

# Code-Break-Party

Simon Pirkelmann



January 27th, 2020

# Outline

## Substitutions-Chiffren

Cäsar Chiffre

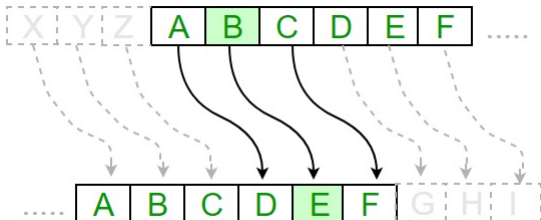
Monoalphabetische Substitution

Vigenère-Chiffre

## Enigma

# Cäsar Chiffre

- Klartext (plain text): ATTACKATDAWN
- Geheimtext (cipher text): DWWDFNDWGDZQ
- Schlüssel: 3 → um 3 Stellen nach rechts verschieben



# Cäsar Kryptoanalyse

- Es gibt nur eine begrenzte Anzahl von Schlüsseln (nur 25 sinnvolle Verschiebungen)
- Brute-Force-Angriff → alle Kombinationen durchprobieren:

Schlüssel	Entschlüsselter Text
0	DWDFNDWGDZQ
1	CVVCEMCVFCYP
2	BUUBDLBUEBXO
3	ATTACKATDAWN
⋮	⋮

# Monoalphabetische Substitution (Kryptogram)

- Anstelle für jeden Buchstaben den gleichen Offset zu verwenden, werden unterschiedliche Buchstaben verschieden verschoben

- Substitutionstabelle:

Klartext Alphabet		ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ
Geheimtext Alphabet		MOSKAUBCDEFGHIJLNPQRTVWXYZ

- Beispiel:

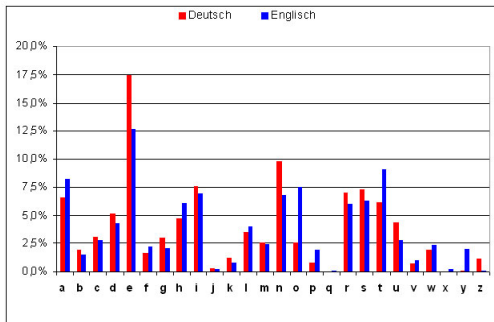
FL EE AT ONCE . WE ARE DISCOVERED .

wird zu

UGAA MR JISA . WA MPA KDQSJVAPAK .

# Frequenzanalyse

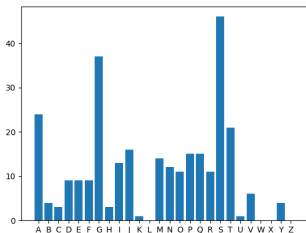
- Buchstaben kommen in natürlicher Sprache mit unterschiedlicher Häufigkeit vor
- Im Deutschen: E, I, N sind häufig, Q, X, Y sind selten



- Statistische Eigenschaften des Klartexts werden von einer Substitutionschiffre nicht verändert

## Beispiel Frequenzanalyse

Tg stgsf Djia tf Ejnsg, nm dseqs stg Ajeetq. Gtiaq  
tg stgsf csriaqsg, piafrqythsg Djia, vj sp gmia Fjnso  
otsiaq rgn Vrofytkcsd uvg nsg Vmsgnsg asomeamsghsg,  
rgn mria gtiaq tg stgso qojibsgsg, bmadsg Pmgnhores  
jags Qtpias rgn Pqrsads, vj fmg ptia yrf Sppsg  
atgpsqysg bjsggqs: gstg, nmp Djia vmo stgs  
Ajeetqajsads, rgn nmp astppq, sp vmo psao  
bjfcjoqmesd.

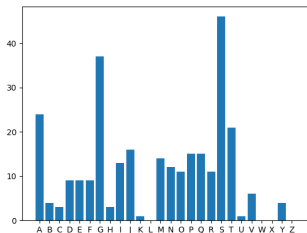


Ciphertext Alphabet

ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ

## Beispiel Frequenzanalyse

Tg etgef Djia tf Ejneg, nm deeqe etg Ajeetq. Gtiaq  
tg etgef ceriaqeg, piafrqytheg Djia, vj ep gmia Fjneo  
oteiaq rgn Vrofytkced uvg neg Vmegneg aeomeamegheg,  
rgn mria gtiaq tg etgeo qojibegeg, bmadeg Pmgnhoree  
jage Qtpiae rgn Pqreade, vj fmg ptia yrf Epppeg  
atgpeqyeg bjeggqe: getg, nmp Djia vmo etge  
Ajeetqajeade, rgn nmp aetppq, ep vmo peao  
bjfcjoqmeed.



Ciphertext Alphabet

ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ

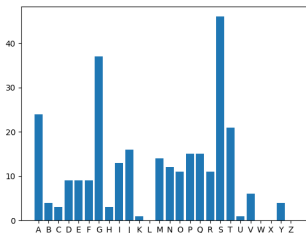
Plaintext Alphabet

E



## Beispiel Frequenzanalyse

Tn etnef Djia tf Ejnen, nm deege etn Ajeetq. Ntiaq tn etnef ceriaqen, piafrqythen Djia, vj ep nmia Fjneo oteiaq rnn Vrofytkced ujn nen Vmennen aeomeamenhen, rnn mria ntiaq tn etneo qojibenen, bmaden Pmnnhoree jane Qtpiae rnn Pqreade, vj fmn ptia yrf Eppen atnpeqyen bjennqe: netn, nmp Djia vmo etne Ajeetqajeade, rnn nmp aetppq, ep vmo peao bjfcjoqmeed.



Ciphertext Alphabet

ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ

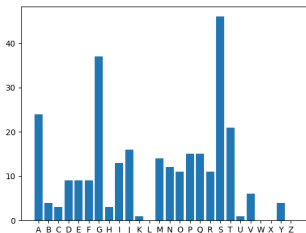
Plaintext Alphabet

N

E

## Beispiel Frequenzanalyse

In einef Djia if Ejnen, nm deege ein Ajeeiq. Niaq  
 in einef ceriaqen, piafrqyihen Djia, vj ep nmia Fjneo  
 oieiaq rnn Vrofyikced ujn nen Vmennen aeomeamenhen,  
 rnn mria niaq in eineo qojibenen, bmaden Pmnnhoree  
 jane Qipiae rnn Pqreade, vj fmn piia yrf Eppen  
 ainpeqyen bjennqe: nein, nmp Djia vmo eine  
 Ajeeiqajeade, rnn nmp aeippq, ep vmo peao  
 bjfcjoqmeed.



Ciphertext Alphabet

ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ

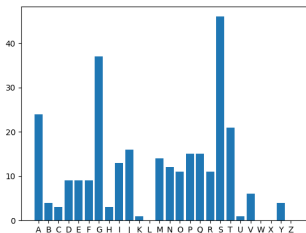
Plaintext Alphabet

N

EI

## Beispiel Frequenzanalyse

In einem Djia im Ejnen, nm deeqe ein Ajeeiq. Niaaq in einem ceriaqen, piamrqyihen Djia, vj ep nmia Mjneo oieiaq rnn Vromyikced ujn nen Vmennen aeomeamenhen, rnn mria niaaq in eineo qojibenen, bmaden Pmnnhoree jane Qipiae rnn Pqreade, vj mmn piia yrm Eppen ainpeqyen bjennqe: nein, nmp Djia vmo eine Ajeeiqajeade, rnn nmp aeippq, ep vmo peao bjmcjoqmeed.



Ciphertext Alphabet

ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ

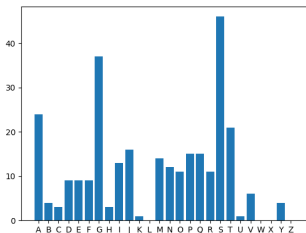
Plaintext Alphabet

MN

EI

## Beispiel Frequenzanalyse

In einem Djia im Ejnen, na deege ein Ajeeiq. Niiag in einem ceriaqen, piarmqyihen Djia, vj ep naia Mjneo oieiaq rnn Vromyikced ujn nen Vaennen aeoaeaaenhen, rnn aria niiag in eineo qojibenen, baaden Pannhoree jane Qipiae rnn Pqreade, vj man piia yrm Eppen ainpeqyen bjennqe: nein, nap Djia vao eine Ajeeiqajeade, rnn nap aeippq, ep vao peao bjmcjoqaed.



Ciphertext Alphabet

ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ

Plaintext Alphabet

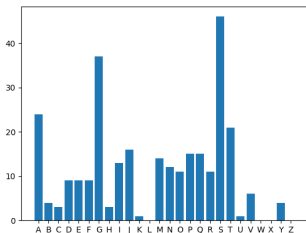
MN

A

EI

## Beispiel Frequenzanalyse

In einem Djia im Ejden, da deege ein Ajeeiq. Niiag in einem ceuiaqen, piamuqyihen Djia, vj ep naia Mjdeo oieiaq und Vuomyikced ujn den Vaenden aeoaeaaenhen, und auia niiag in eineo qojibenen, baaden Pandhouee jane Qipiae und Pqueade, vj man piia yum Eppen ainpeqyen bjennqe: nein, dap Djia vao eine Ajeeiqajeade, und dap aeippq, ep vao peao bjmcjoqaed.



Ciphertext Alphabet

ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ

Plaintext Alphabet

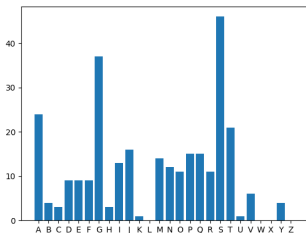
MN

AD

UEI

## Beispiel Frequenzanalyse

In einem Djia im Ejden, da deege ein Ajeeiq. Niaiq in einem ceuiaqen, siamuqyihen Djia, vj es naia Mjdeo oieiaq und Vuomyikced ujn den Vaenden aeoaeaaenhen, und auia niaiq in eineo qojibenen, baaden Sandhouee jane Qisiae und Squeade, vj man siia yum Essen ainseqyen bjennqe: nein, das Djia vao eine Ajeeiqajeade, und das aeissq, es vao seao bjmcjoqaed.



Ciphertext Alphabet

ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ

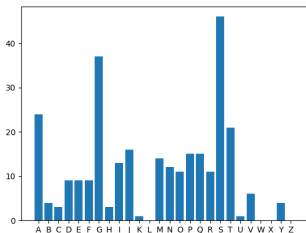
Plaintext Alphabet

MN

AD S UEI

## Beispiel Frequenzanalyse

In einem Djia im Ejden, da deege ein Ajeeiq. Niaiq in einem ceuiaqen, siamuqzihen Djia, vj es naia Mjdeo oieiaq und Vuomzikced ujn den Vaenden aeoaeaaenhen, und auia niaiq in eineo qojibenen, baaden Sandhouee jane Qisiae und Squeade, vj man siia zum Essen ainseqzen bjennqe: nein, das Djia vao eine Ajeeiqajeade, und das aeissq, es vao seao bjmcjoqaed.



Ciphertext Alphabet

ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ

Plaintext Alphabet

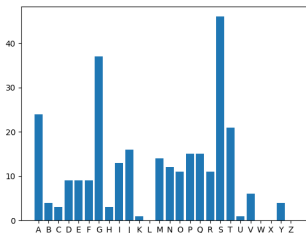
MN

AD S UEI

Z

## Beispiel Frequenzanalyse

In einem Djia im Ejden, da deege ein Ajeeiq. Niiag in einem ceuiaqen, siamuqzihen Djia, vj es naia Mjder rieiaq und Vurmzikced ujn den Vaenden aeraeaaenhen, und auia niiag in einer qrjibenen, baaden Sandhruee jane Qisiae und Squeade, vj man siia zum Essen ainseqzen bjennqe: nein, das Djia var eine Ajeeiqajeade, und das aeissq, es var sear bjmcjrqaeed.



Ciphertext Alphabet

ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ

Plaintext Alphabet

MN

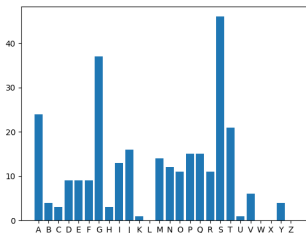
ADRS UEI

Z



## Beispiel Frequenzanalyse

In einem Djih im Ejden, da deete ein Hjeeit. Niiht in einem ceuihten, sihmutzihen Djih, vj es naih Mjder rieiht und Vurmzikced ujn den Vaenden heraehaenhen, und auih niiht in einer trjibenen, bahden Sandhruee jhne Tisihe und Stuehde, vj man siih zum Essen hinsetzen bjennte: nein, das Djih var eine Hjeeithjehde, und das heisst, es var sehr bjmcjrtaeed.



Ciphertext Alphabet

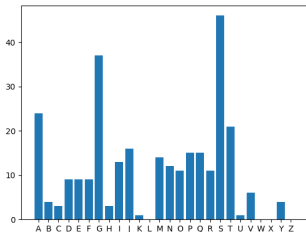
ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ

Plaintext Alphabet

H MN ADRSTUEI Z

## Beispiel Frequenzanalyse

In einem Doch im Eoden, da deete ein Hoeeit. Nicht in einem ceuchten, schmutzigen Doch, vo es nach Moder riecht und Vurmzikced uon den Vaenden heraehaengen, und auch nicht in einer trockenen, kahden Sandgruee ohne Tische und Stuehde, vo man sich zum Essen hinsetzen koennte: nein, das Doch var eine Hoeeithoehde, und das heisst, es var sehr komcortaeed.



Ciphertext Alphabet

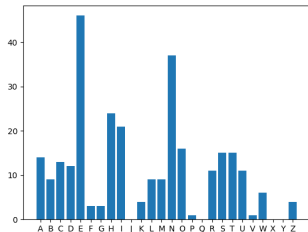
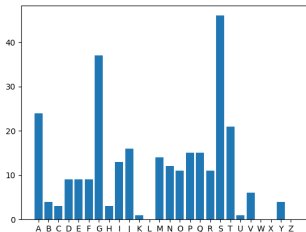
ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ

Plaintext Alphabet

HK MNGCO ADRSTUEI Z

## Beispiel Frequenzanalyse

In einem Loch im Boden, da lebte ein Hobbit. Nicht in einem feuchten, schmutzigen Loch, wo es nach Moder riecht und Wurmzipfel von den Waenden herabhaengen, und auch nicht in einer trockenen, kahlen Sandgrube ohne Tische und Stuehle, wo man sich zum Essen hinsetzen koennte: nein, das Loch war eine Hobbithoehle, und das heisst, es war sehr komfortabel.



Ciphertext Alphabet

ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ

Plaintext Alphabet

HKFLBMNGCOP ADRSTUEIVW Z

# Vigenère-Chiffre

- Poly-alphabetische Substitution
- Verwendet unterschiedliche Cäsar-Chiffren für aufeinanderfolgende Buchstaben
- Beispiel:

Schlüsselwort		B	A	Y	R	E	U	T	H
Cäsar mit Schlüssel		1	0	24	17	4	20	19	7

Verschlüsselung:

Klartext		ES	WAR	EINMAL	VOR	LANGER,	LANGER	ZEIT,	...
Schlüssel		BA	YRE	UTHBAY	REU	THBAYR,	EUTHBA	YREU,	...
Geheimtext		FS	URV	YBUNAJ	MSL	EHOGCI,	PUGNFR	XVMN,	...

→ Gleiche Buchstaben werden nicht immer gleich verschlüsselt

# Tabula recta

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
A	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
B	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A
C	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B
D	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C
E	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D
F	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E
G	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F
H	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G
I	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H
J	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I
K	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
L	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
M	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
N	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
O	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
P	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
Q	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
R	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
S	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
T	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
U	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
V	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
W	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
X	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
Y	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
Z	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y

# Vigenère Kryptoanalyse: Kasiski test

- Schwachstelle der Vigenère-Chiffre: wiederholender Schlüssel

# Vigenère Kryptoanalyse: Kasiski test

- Schwachstelle der Vigenère-Chiffre: wiederholender Schlüssel
- Angenommen wir kennen die Schlüssellänge  $K$ :

# Vigenère Kryptoanalyse: Kasiski test

- Schwachstelle der Vigenère-Chiffre: wiederholender Schlüssel
- Angenommen wir kennen die Schlüssellänge  $K$ :
  - Text in  $K$  Blöcke aufteilen (Beispiel:  $K = 3$ )  
PPKAMJELQHPIAHLWYPKDDNBGPMJELQHPIAHZWUYJH...



# Vigenère Kryptoanalyse: Kasiski test

- Schwachstelle der Vigenère-Chiffre: wiederholender Schlüssel
- Angenommen wir kennen die Schlüssellänge  $K$ :
  - Text in  $K$  Blöcke aufteilen (Beispiel:  $K = 3$ )

PPKAMJELQHPIAHLWYPKDDNBGPMJELQHPIAHZWUYJH...

# Vigenère Kryptoanalyse: Kasiski test

- Schwachstelle der Vigenère-Chiffre: wiederholender Schlüssel
- Angenommen wir kennen die Schlüssellänge  $K$ :
  - Text in  $K$  Blöcke aufteilen (Beispiel:  $K = 3$ )  
PPKAMJELQHP<sub>1</sub>IAHLWYPKDDNBGPMJELQHP<sub>2</sub>IAHZWUYJH...  
*(Note: Subscripts 1 and 2 are illustrative of the 3-block division)*
  - Auf jedem Block eigene Häufigkeitsanalyse:  
PAEHAWKNPEHAWJ | PMLPHYDBMLPHUH | KJQILPDGJQIZY

# Vigenère Kryptoanalyse: Kasiski test

- Schwachstelle der Vigenère-Chiffre: wiederholender Schlüssel
- Angenommen wir kennen die Schlüssellänge  $K$ :
  - Text in  $K$  Blöcke aufteilen (Beispiel:  $K = 3$ )  
PPKAMJELQHP<sub>1</sub>IAHLWYPKDDNBGPMJELQHP<sub>2</sub>IAHZWUYJH...  
*(Note: In the original image, the subscripts 1, 2, and 3 are placed under the letters I, A, and H respectively in the first three blocks.)*
  - Auf jedem Block eigene Häufigkeitsanalyse:  
P<sub>1</sub>A<sub>1</sub>E<sub>1</sub>H<sub>1</sub>A<sub>1</sub>W<sub>1</sub>K<sub>1</sub>N<sub>1</sub>P<sub>1</sub>E<sub>1</sub>H<sub>1</sub>A<sub>1</sub>W<sub>1</sub>J | P<sub>2</sub>M<sub>2</sub>L<sub>2</sub>P<sub>2</sub>H<sub>2</sub>Y<sub>2</sub>D<sub>2</sub>B<sub>2</sub>M<sub>2</sub>L<sub>2</sub>P<sub>2</sub>H<sub>2</sub>U<sub>2</sub>H | K<sub>3</sub>J<sub>3</sub>Q<sub>3</sub>I<sub>3</sub>L<sub>3</sub>P<sub>3</sub>D<sub>3</sub>G<sub>3</sub>J<sub>3</sub>Q<sub>3</sub>I<sub>3</sub>Z<sub>3</sub>Y
- Problem: Wie findet man die Schlüssellänge?

# Vigenère Kryptoanalyse: Kasiski test

- Schwachstelle der Vigenère-Chiffre: wiederholender Schlüssel
- Angenommen wir kennen die Schlüssellänge  $K$ :

- Text in  $K$  Blöcke aufteilen (Beispiel:  $K = 3$ )

PPKAMJELQHP<sup>A</sup>IAHLWYPKDDNBGPMJELQHP<sup>I</sup>IAHZWUYJH...

- Auf jedem Block eigene Häufigkeitsanalyse:

PAEHAWKNPEHAWJ | PMLPHYDBMLPHUH | KJQILPDGJQIZY

- Problem: Wie findet man die Schlüssellänge?

## Kasiski Test:

PPKAMJELQHP<sup>A</sup>IAHLWYPKDDNBGPMJELQHP<sup>I</sup>IAHZWUYJH...

- Suche nach wiederholenden Buchstabengruppen ( $N$ -Gramme)

# Vigenère Kryptoanalyse: Kasiski test

- Schwachstelle der Vigenère-Chiffre: wiederholender Schlüssel
- Angenommen wir kennen die Schlüssellänge  $K$ :

- Text in  $K$  Blöcke aufteilen (Beispiel:  $K = 3$ )

PPKAMJELQHPIAHLWYPKDDNBGPMJELQHPIAHZWUYJH...

- Auf jedem Block eigene Häufigkeitsanalyse:

PAEHAWKNPEHAWJ | PMLPHYDBMLPHUH | KJQILPDGJQIZY

- Problem: Wie findet man die Schlüssellänge?

## Kasiski Test:

PPKAMJELQHPIAHLWYPKDDNBGPMJELQHPIAHZWUYJH...

- Suche nach wiederholenden Buchstabengruppen ( $N$ -Gramme)

# Vigenère Kryptoanalyse: Kasiski test

- Schwachstelle der Vigenère-Chiffre: wiederholender Schlüssel
- Angenommen wir kennen die Schlüssellänge  $K$ :

- Text in  $K$  Blöcke aufteilen (Beispiel:  $K = 3$ )

PPKAMJELQHP~~IAHLWYPKDDNBGPM~~JELQHP~~IAHZWUYJH~~...

- Auf jedem Block eigene Häufigkeitsanalyse:

PAEHAWKNPEHAWJ | PMLPHYDBMLPHUH | KJQILPDGJQIZY

- Problem: Wie findet man die Schlüssellänge?

## Kasiski Test:

PPKAMJELQHP~~IAHLWYPKDDNBGPM~~JELQHP~~IAHZWUYJH~~...

index = 4

index = 25

- Suche nach wiederholenden Buchstabengruppen ( $N$ -Gramme)
- Bestimme Abstand zwischen den Wiederholungen  
(hier:  $d = 25 - 4 = 21$ )

# Vigenère Kryptoanalyse: Kasiski test

- Schwachstelle der Vigenère-Chiffre: wiederholender Schlüssel
- Angenommen wir kennen die Schlüssellänge  $K$ :

- Text in  $K$  Blöcke aufteilen (Beispiel:  $K = 3$ )

PPKAMJELQHPIAHLWYPKDDNBGPMJELQHPIAHZWUYJH...

- Auf jedem Block eigene Häufigkeitsanalyse:

PAEHAWKNPEHAWJ | PMLPHYDBMLPHUH | KJQILPDGJQIZY

- Problem: Wie findet man die Schlüssellänge?

## Kasiski Test:

PPKAMJELQHPIAHLWYPKDDNBGPMJELQHPIAHZWUYJH...

index = 4

index = 25

- Suche nach wiederholenden Buchstabengruppen ( $N$ -Gramme)
- Bestimme Abstand zwischen den Wiederholungen  
(hier:  $d = 25 - 4 = 21$ )
- Schlüssellänge Teiler des Abstands:  $d = 3 \cdot 7 \rightarrow K = 3$  oder  $7$





# Vigenère Kryptoanalyse: Friedman Test

- Statistischer Test zur Bestimmung der Schlüssellänge:

$\kappa_p$	Wahrscheinlichkeit, dass zwei zufällig gewählte Buchstaben eines Textes gleich sind
$\kappa_r$	Wahrscheinlichkeit, dass zwei Buchstaben eines zufälligen gleichverteilten Textes übereinstimmen

- Im Englischen (monospace, 26 Buchstaben):

$$\kappa_p = 0.067 \quad \kappa_r = \frac{1}{26} = 0.0385$$

- Abschätzung der Schlüssellänge:

$$K \approx \frac{\kappa_p - \kappa_r}{\kappa_o - \kappa_r}$$

mit der beobachteten Koinzidenzrate

$$\kappa_o = \frac{\sum_{i=1}^{26} n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}$$

# Friedman Test: Anwendung

YNCJHFUGVBAVFYXIZBSRJCZGPBFCVTSUGGKWPWUHZCRFHYKFSOJCPGMMRBVUJFBWMWRJWEJIZGGLZGLHTUOFWQFCCXIUCOGTESSLKRFSLNTCME  
IKCOAJISAMGVBLBSKVWNSUSJZWFKLAYYSFMTFYLAJFHZXWRGBNXXOKYFZFSGIYONBSXDWKMRDKMMVPWMYVFUEFZATXHRIKXNKKSLLIOKLDRBVP  
FEHWWBVOJMMFIYAFJTGKYYOLMMVDSLXZBYMMVFWSGISCLAYYOLFIBAGLVEMTQCMDTDZBDXFMSKGTJHWIMRRLKTURWGGCOUDTYWCXUKHZKZFK  
MKFFSGTKVVKIRMQXYBBGPNEUZHBNQEQJRRKHSKCOTDZRGNGKSVBKZGZHZCRWOJIQGFJSOUDNJVSEQSSLXQCWFZYWKPNKVS LN XVKHRVKZXWVOY  
XXRBVTLVGZXSTSLPTICSWXUWNXWSVBSRKGHIRBVBKCGDYYSGGJCSKLYIONXQVRTRFERLAFKVS LRRRWTQCHZXIZTXXWVBUX

- Rateversuch: Schlüssellänge  $K = 4$

# Friedman Test: Anwendung

YNCJHFUGVBAVFYXIZBSRJ CZGPBFCVTSUGGKWPWUHZCRFHYKFSOJCPGMMRBVUJFBWMWRJWEJIZGGLZGLHTUOFWQFCCXIUCOGTESSLKRFSLNTCME  
IKCOAJISAMGVBLBSKVWNSUSJZWFKLAYYSFMTFYLAJFHZZWRGBNKKOKYFZFSGIYONBSXDWKMMDKMMVPWMYVFUEFZATXHRIKXNKKSLLIOKLDRBVP  
FEHWBVOJMMFIYAFJTGKYYOLMMVDSLXZBYMMVFWSGISCLAYYOLF TIBAGLVEMTQCMDTDZBDFMSKGTJHWIMRRLKTURWGGCOUDTYWCXUKHZXKZFK  
MKFFSGTKVWKIRMQXYBBGPNEUZHBNQEQJRRKHSKCOTDZRGNGKSVBKZGZHZCRWOJIQGFJSOUDNJVSEQSSLXQCWFZYWKPNKVS LN XVKHRVKZXWVOY  
XXRBVTLVGZXSTSLPTICSWXUWNXWSVBSRKGHIRBVBKCGDYSGGJCSKLYIONXQVRTRFERLAFKVS LRRRWTQCHXIZTXXWVBUX

- Rateversuch: Schlüssellänge  $K = 4$
- Teile Text in 4 Blöcke auf

# Friedman Test: Anwendung

YNCJHFUGVBAVFYXIZBSRJ CZGPBF CVTUSUGGKWPWUHZCRFHXYKFSOJCPGMMRBVUJFBWMWRJWEJIZGGLZGLHTUOFWQFCXXIU COGTESSLKRFLSNTCME  
IKCOAJISAMGVBLSKVNWSUSJZWFKLAYYSFMTFYLAJFHZZWRGBNXXKOKYFZFSGIYONBSXDWKMRDKMMPWYVVFUEFZATXHRIKXNKKSLLOKLD RBVP  
FEHWWBVOJMMFIYAFJTGKYYOLMMVDSLXZBYMMVFWSGISCLAYYOLF TIBAGLVEMTQCMDTDZBDXFMSKGTJHWIMRRLKTURWGGCOUDTYWCXUKHZXKZFK  
MKFFSCTKVWKIRMQXYBBGPNEUZHBNQEQJRRKHSK COTDZRGNGKSVBKZGZHCWOWJIQGFJSOUDNJVSEQSSLXQCWFZYYWKPKNVSLNXVKHRVKZXWVOY  
XXRBVTLVGZXTSLPTICSWXUWNXWSVBSRKGHIRBVBKCGDYSGGJCSKLYIONXQVRTRFERLAFKVLRRRWTQCHZXIZTXWVBUX

YHVZJPVGPZHSRJMZZ  
TWCCEKLMCIGBWSFYMLHR  
XYSOXMMWFZHXSORFWJIJ  
YMSBVGLOILTDBMTILRCT  
XZFFTKQBEBEKCZGBZRIJ  
DSSCYPVSVVXVGTWNSRI  
BGSCYXTRKRTZTV

NFBYBCBTGWCYOGBFWEGG  
UQXOSRNEOSVSNJKYTAZG  
KFGNDRMMUARNLKBEBMYT  
YMLYFIALBVQTD SJMKWOY  
UXKFKIXGUNJHORKKHWS  
NELWYNLKKVXTZSIXXVKR  
NDGSIQLRVRQXXB

CUAXSZFSKURKJMVRJGL  
OFIGSFTIAABKSZLSFJXB  
OZIBWDVYETIKLLVHVMAG  
OVXMWSYFAECDXKHRGTUW  
KKMSVRYPZORSTGSZZOGO  
JQXFWKNHZORLXLCUWGBG  
KYGKOVFASRCIXU

JGVIRGCUWHFFCMUWJILH  
FCUTLSCKJMLVUWAFYFVN  
KFYSKKPVFXXKIDPWOFK  
LDZMSCYTGMMZFGWRUGDC  
HZKGWMBNHQRKDNVGCJFU  
VSQZKVVXXYBVSPSWXSHV  
CYJLNREFLWHZWX

$$\kappa_o = 0.0425$$

$$\kappa_o = 0.0404$$

$$\kappa_o = 0.0405$$

$$\kappa_o = 0.0432$$

- Rateversuch: Schlüssellänge  $K = 4$
- Teile Text in 4 Blöcke auf
- Bestimme Koinzidenzindex für jeden Block

# Friedman Test: Anwendung

YNCJHFUGVBAVFYXIZBSRJCZGPBFCVTSUGGKWPWUHZCRFHXYKFSOJCPGMMRBVUJFBWMWRJWEJIZGGLZGLHTUOFWFQFCXIUOCGTESSLKRFLSNTCME  
IKCOAJISAMGVBLSKVWNSUSJZWFKLAYYSFMTFYLAJFHZZWRGBNKKOKYFZFSGIYONBSXDWKMRDKMMVPWYVVFUEFZATXHRIKXNKKSLLOKLRBVP  
FEHWWBVOJMMFIYAFJTGKYYOLMMVDSLXZBYMMVFWSGISCLAYYOLF TIBAGLVEMTQCMDTDZBDFMSKGTJHWIMRRLKTURWGGCOUDTYWCXUKHZXKZFK  
MKFFSCTKVWKIRMQXYBBGPNEUZHBNQJEJRRKHSKOCOTDRZGNGKSVBKZGZHCWOWJIQGFJSOUDNJVSEQSSLXQCWFZYYWKPKNVSLNXVKHRVKZXWVOY  
XXRBVTLVGGZXTSLPTICSWXUWNXWSVBSRKGHIRBVBKCGDYSGGJCSKLYIONXQVRTRFERLAFKVLRRRWTQCHZXIZTXWVBUX

YHVFZJPVGPZHSRJMZZ  
TWCCEKLMCIGBWSFYMLHR  
XYSOXMMWFZHXSORFWJIJ  
YMSBVGLOILTDBMTILRCT  
XZFFTKQEBEKCZGBZRIJ  
DSSCYPVSVVXVGTWNSRI  
BGSCYXTRKRTZV

NFBYBCBTGWCYOGBFWEQG  
UQXOSRNEOSVSNJKYTAZG  
KFGNDRMMUARNLKBEBMYT  
YMLYFIALBVQTDJMKWOY  
UXKFKIXGUNJHORKKHWS  
NELWYNLKKVXTZSIXXVKR  
NDGSIQRLVRQXXB

CUAXSZFSKURKJMVBRJGL  
OFIGSFTIAABKSZLSFJXB  
OZIBWDVYETIKLLVHVMAG  
OVXMWSYFAECDXKHRGTUW  
KKMSVRYPZORSTGSZZOGO  
JQXFWKNHZORLXLCUWBGB  
KYGKOVFASRCIXU

JGVIRGCUWHFFCMUWJILH  
FCUTLSCKJMLVUWAFYFVN  
KFYSKKPVFXKKIDPWOFFK  
LDZMSCYTGMMZFGWRUGDC  
HZKGWMBNHQRKDNVGCJFU  
VSQZKVVXRYBVSPSWXSHV  
CYJLNREFLWHZWX

$$\kappa_o = 0.0425$$

$$\kappa_o = 0.0404$$

$$\kappa_o = 0.0405$$

$$\kappa_o = 0.0432$$

- Rateversuch: Schlüssellänge  $K = 4$
- Teile Text in 4 Blöcke auf
- Bestimme Koinzidenzindex für jeden Block  
Erinnerung:

$$\kappa_p = 0.067 \text{ (englisch), } \kappa_r = 0.0385 \text{ (zufällig)}$$

# Friedman Test: Anwendung

YNCJHFUGVBVAVFYXIZBSRJCZGPBFCVTSUGGKWPWUHZCRFHYKFSOJCPCMMRBVUJFBWMWRJWEJIZGGLZGLHTUOFWQFCCXIUCOGTESSLKRFLNTCME  
 IKCOAJISAMGVBLSKVNNSUSJZWFKLAYYSFMTFYLAJFHZZWRGBNKKOKYFZFSGIYONBSXDWKM RDKMMVPWMYVFUEFZATXHRIKXNKKSLLIOKLDRBVP  
 FEHWBVOJMMFIYAFJTGKYYOLMMVDSLXZBYMMVFWSGISCLAYYOLF TIBAGLVEMTQCMDTDZBDFMSKGTJHWIMRRLKTURWGGCOUDTYWCXUKHXKZFK  
 MKFFSGTKVWKIRMQXYBBGNPNEUZHBNQOEJRRKHSKOTDZRGNGKSVBKZGZHCRWOJIQGFJSOUDNJVSEQSSLXQCWFZYIWKPNKVS LNXXV KHRVKZXWVOY  
 XXRBVTLVGGZSTSLPTICSWXUWNXWSVBSRKHGHIRVBVNKCGDYSGGJCSKLYIONXQVRTRFERLAFKVS LRRRWTQCHZIXIZTXWVBUX

YFAIJSBZWYJMJWJ  
 LTQITKNIJGSSWYT  
 JWXFISMMYFHNLDL  
 BMFYMXMGAFGTTXG  
 IKGDXXMGKXPHEHT  
 NBHOFDEXZPLHXXT  
 XPWBHBDGLXRALT  
 XXX

NUVZCFUPCKCRFRI  
 ZUFUERTKIVKUFYF  
 FRKZYXRVVZRKIRE  
 VFJYVZVIYTLQDFT  
 MTGTUKKTIYNBJSD  
 GKZJNQYNNRWXL  
 STXWSINYJYQFFRQ  
 IW

CGFBZCGWRFPBBJZ  
 GOCCSFCCSBVSKSY  
 HGOFODDPFAIKOBH  
 OITODBFSYIVCZMJ  
 RUCYKZFKRBNRKC  
 KZCISJSCYKXVVRV  
 TIUXRRKYCIVEKRC  
 ZV

JVYSGVGVFSGVWVG  
 LFCOSSMOALWJLFL  
 ZBKSNWKWUTKSKVW  
 JYGLSYWCOBEMBSH  
 RROWHFFVMBUORCR  
 SGRQOVSWVVKOBG  
 SCWSKBCSSORRVRH  
 TB

HBXRPTKHHOMUMEG  
 HWXGLEAMBNZAMA  
 XNYGBKMMEXLLPW  
 MAKMLMSLLAMDDKW  
 LWUCZKSWQZGKOG  
 VZWGUSLFKSKZYVZ  
 LSNVGVGGKNTLSWZ  
 XU

$$\kappa_o = 0.0523$$

$$\kappa_o = 0.0496$$

$$\kappa_o = 0.0517$$

$$\kappa_o = 0.0601$$

$$\kappa_o = 0.0511$$

- Rateversuch: Schlüssellänge  $K = 5$
- Teile Text in 5 Blöcke auf
- Bestimme Koinzidenzindex für jeden Block

Erinnerung:

$$\kappa_p = 0.067 \text{ (englisch), } \kappa_r = 0.0385 \text{ (zufällig)}$$

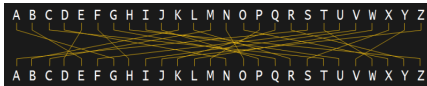
# Enigma

- Von den Deutschen im 2. Weltkrieg zur Verschlüsselung verwendet
- Von den Alliierten gebrochen (ohne Wissen der Deutschen)



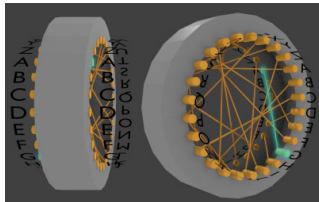
# Enigma Funktionsweise

- Grundlage: Substitutionschiffre



- Rotoren ändern die Substitution nach jedem Buchstaben

initial position	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕
	G	E	T	N	D	H	Q	Z	U	P	B	R	C	O	X	M	K	Y	A	W	F	I	L	S	V	J
first turn	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕
	J	G	E	T	N	D	H	Q	Z	U	P	B	R	C	O	X	M	K	Y	A	W	F	I	L	S	V
second turn	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕
	V	J	G	E	T	N	D	H	Q	Z	U	P	B	R	C	O	X	M	K	Y	A	W	F	I	L	S
third turn	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕
	S	V	J	G	E	T	N	D	H	Q	Z	U	P	B	R	C	O	X	M	K	Y	A	W	F	I	L



- Anfangsposition der Rotoren entspricht dem Schlüssel





# Enigma Funktionsweise

- Aus den Anfangspositionen der Rotoren erhält man

$$26 \cdot 26 \cdot 26 = 17\,576$$

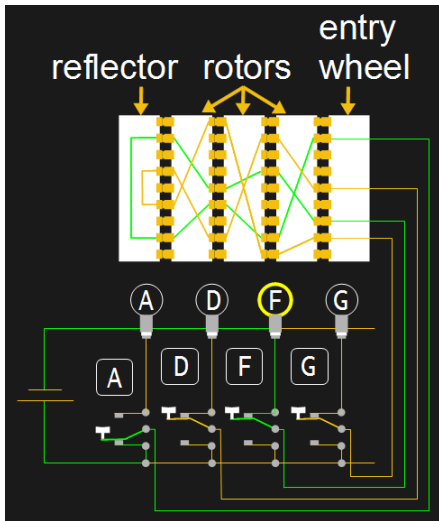
mögliche Verschlüsselungen für einen Buchstaben

- Es gibt mehrere mögliche Rotoren (numeriert mit I bis VII) von denen 3 Stück (in beliebiger Reihenfolge) ausgewählt werden

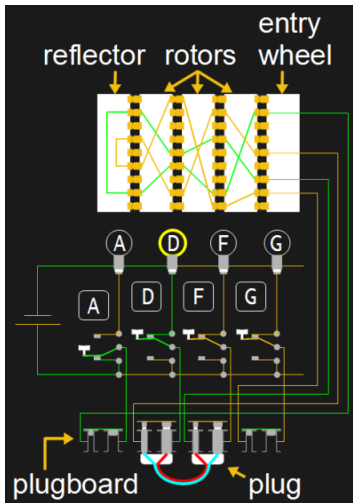
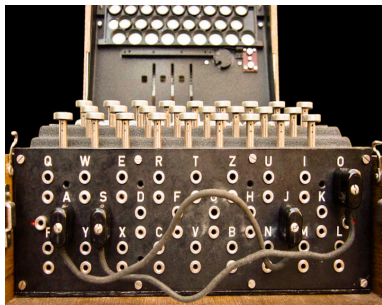
$$\rightarrow 8 \cdot 7 \cdot 6 = 336 \text{ Möglichkeiten}$$

Insgesamt:  $17\,576 \cdot 336 = 5\,905\,536$  Möglichkeiten

# Enigma: Innerer Aufbau



# Enigma: Steckerbrett



→ bis zu 158 962 555 217 826 360 000 Möglichkeiten

- Verwende Python3 Implementation pyenigma
- Crib attack (Teil des Klartexts ist bekannt)
- Brute force ohne Steckerbrett

Die folgende Nachricht wurde abgefangen. Wir wissen, dass irgendwo in der Nachricht der Wetterbericht steht. Heute hat es geregnet.

Der Rest der Nachricht enthält den letzten Voucher.  
OXSTMZLWDZYSCHIZOUFKTLRYHWNDPBNQQLBVWLQMUT  
WPYBHFICHBCFABQBPPUZKHSWGAJAPJRETCRABZLFJT

Hier der gleiche Text mit einer anderen Walzenstellung:

JJSSHINCLYLAQUVENENTYRQOYYLNOLNVCUFPWYHIPH  
TLWUZBRJXEJNOHLUTIXAWFEQRPBHYFILLPDAUJDQTP

## Weitere Themen

- Buch-Verschlüsselung
- Known Plaintext Angriffe
- RSA

## Webseiten zum Thema:

<https://www.cryptool.org/en/cto-ciphers/caesar>

<https://cryptii.com/>

<https://www.guballa.de/substitution-solver>

<https://www.dcode.fr/en> <https://hackaday.com/2017/08/22/the-enigma-enigma-how-the-enigma-machine-worked/>