- **Zeichencodierung / Zeichentabelle:**
  Zuweisung: Zahl <-> Zeichen
- Damit können Zeichen in Binärzahl umwandeln
- Beispiel ‘A’ -> 65 -> 1000001
- Wollen nun auf Ebene von **Binärzahlen** Nachricht **verschlüsseln**:
  1. Klartext -> Binärzahlen
  2. Binärzahlen verschlüsseln
  3. Verschlüsselte Nachricht übermitteln
  4. Binärzahlen entschlüsseln
  5. Binärzahlen -> Klartext

Verschlüsselung von Binärzahlen

- Doch wie Binärzahlen verschlüsseln?
- Bisherige Verschlüsselungsmethoden funktionieren nicht, da ‘Alphabet’ nur aus zwei Zeichen besteht: 0 und 1
- Ausweg: XOR-Verschlüsselung

Logik-Operatoren: AND, OR und XOR

- Und (**AND**) in Logik/Informatik:
  - Aussage «A AND B» ist nur wahr, wenn *beide Aussagen* A, B wahr sind
  - Python: `if x > 0 and x < 10: …`

- ‘normales’ Oder (**OR**) :
  - Aussage «A OR B» ist wahr, wenn mind. eine der beiden Aussagen A, B wahr ist
  - Python: `if x > 0 or x < 10: …`

- eXclusive OR (**XOR**):
  - Aussage «A XOR B» ist wahr, wenn genau *eine* der beiden Aussagen wahr ist
  - Python: später

Wahrheitstabellen:

(Wahr = 1, Falsch = 0):

A	B	A AND B
0	0	**0**
0	1	**0**
1	0	**0**
1	1	**1**

A	B	A OR B
0	0	**0**
0	1	**1**
1	0	**1**
1	1	**1**

A	B	A XOR B
0	0	**0**
0	1	**1**
1	0	**1**
1	1	**0**

XOR-Verschlüsselung

- Speziell an XOR: Wendet man es 2x an, kommt man wieder an Ursprung: (A XOR B) XOR B = A
- Nutzen nun XOR, um Binärzahl bitweise zu verschlüsseln:
  - zwei Bits so verknüpft, dass das Resultat genau dann 1 ist, wenn der eine oder der andere der Operanden 1 ist, aber nicht beide
  - Notation: p für Plaintext/Klartext, k für Key, c für Ciphertext/Geheimtext

Verschlüsselung:

p	k	c = p XOR k
0	0	**0**
0	1	**1**
1	0	**1**
1	1	**0**

Entschlüsselung:

c	k	p = c XOR k
0	0	**0**
0	1	**1**
1	0	**1**
1	1	**0**

XOR-Verschlüsselung

- Beispiel: Verschlüssle Nachricht «0110» mit Schlüssel «1100»
  - 0110 XOR 1100 = …
  - 0110 XOR 1100 = 1010
- Python:
  - **Operator ^: bitweise XOR-Verschlüsselung**
  - 1^0 # = 1 weil 1 XOR 0 = 1
  - 6^12 # = 10 (siehe Beispiel oben)
- Allgemeine Python-Tipps:
  - Binärzahl -> Dezimalzahl: `int("0110",2)`
  - Dezimalzahl -> Binärzahl: `bin(65)[2:]`

XOR-Verschlüsselung

- Da XOR-Verschlüsselung auf Ebene von Binärzahlen agiert …
- … können **alles damit verschlüsseln**, was als Binärzahl gespeichert wird
- Also: Alle Files auf Computer!
- Z.B. Bilder!

Bild-Verschlüsselung mit XOR

- Bild: 2x mit XOR verschlüsselt, keys:
  - Key1 = 10010011001111111
  - Key2 = 11011101000001001111111111011000001110

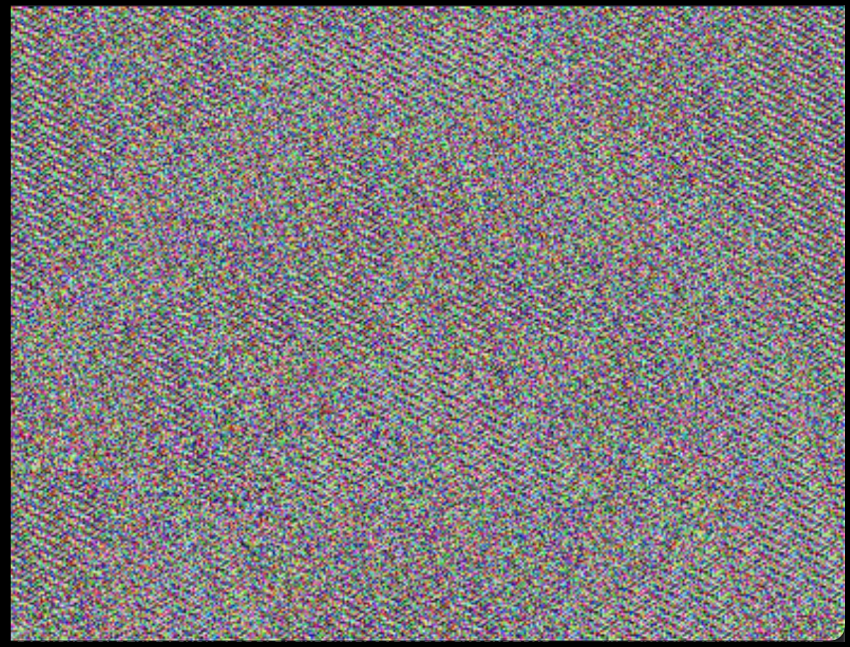
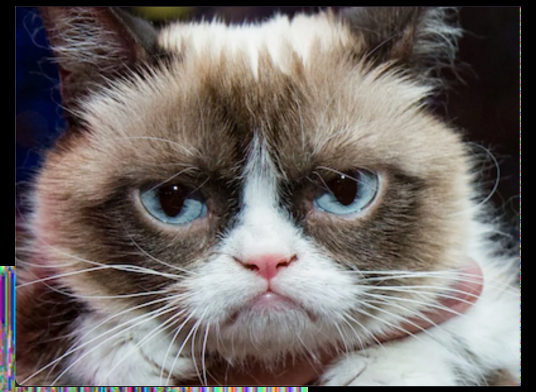


Bild-Verschlüsselung mit XOR

- Schwierigkeit: Bildinformation besteht aus sehr vielen Bits
- Kleines Bild Grumpy Cat: 2’880’000 Bits
- Ist Schlüssel deutlich kürzer als dies -> Wiederholungen -> Erkennbar
- Ausweg:
  1. Sehr langer Schlüssel
  2. Bild mehrfach hintereinander verschlüsseln
- Nächste Slide: gleiches Bild mit Schlüsseln aus versch. Anzahl Bits

Bild-Verschlüsselung mit XOR

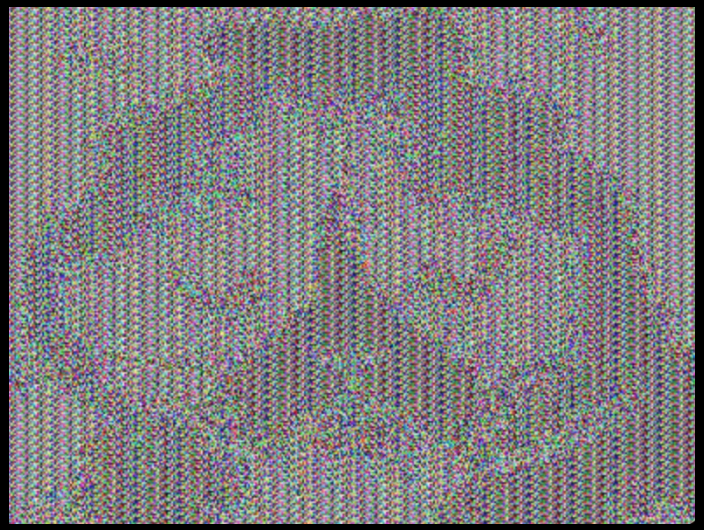


2 Bits

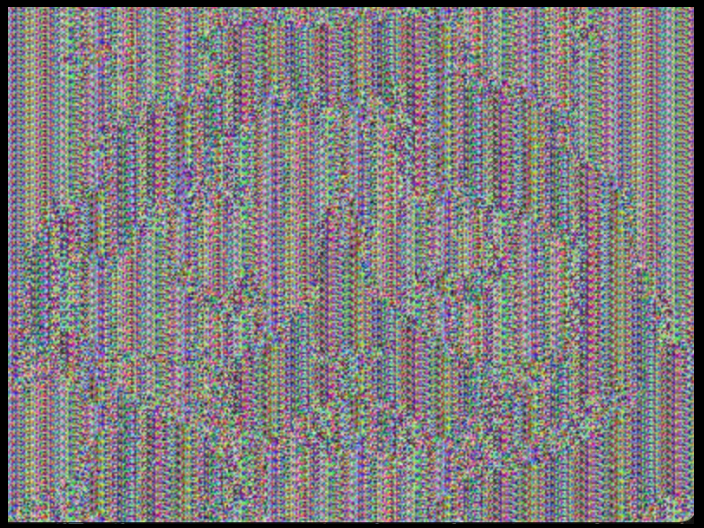
10 Bits

100 Bits

1000 Bits



2000 Bits



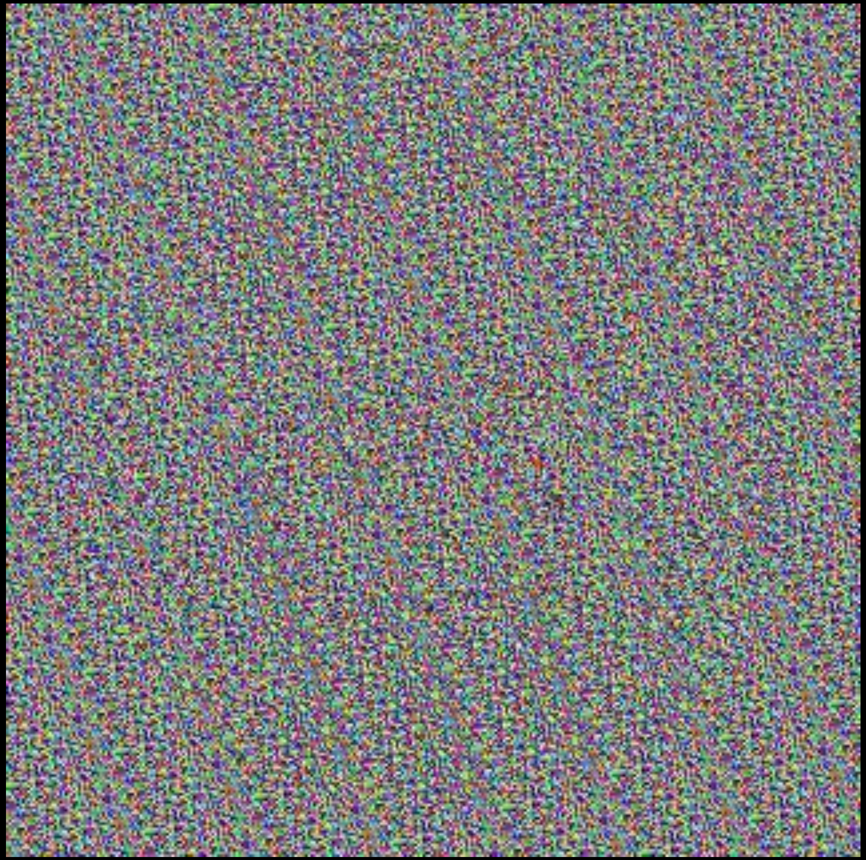
100’000 Bits

Bild-Verschlüsselung mit XOR

- Zusatzaufgabe: Entschlüssle das folgende Bild:

Schlüssel:

"111100000110011011000100001101011100101110011001000101100001111100011001010001
0110111011111100000000001100000011111001011110101011111000111010101010100000011
1100101011011010011100000000000111111110100011111001101111010011110100000010111
010100001011111101010011000101010010110111011101010110011101001000011011101100
110001101001001111000100110011001001110000000000110111100001000100100011101011
001111010101001111000100010101001011001111011010111001101100000000001010000000
101001111100100000011101000111001100000101011110000000010011001100000010001010010
000111010001001001001000101001111100111010110101010101100010110100010010100001
110001001000101110011111000111000010000110011000111001101011011110010001100010
011110101111111000011111111111110111011001011111000001010001011001010111111111
100010101110001010101100110110101111111011111101000001001001010010001001011001
111000101010111111110010011010000110011011110001111111101011000011001101100001
0110000000000101111100010110110100100100001110100100110011010100101000000111011
1111010010100111111001101000010100111100111100000000101011110010001011001100101
1110111100100000101101111010001101101010001011100010010111001111100101110010111
1111101000000100110000111011001101110010010001100011101100110110000110010100011
1100010110010000101011001100000010111000010110100110100011101010100011110000001
11111101110011000010010000111010111000111000110"



Auftrag

- Siehe Wiki

Moderne Verschlüsselungsmethoden

Symmetrische & Asymmetrische Verschlüsselung

- **Symmetrische Verschlüsselung**: *gleichen Key* zum verschlüsseln und entschlüsseln
- **Asymmetrische Verschlüsselung**: *unterschiedliche Keys* dazu
- Beispiele symmetrische & asymmetrische Verschlüsselung?
  - Symmetrisch:
    - alle bisherigen
    - Caesar
    - Monoalphabetische V.
    - Vigenère
    - XOR
  - Asymmetrisch:
    - keine der bisherigen
    - RSA

Advanced **E**ncryption **S**tandard (AES)

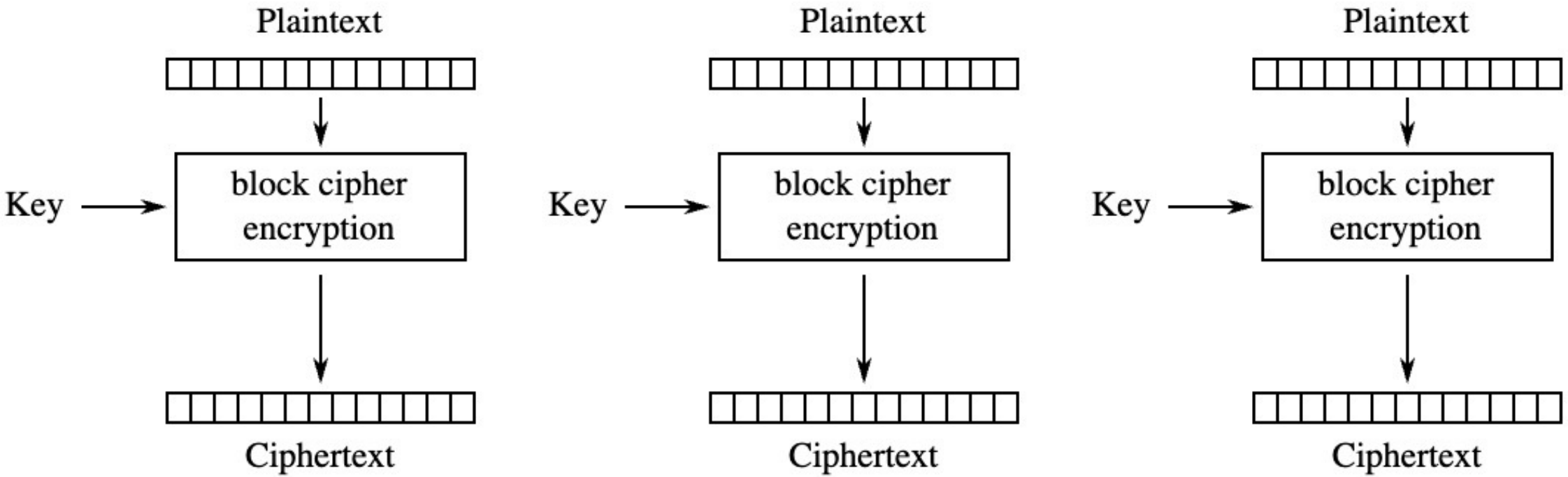
- **AES**: **A**dvanced **E**ncryption **S**tandard
- *Modernes*, *symmetrisches* Verschlüsselungsverfahren
- Am weitesten verbreitetes symmetrisches Verschlüsselungsverfahren
- Wurde 1997 vom NIST (**N**ational **I**nstitute of **S**tandard and **T**echnology, amerikanisch) aus mehreren Kandidaten ausgewählt und verbreitet
- AES auf modernen Computerprozessoren direkt implementiert
  -> sehr schnell

Advanced Encryption Standard (AES)

- Wird nicht einzelnes Zeichen, sondern ein **Block verschlüsselt** (block cipher)
- Blocklänge ist 128 bit
- 128 bit Klartext -> 128 bit Ciphertext
- Verwendet dazu Schlüssel (128, 192 oder 256 bit)
- Nennt AES-128, AES-192, AES-256
- Nennt Verschlüsselung «Block Cipher Encryption»
- Verschlüsselt in mehreren Runden

Advanced Encryption Standard (AES)

- Eine **Runde**:
  1. **Monoalphabetische** Verschiebungen
  2. **Permutationen** (Vertauschen von Positionen)
  3. Bilden von **multiplikativen Inversen** bei modularer Multiplikation:
     - $\frac{1}{7}$ ist Inverses von 7 bei regulärer Multiplikation weil $\frac{1}{7} \cdot 7 = 1$
     - Bsp. *modulare* Multiplikation: $(2 \cdot 4)\%5 = 8\%5 = 3$
     - Zahl 3 ist das Inverse von 2 bei Modulo 5, weil $(2 \cdot 3)\%5 = 6\%5 = \mathbf{1}$
  4. Bitweises **XOR**
- Beachte: für jede Runde wird ein neuer **Roundkey** erstellt: ‘Modifikation’ vom eigentelichen Key
- Anzahl Runden:
  - 128 bit Key: 10 Runden
  - 192 bit Key: 12 Runden
  - 256 bit Key: 14 Runden

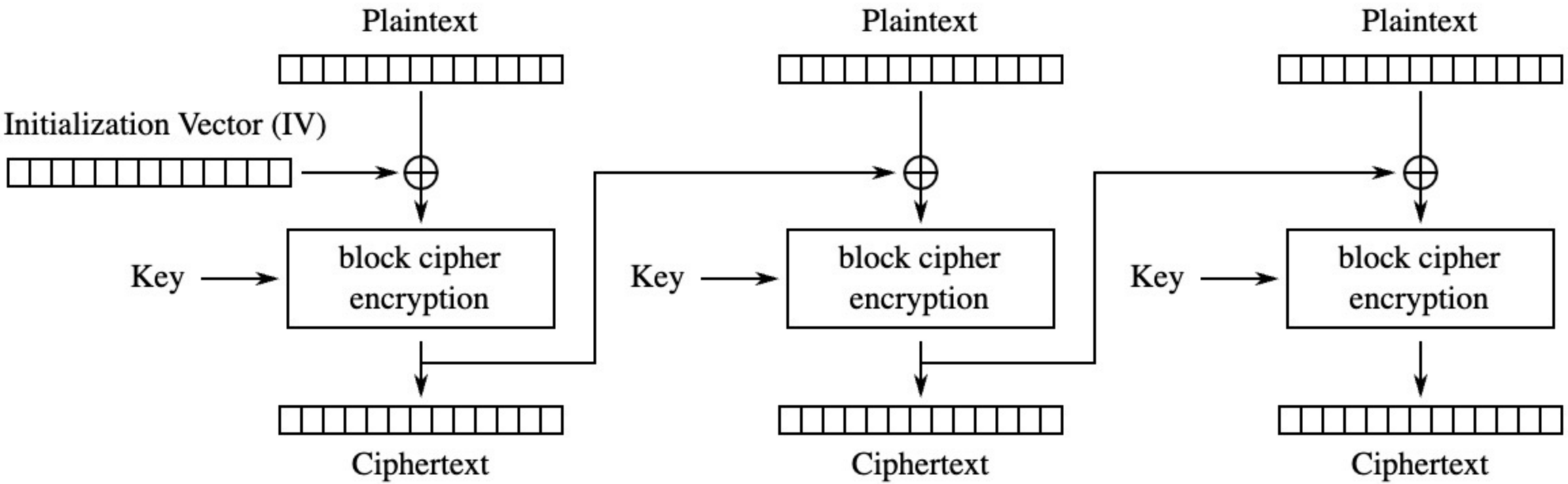


Electronic Codebook (ECB) mode encryption

Verschlüsselung im ECB-Modus

Advanced Encryption Standard (AES)

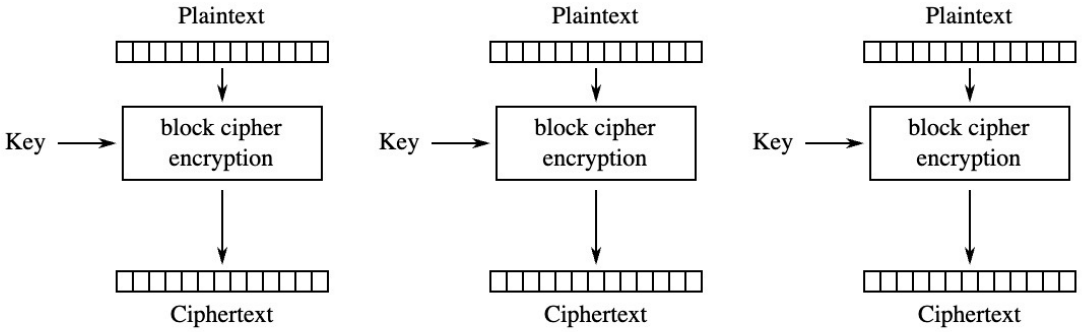
- Entschlüsseln: Schritte von Verschlüsselung rückwärts auf jeden Block anwenden
- Verschlüsselung bisher noch nicht sicher genug.
- Warum?
- Gleiches Problem wie bei Vigenère oder XOR:
  Wiederholung nach Schlüssellänge
- Lösung: Verschlüsselte Blöcke zusammen verschlüsseln:
  - Ähnlich wie Autokey (war eine Zusatzaufgabe)
  - Idee: Block verwenden, um nachfolgenden Block zu verschlüsseln
  - Heisst **Block Chaining**
  - Ersten Block wird mit **Initialisierungsvektor** verschlüsselt



Cipher Block Chaining (CBC) mode encryption

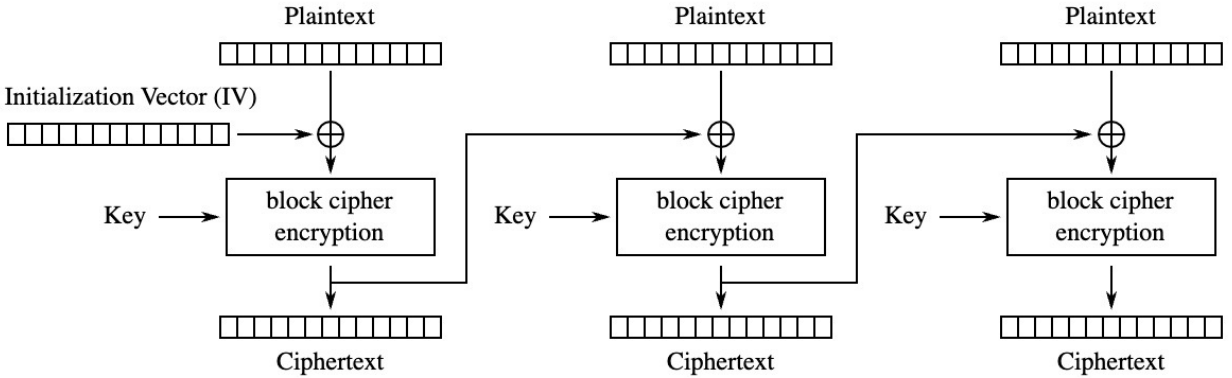
Verschlüsselung im CBC-Modus

AES mit ECB & CBS



Electronic Codebook (ECB) mode encryption

Verschlüsselung im ECB-Modus



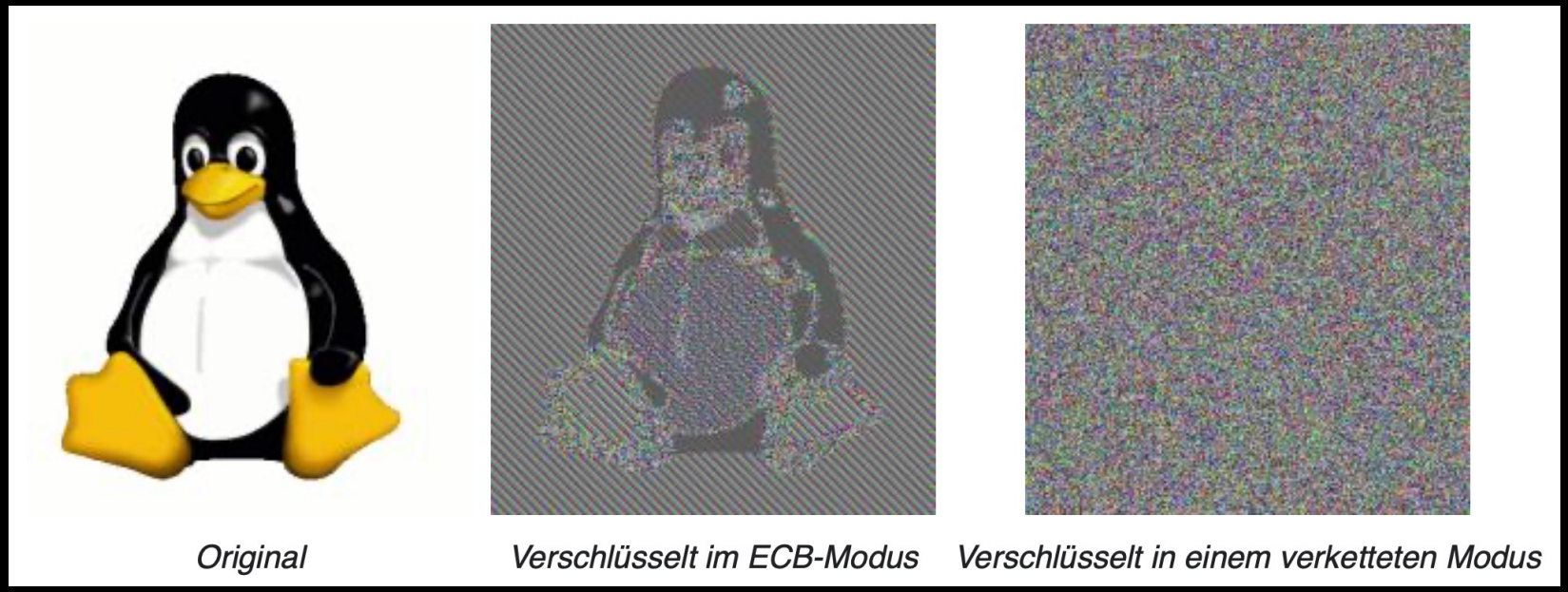
Cipher Block Chaining (CBC) mode encryption

Verschlüsselung im CBC-Modus

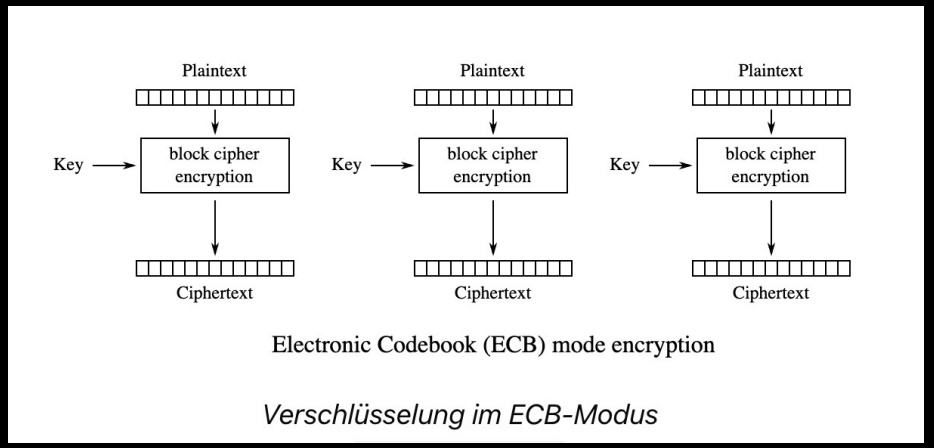
- **AES ohne Block Chaining**
- Benötigt nur Key (128, 192 oder 256 bit)

- **AES mit Block Chaining**
- Benötigt Key …
- ... und Initialization Vector

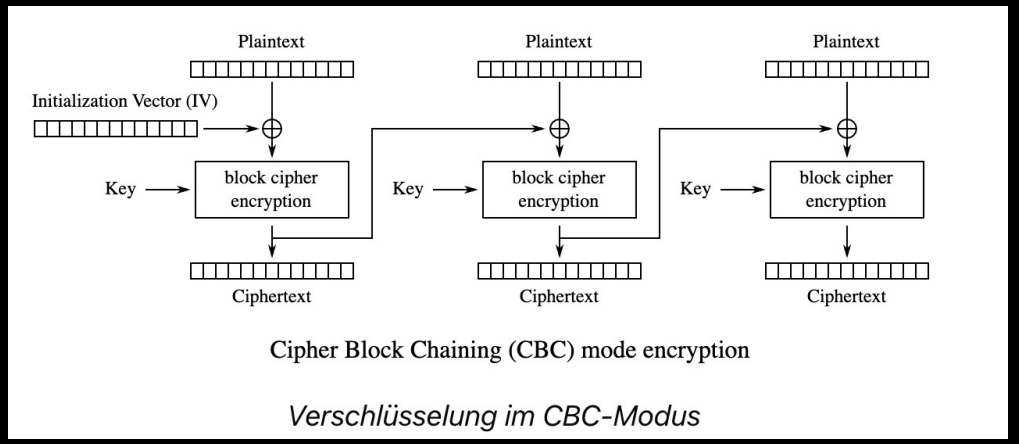
AES mit ECB & CBS



Original *Verschlüsselt im ECB-Modus* *Verschlüsselt in einem verketteten Modus*



Verschlüsselung im ECB-Modus



Verschlüsselung im CBC-Modus

Knacken von AES

- Gilt momentan als nicht knackbar!
- Heutige Computer bräuchten Milliarden von Jahren (oder noch viel mehr), um den richtigen Schlüssel mit Brute Force zu ermitteln
- Zukunft?
- Kann sich ändern mit Quantencomputern