BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

SPIONCAMP

Kofferinhalt

Dieser Koffer enthält alle Materialien, die zur Durchführung des Stationenlernens »SpionCamp - Lernstationen zur Kryptographie« im Unterricht notwendig sind.

Allgemeines Material

- Metallkoffer mit Fächeraufteilung und Spion-Logo, 13 Fähnchenhalter und 17 Fähnchen zur Markierung des Schwierigkeitsgrads der aufgebauten Stationen (und für das Winker-Alphabet)

Stationsmaterial

Codierung

- Station Morse-Alphabet:
  1 Stationsblatt (laminiert), 1 Arbeitsblatt, 1 Lösungsblatt, Morse-Alphabet (laminiert), 1 Taschenlampe mit Blinkfunktion
- Station Braille-Alphabet:
  1 Stationsblatt (laminiert), 1 Arbeitsblatt, 1 Lösungsblatt, Steckvorlage (laminiert) auf Hartschaumplatte, Landkartennadel
- Station Winker-Alphabet:
  1 Stationsblatt (laminiert), 1 Arbeitsblatt, mehrere Fähnchen

Steganographie

- Station Steganographie:
  1 Stationsblatt (laminiert), 1 Lösungsblatt

Transposition

- Station Skytale:
  1 Stationsblatt (laminiert), 1 Arbeitsblatt, 1 Lösungsblatt, 3 Skytale (Stöcke verschiedenen Durchmessers), 6 Nachrichten für die Skytale
- Station Schablone:
  1 Stationsblatt (laminiert), 1 Blatt mit 3 verschlüsselten Nachrichten, 1 Nachrichtenvorlage, 1 Arbeitsblatt, 1 Lösungsblatt, 3 Schablonen
- Station Pflügen:
  1 Stationsblatt (laminiert), 1 Arbeitsblatt, 1 Lösungsblatt

Substitution

- Station Freimaurer:
  1 Stationsblatt (laminiert), 1 Arbeitsblatt, 1 Lösungsblatt
- Station Caesar:
  1 Stationsblatt (laminiert), 1 Arbeitsblatt, 1 Lösungsblatt, 1 Caesarscheibe in CD-Hülle
- Station Playfair:
  1 Stationsblatt (laminiert), 1 Arbeitsblatt, 1 Lösungsblatt
- Station Enigma:
  1 Stationsblatt (laminiert), 1 Arbeitsblatt, 1 Lösungsblatt, 2 Rotoren in CD-Hüllen
- Station Vigenère:
  1 Stationsblatt (laminiert), 2 Arbeitsblätter, 1 Lösungsblatt

Schlüsselaustausch

- Station Modulo:
  1 Stationsblatt (laminiert), 1 Arbeitsblatt, 1 Lösungsblatt,
- Station Diffie-Hellman-Algorithmus:
  2 Stationsblätter (laminiert), 1 Arbeitsblatt

Die Buchstaben bleiben **wo** sie sind, aber nicht **was** sie sind. (Aber jeder kann nachschlagen, was sie bedeuten!) Man nennt so etwas einen **Code**. Mit einem Code soll nichts geheim gehalten werden.

An der Station findet ihr verschiedene Codes:

- Morse-Alphabet: Damit kann man sich mit Lichtzeichen verständigen.
- Braille-Schrift: Damit können Blinde lesen.
- Winker-Alphabet: Damit kann man sich in Sicht, aber außer Hörweite verständigen.

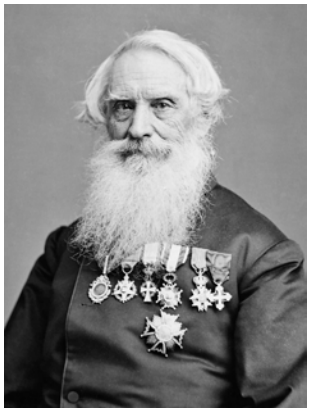
Aufgabe 1 Suche dir einen dieser drei Codes aus. Zu jedem Code gibt es an der Station eine Karte, mit der du den Code näher kennenlernen kannst.

Aufgabe 2 Im täglichen Leben gibt es jede Menge Codes. Fallen dir Beispiele ein?

Morse-Alphabet

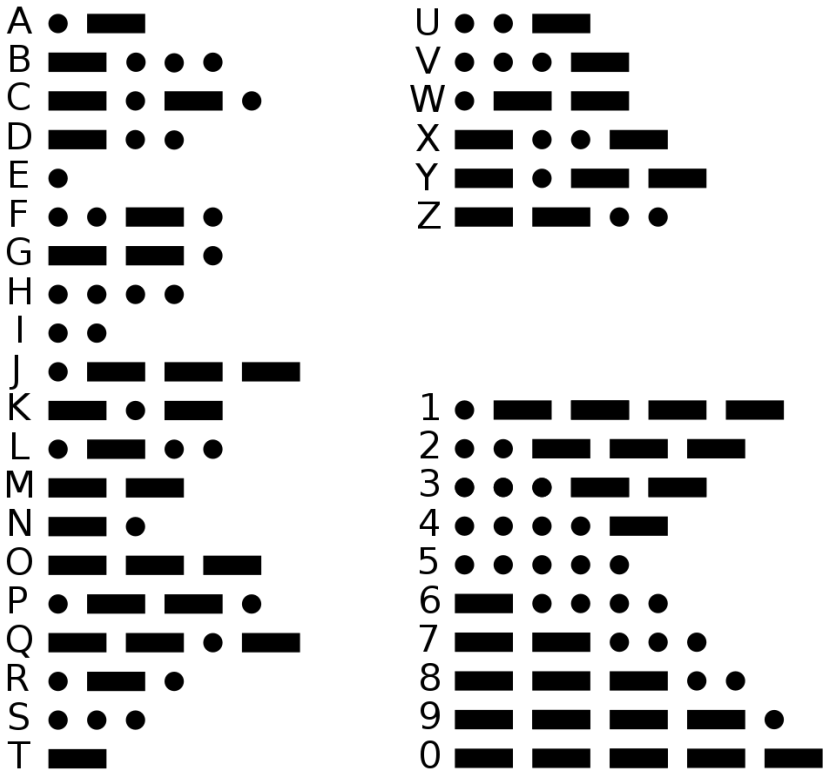
Codierung

Die Buchstaben bleiben **wo** sie sind, aber nicht **was** sie sind. (Aber jeder kann nachschlagen, was sie bedeuten!) Man nennt so etwas einen **Code**. Mit einem Code soll nichts geheim gehalten werden.



1832, noch vor der Erfindung des Telefons, erfand der Amerikaner Samuel Morse einen Apparat, den Morsetelegraphen. Mit dessen Hilfe konnten Nachrichten über große Entfernungen hinweg übermittelt werden. Dazu wurden so genannte Telegraphenmasten aufgestellt und Leitungen durch das ganze Land gespannt. Es konnten allerdings keine gesprochenen Worte übertragen werden, sondern lediglich kurze und lange elektrische Impulse.

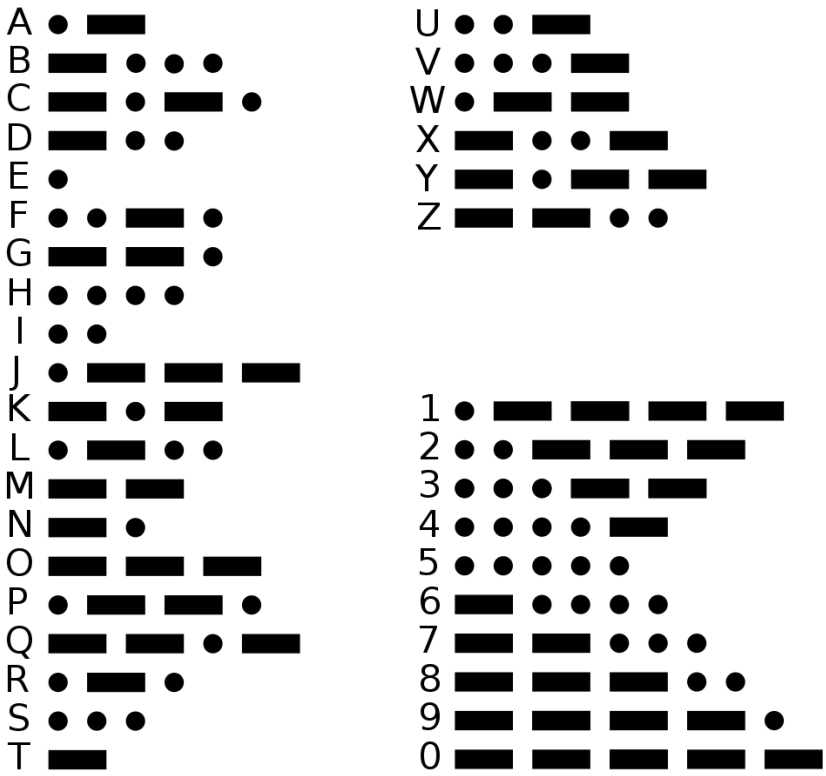
Deshalb dachte sich Samuel Morse ein Alphabet aus, das nur aus kurzen und langen Signalen bestand:



Für die Übertragung von Morsezeichen kann man auch Lichtzeichen verwenden. Zwischen den Buchstaben wird eine kurze Pause gemacht. Zwischen den Wörtern eine etwas längere.

v2 – 29. Mai 2012

Morsealphabet-Tabelle



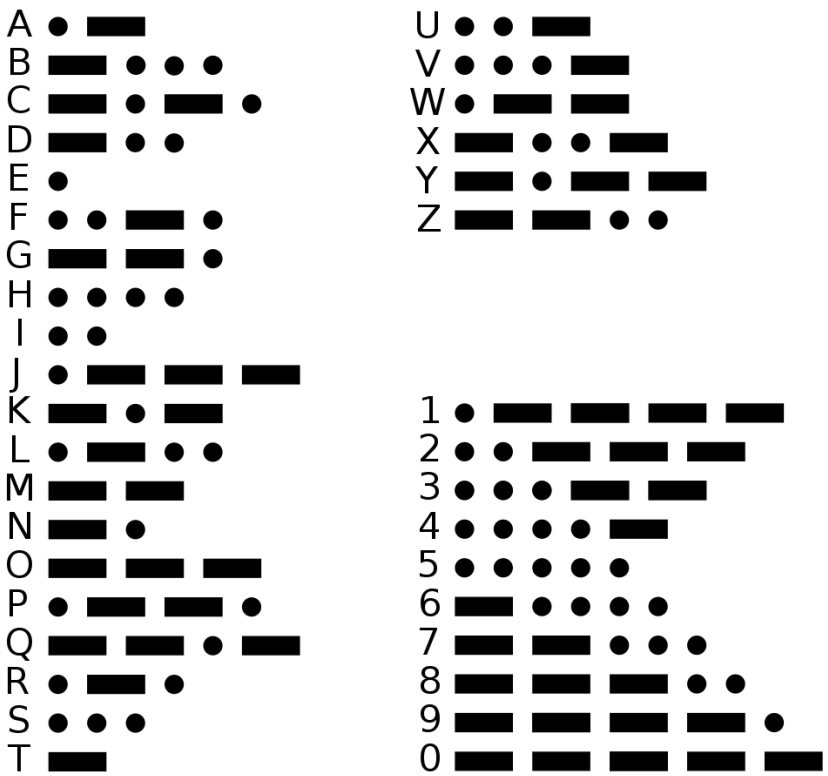
v2 17. November 2011

Aufgabe 1 Könnt ihr folgende Nachricht verstehen?

.... .- .-.. .-.. - - -

Aufgabe 2 Wie lautet das Morse-Signal für SOS? (Das ist das internationale Hilfesignal.)

Aufgabe 3 An der Station findet ihr eine Taschenlampe. Stellt euch zu zweit mit ein paar Metern Entfernung gegenüber auf, jeder mit einem Morse-Alphabet. Buchstabiert euch mit der Taschenlampe gegenseitig jeweils ein Wort.



v2 22. November 2011

Lösung 1 **HALLO**

Lösung 2 `...` `---` `...` ist das Zeichen für SOS.
In Not wird aber nicht »SOS SOS ...« gefunkt, sondern immer »S« und »O« abwechselnd.

Die Buchstaben bleiben **wo** sie sind, aber nicht **was** sie sind. (Aber jeder kann nachschlagen, was sie bedeuten!) Man nennt so etwas einen **Code**. Mit einem Code soll nichts geheim gehalten werden.

Louis Braille (geboren 1808 in Frankreich) wurde im Alter von 3 Jahren nach einem Unfall blind. Mit 14 Jahren entwickelte er eine Schrift, die auch Blinde lesen können. Sie besteht aus erhöhten Punkten, die mit den Fingern zu ertasten sind.
Es gibt für Blinde viele Bücher in Blindenschrift. Für den Computer gibt es spezielle Braille-Zeilen, mit denen auch Blinde z. B. im Web surfen können.
Obwohl es auch noch andere Schriftarten mit erhöhten Zeichen gibt, ist die Braille-Schrift heute am weitesten verbreitet.

Tafel mit Braille-Zeichen

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
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0			

Dir ist vielleicht aufgefallen, dass z. B. »1« und »A« durch dasselbe Braille-Zeichen dargestellt werden. Damit man weiß, was gemeint ist, wird einer Zahl ein bestimmtes Zeichen vorangestellt. Geht es danach mit Buchstaben weiter, wird das Zeichen für »Buchstabe« geschrieben. Diese vorangestellten Zeichen heißen auch **Präfixe**. Du findest die Zeichen in der Abbildung rechts.

Zahl	Buchstabe

Beispiel

21 Äpfel

Es gibt auch Zeichen für Klammern, Umlaute, Groß- und Kleinschrift und andere spezielle Zeichen. Diese wurden hier weggelassen.

v2 – 16. November 2011

Stecke einen Text. Probiert zu zweit aus, ob die/der jeweils andere den Text mit dem Finger erfühlen kann. Nimm die Tabelle auf dem Stationsblatt für die Buchstabencodes hinzu.

Du brauchst Stecknadeln (nicht zu lang!) zum Stecken der Braille Schrift.

v2 – 16. November 2011

Aufgabe 1 Kannst du folgende Nachricht verstehen?

Aufgabe 2 Aufgabe 1 war ziemlich leicht. Kannst Du auch das hier »lesen«?

Aufgabe 3 An der Station findet ihr ein Blatt, auf dem ihr selbst Nachrichten »schreiben« könnt. Arbeitet im Team. Eine(r) schreibt ein Wort durch Stecken der Nadeln auf das Brett. Die/der andere liest dann wie ein Blinder — Augen schließen. Nicht schummeln! — und versucht, die Nachricht zu ertasten. Beschreibt eurem Partner Buchstabe für Buchstabe, welche Punkte erhöht sind. Zum Beispiel für ein **N**:

oben links, oben rechts, mitte rechts, unten links

Der Sehende kann dann nachschauen, welcher Buchstabe das ist. Wechselt nach dem Wort die Rollen.

v2 – 16. November 2011

Lösung 1 **SPIONCAMP**

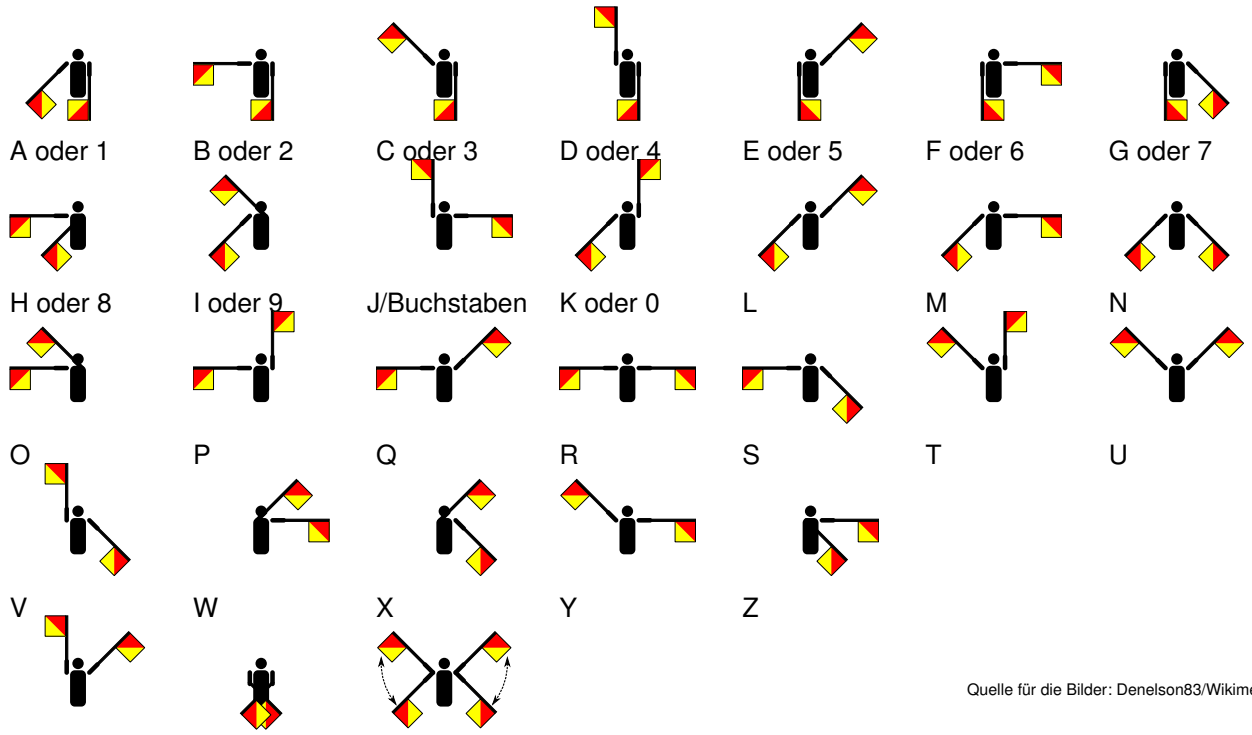
Lösung 2 **DIE ANTWORT IST 42**

Winkeralphabet

Codierung

Die Buchstaben bleiben **wo** sie sind, aber nicht **was** sie sind. (Aber jeder kann nachschlagen, was sie bedeuten!) Man nennt so etwas einen **Code**. Mit einem Code soll nichts geheim gehalten werden.

Das Winkeralphabet stammt aus der Seefahrt. Man kann sich damit verständigen, wenn man sich in Sichtweite aber außer Hörweite voneinander befindet. Man nimmt zwei Flaggen in die Hände und zeigt durch Stellung der Arme bestimmte Zeichen an.



Quelle für die Bilder: Denelson83/Wikimedia

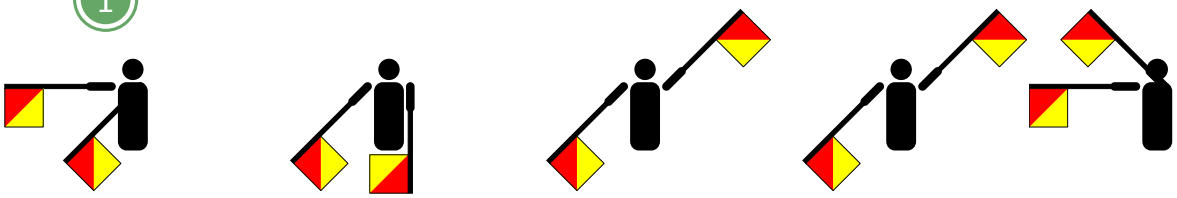
Einige Zeichen sind doppelt belegt: das erste Zeichen kann zum Beispiel »A« oder »1« bedeuten. Möchtest du eine Ziffern senden, winkst du einmal das Zeichen für »Ziffern«. Für Buchstaben nach Ziffern, das Zeichen »J«.

Kennt ihr dieses Zeichen?

Es wurde 1958 erfunden und soll *atomare Abrüstung* symbolisieren. Atomare Abrüstung heißt auf Englisch *Nuclear Disarmament*. Die Zeichen für N und D aus dem Winkeralphabet wurden zu diesem Zeichen kombiniert. (Der senkrechte Strich ist das D, die beiden schrägen das N.)

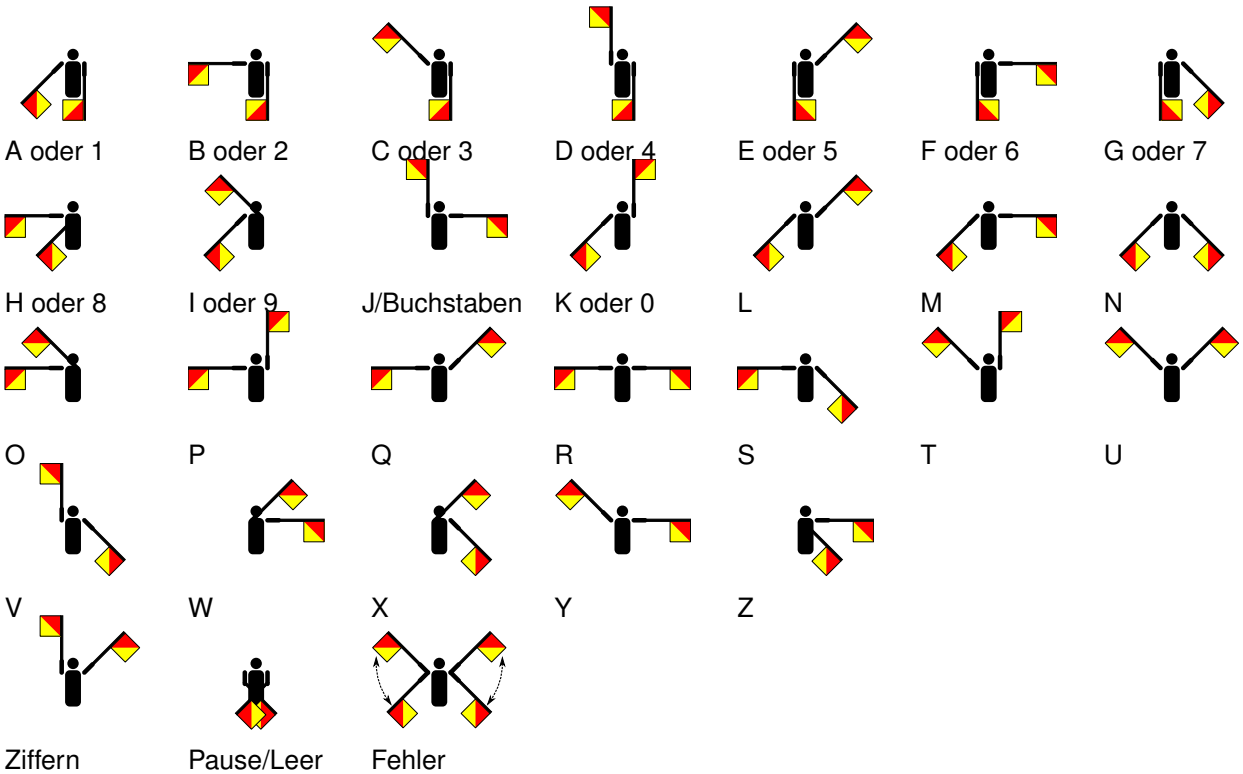
v1 22. November 2011

Aufgabe 1 Entschlüssele folgende Nachricht!

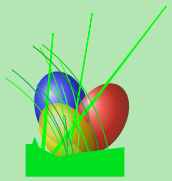


Aufgabe 2 An der Station findet ihr Flaggen. Nehmt jeder zwei und stellt euch mit ein paar Metern Entfernung gegenüber auf. Buchstabiert euch mit den Flaggen gegenseitig jeweils ein Wort.

Das Winkeralphabet



v1 22. November 2011



Die Buchstaben bleiben **was** sie sind, aber man erkennt nicht, **wo** die Nachricht ist. Das ist eigentlich gar keine Verschlüsselung, man nennt das **Steganographie**. (Das Wort Steganographie ist abgeleitet von den griechischen Wörtern *steganos* = bedeckt und *graphein* = schreiben.)

Bei der Steganographie werden Nachrichten in Medien versteckt, z.B. in Bildern. Wenn du dir das Bild nur kurz ansiehst, fällt dir gar nicht auf, das hier eine Nachricht enthalten sein könnte.
Texte oder Bilder, in denen Nachrichten versteckt wurden, heißen *Semagramme*.

Aufgabe 1 Kannst du die Nachricht in dem folgenden Semagramm lesen?
Es ist nicht ganz einfach, da die Nachricht vor dem Verstecken codiert wurde.
Tipp: Sieh dir die Stationen zur Codierung nochmal an.

Bild: Emma, 3 Jahre (dem Bild wurde dann die (codierte) Nachricht hinzugefügt)

Lösung 1

Das Bild enthält eine Nachricht im Morsecode. Die Grashalme haben lange und kurze Stengel und sind zu Büscheln (= Buchstaben) zusammengefasst. Die Nachricht lautet also:

(LEHRER SIND DOOF)

v1 23. November 2011

Skytale

Transposition

Die Buchstaben bleiben **was** sie sind, aber nicht **wo** sie sind.
Solche Verschlüsselungen heißen **Transposition**. (Das Wort *Transposition* ist abgeleitet vom lateinischen Wort *transponere* = verschieben.)

Eine der ältesten bekannten Verschlüsselungen ist eine Transposition. Die Regierung von Sparta benutzte vor über 2500 Jahren zur Verschlüsselung eine sogenannte **Skytale**. Das ist ein Zylinder, um den ein schmaler Streifen aus Pergament gewickelt wurde. Auf dieses Pergament wurde die Nachricht von links nach rechts geschrieben.

Wurde nun der Streifen abgewickelt, standen die Buchstaben untereinander aber nicht mehr in der richtigen Reihenfolge.
Zur Entschlüsselung musste der beschriebene Streifen wieder um eine Skytale mit gleichem Umfang gewickelt werden.

HOHNAEILGISLEM

HOHNAEILGISLEM

HOHNAEILGISLEM

WKTCEEHRNM?NI

WKTCEEHRNM?NI

WKTCEEHRNM?NI

FHTHUZEESELNCTC

FHTHUZEESELNCTC

FHTHUZEESELNCTC

SSRTOTIISCGIH

SSRTOTIISCGIH

SSRTOTIISCGIH

HGEDREIRRN

HGEDREIRRN

HGEDREIRRN

IAENNJSDEOIRN

IAENNJSDEOIRN

IAENNJSDEOIRN

Aufgabe 1 An der Station findest du einige *Skytale-Nachrichten* und auch verschiedene *Skytalen*. Kannst du die Nachrichten entschlüsseln?

Aufgabe 2 Worauf müssen sich Sender und Empfänger geeinigt haben, bevor sie sich *Skytale-Nachrichten* schicken? Was darf niemand außer ihnen wissen?

Aufgabe 3 Kannst du folgende Nachricht ohne Skytale »knacken«?

K R C I O G H N M E B X M N E D M N R K O A L P

(Warum ist das »knacken« und nicht »entschlüsseln«?)

Lösung 1

Es gibt folgende Nachrichten:

HALLO GEHEIMNIS
WER KENNT MICH?
FUSCHZETTELCHEN
SO ISTS RICHTIG
HERR DER RINGE
INDIANER JONES

Lösung 2

Beide müssen sich auf den Durchmesser der Skytale geeinigt haben.

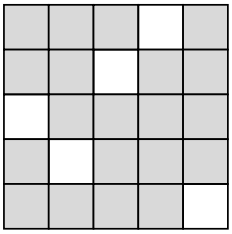
Lösung 3

KOMM MORGEN NACH BERLIN (XDP)

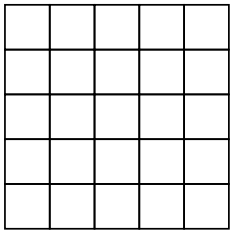
Es ist »knacken«, weil der Schlüssel nicht zur Verfügung steht.

Die Buchstaben bleiben **was** sie sind, aber nicht **wo** sie sind.
So eine Verschlüsselung heißt **Transposition**. (Das Wort *Transposition* ist abgeleitet vom lateinischen Wort *transponere* = verschieben.)

Du brauchst für die Schablonen-Verschlüsselung eine Lochschablone. Das ist ein Papier, das an bestimmten Stellen Löcher hat. Beide Personen, der Sender und der Empfänger, benötigen die gleiche Schablone.



Lochschablone

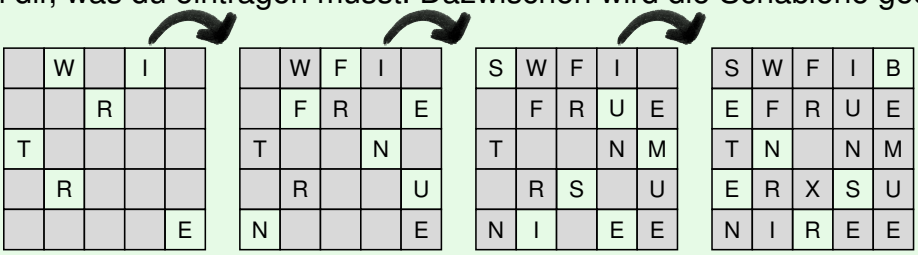


kariertes Papier

Mit dieser Art Schablone verschlüsselst du so:

- Du legst die Schablone auf ein leeres Papier und trägst die ersten Buchstaben der Nachricht in die Löcher ein.
- Danach drehst du die Schablone im Uhrzeigersinn um 90 Grad und trägst die nächsten Buchstaben der Nachricht ein.
- So fährst du fort, bis du alle vier Stellungen der Schablone benutzt hast. Ist die Nachricht länger, beginnst du mit einem neuen Quadrat. Ist sie kürzer, werden übrige Felder mit irgendwelchen Buchstaben gefüllt.
- Bei Schablonen mit ungerader Zeilen- und Spaltenanzahl bleibt immer ein Buchstabe in der Mitte frei. Dieser muss anschließend frei gewählt werden.

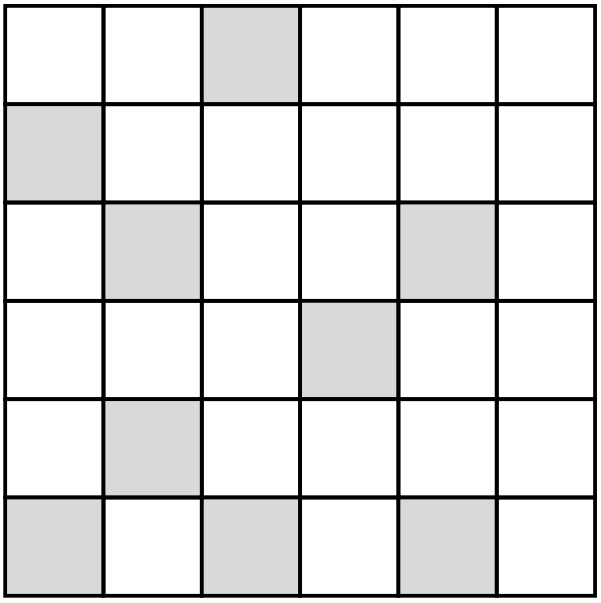
Beispiel Du möchtest z.B. den Text WIR TREFFEN UNS UM SIEBEN verschlüsseln (21 Buchstaben). Du brauchst eine Schablone, die alle Buchstaben aufnehmen kann, z.B. eine Schablone mit 5 Zeilen und 5 Spalten. Die folgenden Bilder zeigen dir, was du eintragen musst. Dazwischen wird die Schablone gedreht.

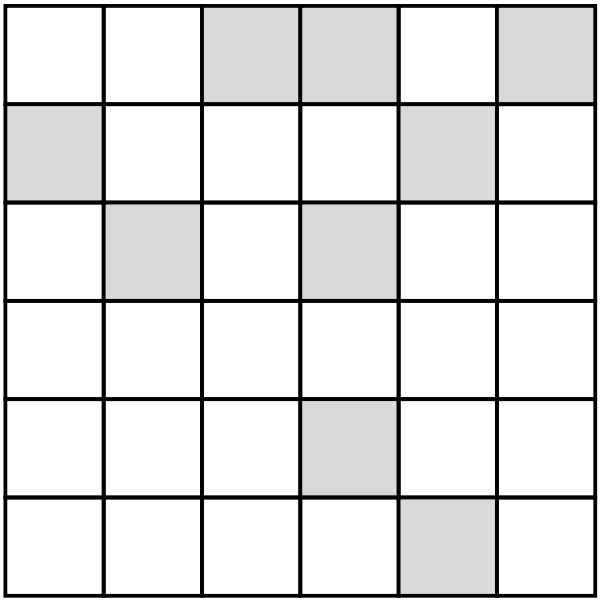


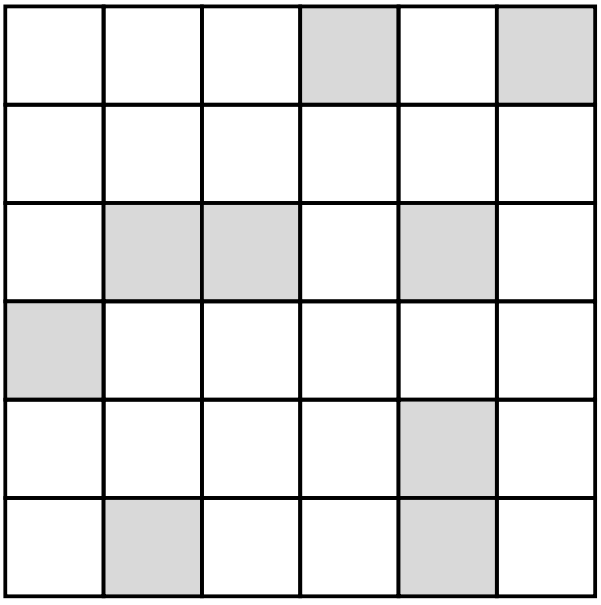
In der Mitte ist noch ein Buchstabe frei geblieben. Diesen kannst du beliebig setzen, z. B. »S«. Daraus ergibt sich dann der verschlüsselte Text SWFIBEFRUETNSNMERXSUNIREE.

v2 – 22. März 2012

Vorlagen für Schablonen







Die Schablonen ausschneiden und laminieren. Anschließend die Fenster (die dunkleren Felder) ausschneiden.

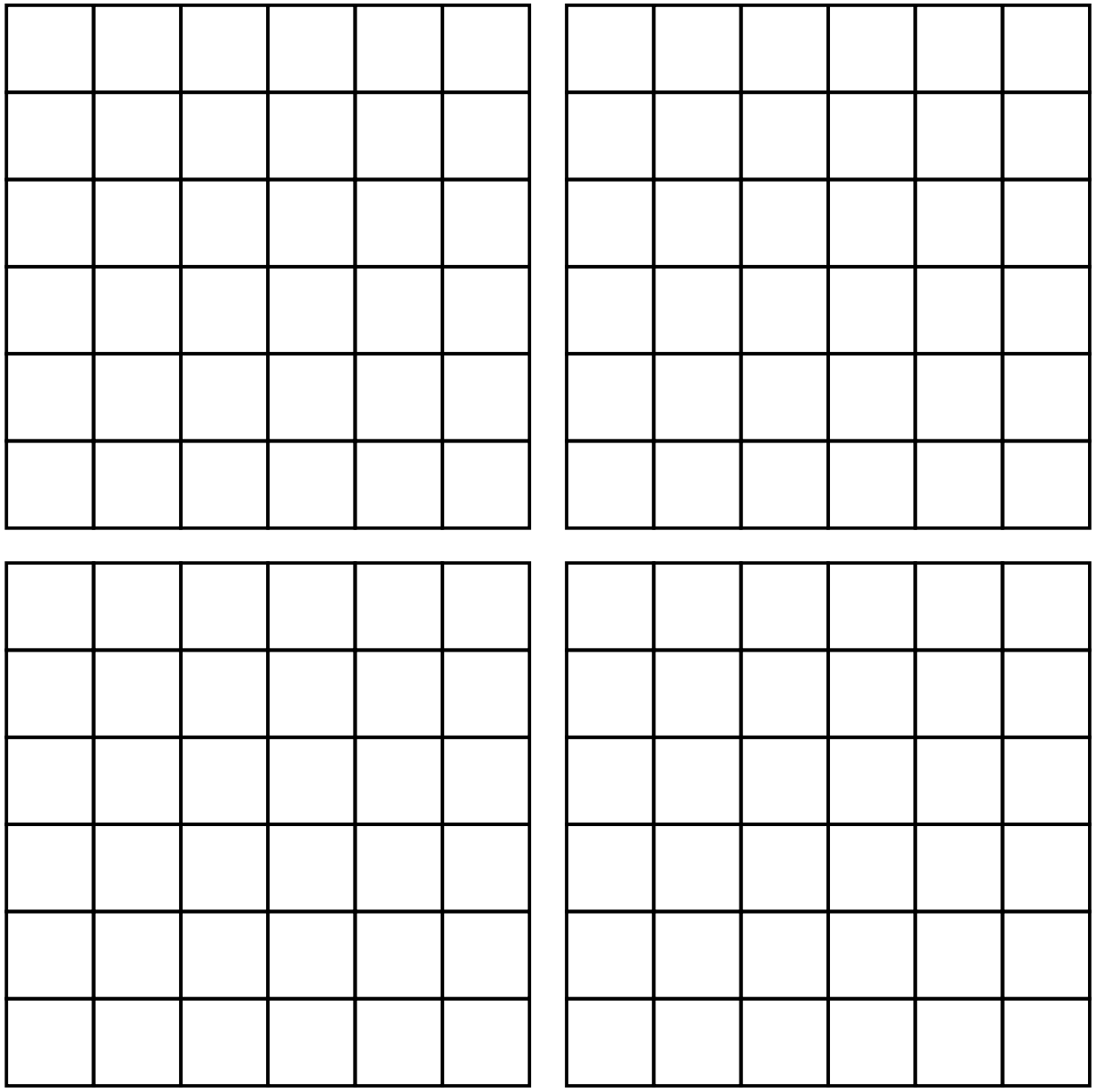
Texte zum Entschlüsseln

S	U	I	D	N	E	C	E	D	R	H	T
E	T	C	G	H	U	I	T	5	Z	S	S
B	R	B	T	R	E	E	E	I	E	N	R
I	R	L	S	T	I	K	C	S	A	H	U
N	D	A	E	E	D	T	C	N	O	D	I
E	F	N	E	L	R	H	E	R	N	I	N

E	O	V	O	O	R
S	M	S	R	I	M
A	C	R	H	K	D
T	E	I	R	O	E
X	N	X	T	P	A
U	Y	F	D	V	L

v2 – 22. März 2012

Vorlagen für Texte und Schablonen



Zum Basteln eigener Schablonen schneide bitte die Quadrate aus. Schneide dann noch einzelne kleine Kästchen aus.

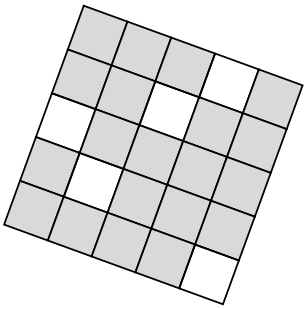
v2 – 22. März 2012

Aufgabe 1 Du findest an der Station einige verschlüsselte Nachrichten. Kannst du sie mit den Schablonen entschlüsseln?

Aufgabe 2 Schreibt euch gegenseitig eine Nachricht mit einer der Schablonen an der Station.

Aufgabe 3 Erkennst du das Muster, wie eine solche Schablone aufgebaut ist?
Überlege dir die Antwort anhand folgender Hilfsfragen: Wie dürfen die Löcher angeordnet sein? Wie viele Kästchen musst du ausschneiden, damit am Ende alle Kästchen komplett mit Buchstaben ausgefüllt sind? Wenn ein Kästchen ausgeschnitten ist, welche anderen Kästchen dürfen dann nicht ausgeschnitten werden?

Aufgabe 4 Entwirf selbst eine Schablone und verschlüssele mit deiner eigenen Schablone eine Nachricht.



v2 – 22. März 2012

Lösung 1

Text oben links:
DER BRIEF LIEGT IN DER UNTERSTEN SCHUBLADE (Schablone 3)
Text oben rechts:
DIE NACHRICHT ZERSTOERT SICH IN 5 SEKUNDEN (Schablone 1)
Text unten:
VORSICHT VOR DER EXPLOSION AUF DEM MARKT (Schablone 2)

Lösung 2

»eigene Lösung«

Lösung 3

Einen Vorschlag für die Lösung siehst du in der nachfolgenden Abbildung. Hier sind vier Ringe dargestellt. Du darfst bei der Schablonenproduktion aus jedem Ring jede Zahl nur einmal als Fenster verwenden.

1	2	3	4	5	1
5	1	2	3	1	2
4	3	1	1	2	3
3	2	1	1	3	4
2	1	3	2	1	5
1	5	4	3	2	1

Du drehst die Schablone nach jedem Schritt um 90 Grad. D.h. du füllst viermal Kästchen aus oder liest diese aus. Also kannst du insgesamt ein Viertel der Kästchen ausschneiden.

Lösung 4

»eigene Lösung«

Pflügen

Transposition

Die Buchstaben bleiben **was** sie sind, aber nicht **wo** sie sind.
Solche Verschlüsselungen heißen **Transposition**. (Das Wort *Transposition* ist abgeleitet vom lateinischen Wort *transponere* = verschieben.)

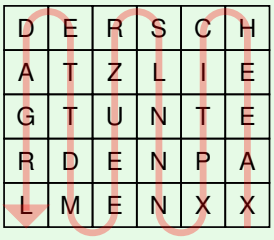
Das Pflügen zeigt dir, wie man durch Anordnen und Neuordnen von Buchstaben verschlüsseln kann. Pflügen geht so:

- Lege fest, wieviele Buchstaben in eine Zeile geschrieben werden sollen. Das ist der Schlüssel.
- Schreibe deinen Text auf, aber in jede Zeile nur so viele Buchstaben, wie vorher festgelegt. Die letzte Zeile wird mit beliebigen Buchstaben aufgefüllt.
- Der verschlüsselte Text entsteht, indem du nun die letzte Spalte von unten nach oben aufschreibst, danach die vorletzte Spalte von oben nach unten und so weiter.

Beispiel Der Text **DER SCHATZ LIEGT UNTER DEN PALMEN** soll verschlüsselt werden. Du wählst als Schlüssel zum Beispiel die **6** und schreibst die Buchstaben so auf:

D	E	R	S	C	H
A	T	Z	L	I	E
G	T	U	N	T	E
R	D	E	N	P	A
L	M	E	N	X	X

Ist die Nachricht zu kurz, dann wird einfach mit beliebigen Buchstaben aufgefüllt, bis der Kasten voll ist. Wie der Pfeil zeigt, schreibst du die Buchstaben nun ab. Die Reihenfolge ähnelt dem Pflügen eines Felds.



Du schickst die Nachricht **XAEEHCITPXNNNLSRZUEEMDTTEDAGRL** ab.

v3 – 29. Mai 2012

Aufgabe 1 Versuche, die folgende »gepflügte« Nachricht zu entschlüsseln. Der Schlüssel ist **6**.

X G C N E I T M I S R S E H I E H T C I D A H E

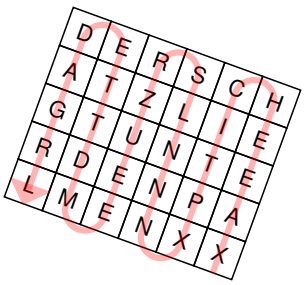
Aufgabe 2 Beschreibe, wie du eine empfangene Nachricht mit bekanntem Schlüssel (= Anzahl Buchstaben pro Zeile) entschlüsseln kannst.

Aufgabe 3 Schreibt euch gegenseitig eine Nachricht! Einigt euch auf den Schlüssel (= Anzahl Buchstaben pro Zeile)!

Aufgabe 4 Kannst du den folgenden Text ohne bekannten Schlüssel entschlüsseln? Du fängst eine Nachricht ab und möchtest herausbekommen, was darin steht. Du weißt, dass »Pflügen« als Verschlüsselungsverfahren benutzt wurde. Hier ist die Nachricht:

H I H A N N K E G C E C A O I T K S A C S N S F N T R I A D

Tipp: Die Anzahl der Buchstaben ist immer durch die zuvor festgelegte Anzahl von Buchstaben pro Zeile teilbar.



v2 23. November 2011

Lösung 1 Der Schlüssel ist 6. Da der Text 24 Zeichen hat, ergibt sich daraus ein 6x4 Rechteck. Also fange ich nach dem Pflügen-Schema rechts unten mit dem »X« an und gehe von dort aus vier Zeichen nach oben, dann in Schlangenlinien die nächste Spalte nach unten, usw. So ergibt sich das folgende Schema:

D I E S E N
A C H R I C
H T I S T G
E H E I M X

Die Nachricht lautet: Diese Nachricht ist geheim.

Lösung 2 Das Verfahren ist umgekehrt zum Verschlüsselungsvorgang. Anhand des bekannten Schlüssels und der Nachrichtenlänge kann man die Größe des Rechtecks ermitteln. Der Schlüssel entspricht der Spaltenanzahl. Die Nachrichtenlänge geteilt durch den Schlüssel ergibt die Zeilenanzahl. In dieses Rechteck wird die verschlüsselte Nachricht nach folgendem Verfahren eingetragen: Man fängt nach dem Pflügen-Schema rechts unten mit dem ersten Buchstaben an und geht von dort aus die errechnete Zeilenanzahl nach oben, dann in Schlangenlinien die nächste Spalte nach unten und so weiter. Die Nachricht kann dann von links nach rechts und Zeile für Zeile gelesen werden.

Lösung 3 Allgemeine Lösung kann nicht vorgestellt werden.

Lösung 4 Es sind 30 Buchstaben. 4 als Schlüssel scheidet damit aus. 5, 6 und 10 sind mögliche Schlüssel. Ausprobieren mit 5:

D A S K N
A C K E N
I S T G A
R N I C H
T S O E I
N F A C H

Schlüssel 5 klappt also direkt.

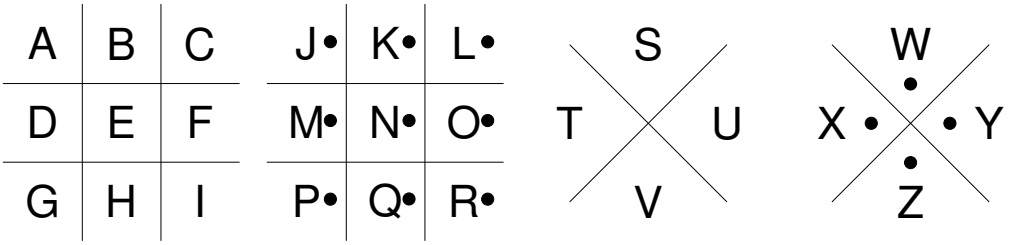
Lösung: **DAS KNACKEN IST GAR NICHT SO EINFACH**

Freimaurer

Substitution (monoalphabetisch)

Die Buchstaben bleiben **wo** sie sind, aber nicht **was** sie sind.
Solche Verschlüsselungen heißen **Substitution**. (Das Wort *Substitution* ist abgeleitet vom lateinischen Wort *substituere* = ersetzen.)

Diese Verschlüsselung, die im 18. Jahrhundert von den Freimaurern - einem Geheimbund - benutzt wurde, funktioniert so:
Zunächst schreibt man eine beliebige Reihenfolge aller Buchstaben des Alphabets in vier bestimmte Muster. Im folgenden Bild wurde die Reihenfolge von A bis Z genommen.



Zum Verschlüsseln wird jeder Buchstabe durch die Linien und Punkte ersetzt, die ihn umgeben.

Beispiel Schau dir das Bild oben an. Die Linien und Punkte, die beim **N** stehen, sehen in etwa so aus: ⊡. **N** wird immer durch dieses Zeichen ersetzt.

v2 23. November 2011

Freimaurer-Chiffre

Arbeitsblatt Substitution (monoalphabetisch)

Aufgabe 1 Kannst du folgenden Text entschlüsseln?

Aufgabe 2 Schreibt euch eine Nachricht mit dem Freimaurer-Chiffre.

Aufgabe 3 Wie kann man ohne Schlüssel die Nachrichten entziffern?

Lösung 1

VERSUCH DEIN GLUECK

Lösung 3

Über eine Häufigkeitsanalyse. Man schaut nach, welches das häufigste Zeichen ist. Das könnte das »E« sein. Ebenso verfährt man mit dem zweithäufigsten Zeichen, und so weiter. Du brauchst dazu eine Tabelle, wie häufig jeder Buchstabe in einer bestimmten Sprache vorkommt. Ein Ausprobieren aller Kombinationen wäre viel zu aufwändig.

Die Buchstaben bleiben **wo** sie sind, aber nicht **was** sie sind.
Solche Verschlüsselungen heißen **Substitution**. (Das Wort *Substitution* ist abgeleitet vom lateinischen Wort *substituere* = ersetzen.)

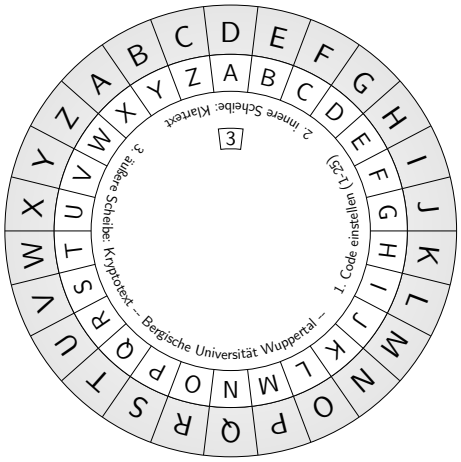
Der römische Feldherr Julius Caesar (100 bis 44 v. Chr.) verschlüsselte seine geheimen Nachrichten, indem er jeden Buchstaben durch einen anderen ersetzte. Dabei wurde der Buchstabe immer durch den um eine bestimmte Anzahl von Stellen im Alphabet verschobenen Buchstaben ersetzt. Diese Anzahl der Stellen heißt **Caesar-Schlüssel**.

Beispiel Beim Schlüssel **3** nahm Caesar immer den Buchstaben, der im Alphabet drei Stellen weiter rechts steht.
Dazu schrieb er das Alphabet zweimal untereinander. Das untere Alphabet schrieb er allerdings um drei Stellen verschoben.

	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
wird ersetzt durch	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

Caesar ersetzte also in seinem Text jedes **A** durch ein **D**, jedes **B** durch ein **E** usw. Beachte, dass **X** durch **A** ersetzt wird, also das Alphabet nach dem Z einfach mit A weitergeschrieben wird.

Damit nicht jedesmal die beiden gegeneinander verschobenen Alphabete aufgeschrieben werden müssen, kann auch eine sogenannte Chiffrierscheibe benutzt werden. In der Abbildung ist wie im Beispiel der Schlüssel 3 eingestellt.
Mit der Scheibe kannst du nun sowohl Texte verschlüsseln als auch entschlüsseln. Möchtest du verschlüsseln, dann suchst du den Buchstaben auf der inneren Scheibe und schreibst den entsprechenden Buchstaben auf der äußeren Scheibe auf. Entschlüsseln geht entsprechend umgekehrt: Hier suchst du den Buchstaben außen und schreibst den entsprechenden Buchstaben auf der inneren Scheibe auf.



v3 29. Mai 2012

Caesar

Substitution (monoalphabetisch)

Die »normale« Caesar-Verschlüsselung ist ziemlich leicht zu »knacken«. Etwas schwieriger wird es, wenn das Verfahren mit einem Schlüsselwort kombiniert wird.
Diese Verschlüsselung funktioniert so:

- Sender und Empfänger einigen sich auf ein Schlüsselwort.
- Dieses Wort schreibst du unter ein normales Alphabet. Buchstaben, die doppelt vorkommen, lässt du dabei weg.
- Anschließend wird das Alphabet mit den noch nicht benutzten Buchstaben, in alphabetischer Reihenfolge beim letzten Buchstaben des Schlüsselworts beginnend, aufgefüllt. Kein Buchstabe darf doppelt vorkommen.

Beispiel Schlüsselwort: GEHEIMSCHRIFT. Dieses Schlüsselwort wird unter das Alphabet geschrieben, doppelte Buchstaben werden dabei weggelassen.

	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
wird ersetzt durch	G	E	H	I	M	S	C	R	F	T																

Nun wird mit den restlichen Buchstaben aufgefüllt.

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

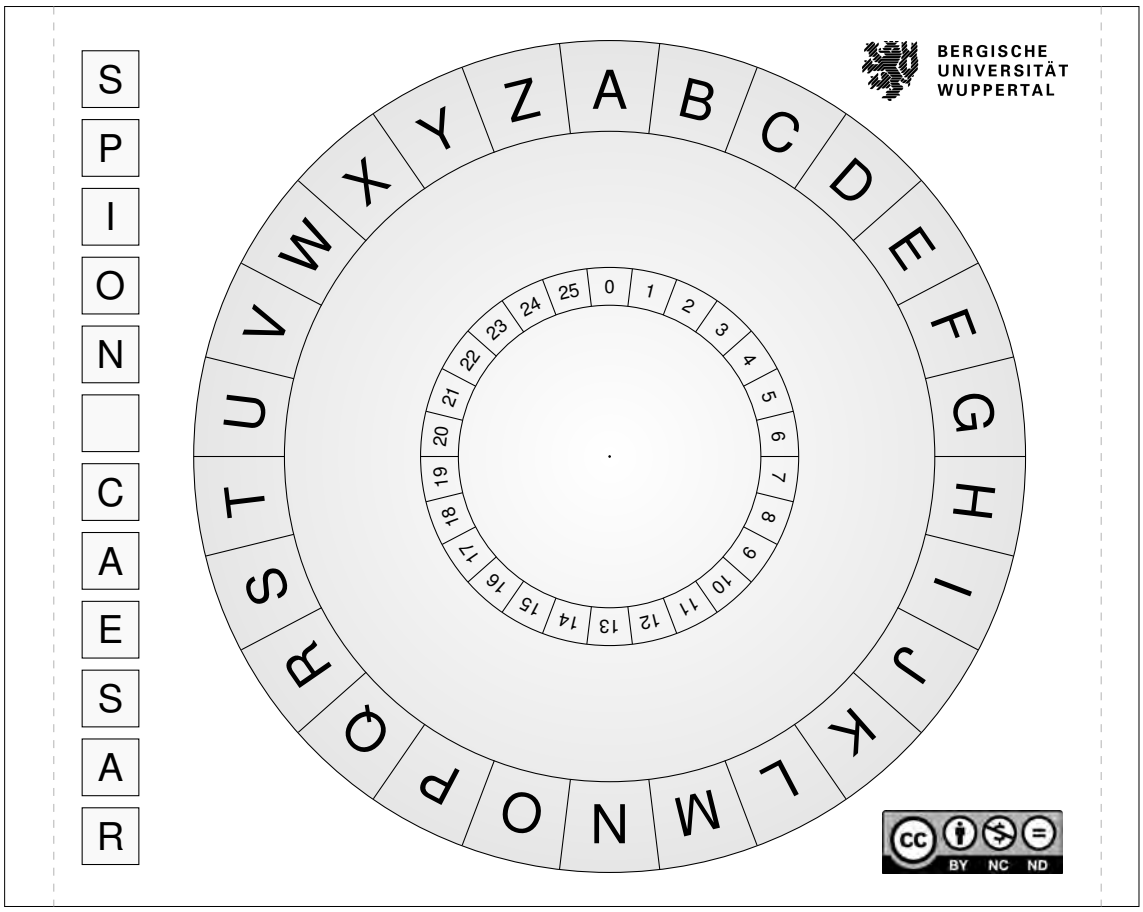
Mit dieser Tabelle wird dann ver- und entschlüsselt.

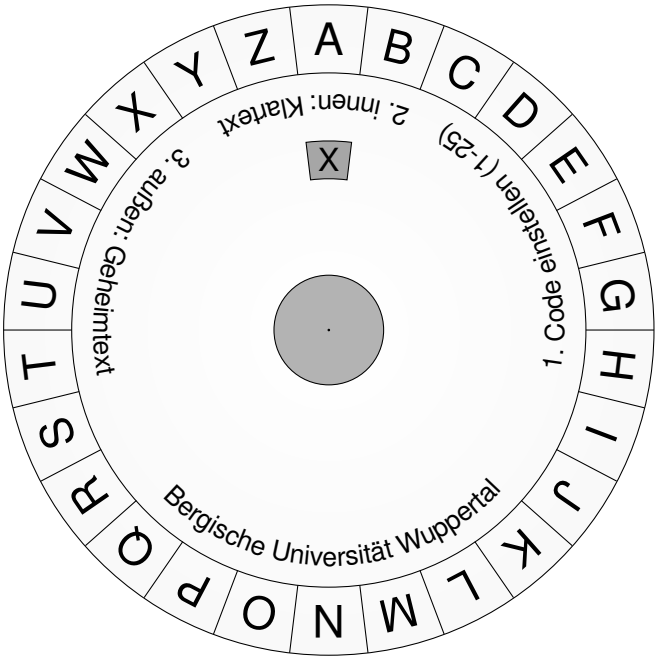
v3 29. Mai 2012

BERGISCHE UNIVERSITÄT WUPPERTAL

Caesar

Substitution (monoalphabetisch)





Caesar

Substitution (monoalphabetisch)

Bergische Universität Wuppertal - SpionCamp - Caesar

S P I O N C A E S A R

Verschlüsseln

Stelle den Caesarcode (1-25) mit der inneren Scheibe ein. Nimm den Klartext und schaue jeden Buchstaben auf der inneren Scheibe nach. Auf der äußeren Scheibe steht der entsprechende Geheimtext.

Entschlüsseln

Stelle den Caesarcode (1-25) mit der inneren Scheibe ein. Nimm den Geheimtext und schaue jeden Buchstaben auf der äußeren Scheibe nach. Auf der inneren Scheibe steht der entsprechende Klartext.

BERGISCHE UNIVERSITÄT WUPPERTAL

Bergische Universität Wuppertal - SpionCamp - Caesar

S P I O N C A E S A R

- Beim Ausdruck darauf achten, dass das Dokument nicht skaliert gedruckt wird (CD-Hüllenbreite: 15cm)
- Durchmesser großes Rad: 11cm, klein: 8,6cm
- Laminieren der kleinen Scheibe empfohlen!
- Kleines Rad ausschneiden und graues Code-Fenster (X) ausschneiden
- Falls eine CD-Hülle verwendet wird: Den inneren Ring aus dem kleinen Rad herausschneiden
- Großes Rad mit dem CD-Hüllen-Rand oder ohne diesen ausschneiden
- Falls keine CD-Hülle verwendet wird: die Scheiben mit einer Musterbeutelklammer  verbinden

BERGISCHE UNIVERSITÄT WUPPERTAL

v1

Aufgabe 1 Könnt ihr die Nachricht ohne bekannten Schlüssel entschlüsseln?
YHQL YLGL YLFL

Aufgabe 2 Entschlüsselt mit der Chiffrierscheibe die folgenden Nachrichten. Mögliche Schlüssel sind: **2**, **7**, **10**, **13**. Einer ist jeweils der richtige Schlüssel. Das heißt, dass man bei Verschiebung um diese Zahl die Nachricht erhält.

a) **SPLIL RSLVWHAYH, AYLMMLU DPY BUZ ILP KLU WFYHTPKLU?**
b) **YVRORE PNRFNE, VPU JREQR QN FRVA.**

Aufgabe 3 Warum ist dieses Verschlüsselungsverfahren leicht zu »knacken«?

Aufgabe 4 Verschlüsselt und entschlüsselt gegenseitig den Titel eures Lieblingsbuches mit dem Schlüsselwort **LESERATTE**.

Aufgabe 5 Entschlüssele die folgende Nachricht. Das Schüsselwort ist **SCHATZSUCHE** oder **MEISTERDETEKTIV**.

STG HIKMJU YVTDJ KVAJTG STG CMGXEMAX

Aufgabe 6 Was ist der Vorteil bei dem Schlüsselwort-Caesar-Verfahren?

Aufgabe 7 Fällt dir eine Möglichkeit ein, wie du einen Text entschlüsseln kannst, ohne alle Schlüssel durchzuprobieren? *Tipp:* Nutze dabei eine bestimmte Eigenschaft einer Sprache (z. B. Deutsch) aus.

v2 1. Dezember 2011

Lösung 1 **VENI VIDI VICI** (Lateinisch: Ich kam, ich sah, ich siegte. Dies schrieb Julius Caesar in einem Brief an Gaius Matius, nachdem er die Truppen Pharnakes II. von Pontus in nur vier Stunden besiegte.)

Lösung 2

a) Schlüssel 7:
LIEBE KLEOPATRA, TREFFEN WIR UNS BEI DEN PYRAMIDEN?

b) Schlüssel 13:
LIEBER CAESAR, ICH WERDE DA SEIN.

Lösung 3 Man muss höchstens 25 Schlüssel durchprobieren, um die Lösung zu erhalten.

Lösung 4 z. B. CRYPTONOMICON:
SHPFJDCDBWSDC.

Die Ersetzungstabelle sieht so aus:

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

Lösung 5 Schlüssel ist **MEISTERDETEKTIV**:

DER SCHATZ LIEGT HINTER DER PARKBANK

Lösung 6 Allein durch Ausprobieren von 25 Schlüsseln ist das Verfahren nicht zu knacken.

Lösung 7 Häufigkeitsanalyse: In der Deutschen Sprache ist der häufigste Buchstabe das »E«. Der häufigste Buchstabe im Geheimtext könnte also dem E entsprechen.

v2 1. Dezember 2011

Playfair

Substitution (bigraphisch)

Die Buchstaben bleiben **wo** sie sind, aber nicht **was** sie sind. Es werden nicht einzelne Buchstaben, sondern Buchstaben**paare** verschlüsselt. Solche Verschlüsselungen heißen **bigraphische Substitution**. (Das Wort *Substitution* ist abgeleitet vom lateinischen Wort *substituere* = ersetzen. *Bi* heißt *zwei* und *graphisch* kommt vom griechischen *graphein* = schreiben.)

Der englische Physiker Charles Wheatstone (s. Bild) erfand 1854 eine Verschlüsselung, bei der immer zwei Buchstaben auf einmal verschlüsselt werden. Sein Freund, der Politiker Lord Lyon Playfair Baron von St. Andrews, führte diese Verschlüsselung in die militärischen und diplomatischen Kreise Englands ein. Das Verschlüsselungsverfahren wurde schließlich nach jenem Politiker benannt.

Erklärung am Beispiel:

1. Sender und Empfänger einigen sich auf ein Schlüsselwort. Dieses wird in ein 5×5-Quadrat (mehrfache Buchstaben weglassen!) geschrieben. **I** und **J** werden dabei nur als ein Buchstabe gezählt. Der Rest des Alphabets wird fortlaufend dahintergeschrieben.

Beispiel

Für das Schlüsselwort **PLAYFAIR** sieht die Verschlüsselungsmatrix wie folgt aus:

p	l	a	y	f
i/j	r	b	c	d
e	g	h	k	m
n	o	q	s	t
u	v	w	x	z

2. Die Nachricht wird in Zweiergruppen aufgeschrieben. Dabei darf nie zweimal der gleiche Buchstabe in einer Gruppe stehen. Passiert das, wird ein **X** eingefügt. Steht am Ende ein Buchstabe allein, wird ein **X** angehängt.

Beispiel

Nachricht: **HALLO CHARLES** wird zu **HA LX LO CH AR LE SX**

v3 1. Dezember 2011

3. Nun werden diese Buchstabenpaare ersetzt. Wodurch sie ersetzt werden, hängt davon ab, wo sie im Quadrat stehen:
   - Stehen beide Buchstaben in derselben Zeile, werden sie jeweils durch ihren Nachfolger in der Zeile ersetzt. (Nachfolger des letzten ist der erste Buchstabe.)
   - Stehen beide Buchstaben in derselben Spalte, werden sie jeweils durch ihren Nachfolger in der Spalte ersetzt. (Nachfolger des letzten ist der erste Buchstabe.)
   - Stehen die Buchstaben in verschiedenen Zeilen und Spalten, wird der obere der beiden durch den Buchstaben ersetzt, der in derselben Zeile wie der obere und in derselben Spalte wie der untere Buchstabe steht. Der untere wird durch den Buchstaben ersetzt, der in derselben Zeile wie der untere und in derselben Spalte wie der obere Buchstabe steht.

Beispiel

HA wird zu **QB** (gleiche Spalte)
LX wird zu **YV**:

p	l	a	y	f
i/j	r	b	c	d
e	g	h	k	m
n	o	q	s	t
u	v	w	x	z

LO wird zu **RV** (gleiche Spalte)
CH wird zu **BK**
AR wird zu **LB**
LE wird zu **PG**
SX wird zu **XY** (gleiche Spalte)

Verschlüsselte Nachricht: **QBYVRVBKLBPGXY**

Aufgabe 1 Verschlüsselt euren Namen mit dem Schlüsselwort **FUCHS**.

Aufgabe 2 Entschlüsselt folgenden Text. Das Schlüsselwort ist **WOLKENBRUCH**:

YF DF BD WT ZG DI BD WY MI NG

Aufgabe 3 Beschreibe das Verfahren für das Entschlüsseln der Nachricht? Was ist hier anders?

Aufgabe 4 Verschlüsselt euch gegenseitig mit einem ausgehandelten Schlüsselwort einen Text. Entschlüsselt die Nachricht!

Lösung 1

Playfair-Matrix für FUCHS:

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

Z. B. ist **ANNA** verschlüsselt **GIIG**.

Lösung 2

Playfair-Matrix für WOLKENBRUCH:

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

Lösung: **QUADRATISCH PRAKTISCH**

Lösung 3

Diese Entschlüsselung geht so:

- Der Empfänger muss das Schlüsselwort kennen. Dieses wird in ein 5×5-Quadrat (mehrfache Buchstaben weglassen!) geschrieben. **I** und **J** werden dabei nur als ein Buchstabe gezählt. Der Rest des Alphabets wird fortlaufend dahintergeschrieben.
- Die verschlüsselte Nachricht wird in Zweiergruppen aufgeschrieben.
- Nun werden diese Buchstabenpaare ersetzt. Wodurch sie ersetzt werden, hängt davon ab, wo sie im Quadrat stehen:
  - Stehen beide Buchstaben in derselben Zeile, werden sie jeweils durch ihren Vorgänger in der Zeile ersetzt. (Vorgänger des ersten ist der letzte Buchstabe.)
  - Stehen beide Buchstaben in derselben Spalte, werden sie jeweils durch ihren Vorgänger in der Spalte ersetzt. (Vorgänger des ersten ist der letzte Buchstabe.)
  - Stehen die Buchstaben in verschiedenen Zeilen und Spalten, wird der obere der beiden durch den Buchstaben ersetzt, der in derselben Zeile wie der obere und in derselben Spalte wie der untere Buchstabe steht. Der untere wird durch den Buchstaben ersetzt, der in derselben Zeile wie der untere und in derselben Spalte wie der obere Buchstabe steht.

Rotoren

Substitution (polyalphabetisch)

Die Buchstaben bleiben **wo** sie sind, aber nicht **was** sie sind. **Was** sie sind, ist immer wieder verschieden.
Solche Verschlüsselungen heißen **polyalphabetische Substitution**. (Das Wort *Substitution* ist abgeleitet vom lateinischen Wort *substituere* = ersetzen. *Poly* heißt *viel*.)

Die berühmteste Rotor-Maschine zur Verschlüsselung ist die **ENIGMA**, die vom deutschen Militär im zweiten Weltkrieg eingesetzt wurde. Das Wort »Enigma« kommt aus dem Griechischen und bedeutet »Rätsel«. Das Prinzip beruht auf einer drehbaren Scheibe, die jeden Buchstaben durch einen anderen ersetzt, dann gedreht wird und nun jeden Buchstaben durch einen anderen als zuvor ersetzt. Die Enigma hatte mehrere Scheiben. Sie wurde erst nach einigen Jahren durch intensive mathematische Forschung geknackt.

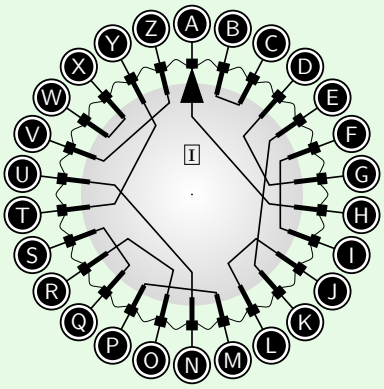
So wird mit Rotoren verschlüsselt:

- Sender und Empfänger einigen sich auf einen Schlüsselbuchstaben.
- Der Rotor wird so eingestellt, dass der Pfeil auf den Schlüsselbuchstaben zeigt.
- Jeder Buchstabe der Nachricht wird durch den Buchstaben ersetzt, der sich am anderen Ende der auf dem Rotor eingezeichneten Verbindung befindet.
- Immer, wenn du einen Buchstaben verschlüsselt hast, wird der Rotor im Uhrzeigersinn eine Position weiter gedreht.

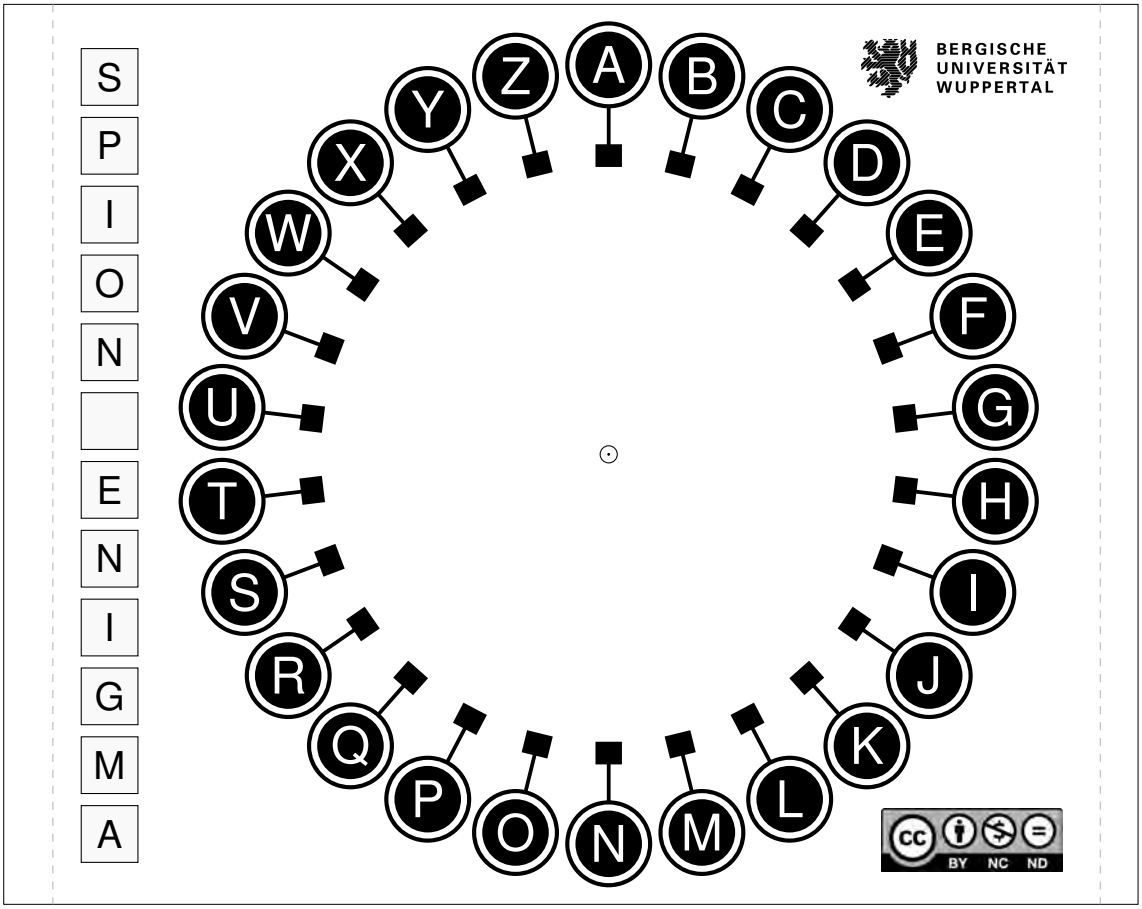
Zum Entschlüsseln muss erneut der Schlüsselbuchstabe eingestellt werden, dann wird von vorn bis hinten entschlüsselt.

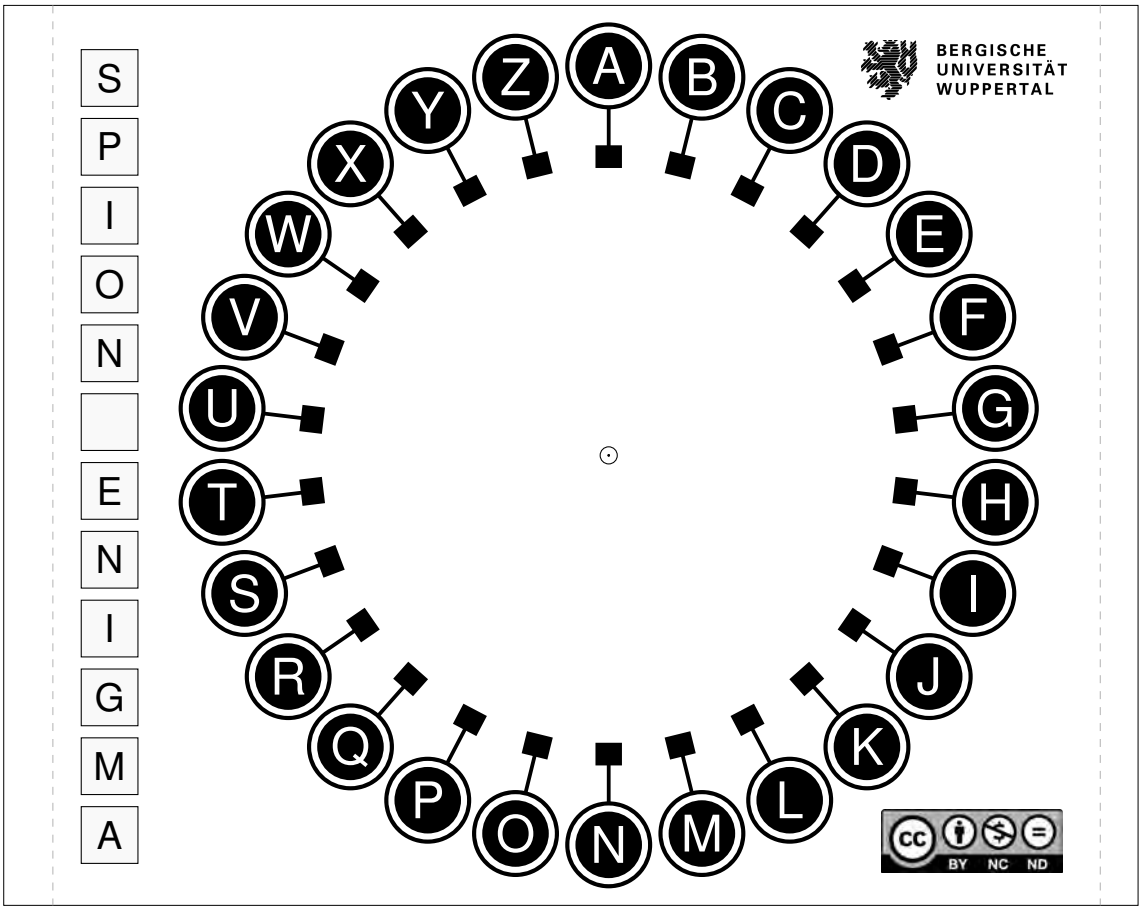
Beispiel

Der Schlüsselbuchstabe ist hier »A«. Möchtest du nun den Buchstaben »S« verschlüsseln, so folgst du der Linie bei »S« und landest bei »Q«. Dann wird der Rotor um eine Position nach rechts gedreht, der Pfeil steht nun auf dem B. Dann verschlüsselst du den nächsten Buchstaben. Die Verbindungen der Buchstaben haben sich nun auch verschoben, so dass z. B. als zweiter Buchstabe ein »C« durch ein »D« verschlüsselt wird.



v2 29. Mai 2012


SPION
ENIGMA
BERGISCHE UNIVERSITÄT WUPPERTAL
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
BY NC ND


SPION
ENIGMA
BERGISCHE UNIVERSITÄT WUPPERTAL
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
BY NC ND

Bergische Universität Wuppertal - SpionCamp - Rotor I

S
P
I
O
N

E
N
I
G
M
A

Verschlüsseln

Nimm den Klartext und drehe den Rotor mit dem Pfeil auf den Schlüsselbuchstaben (auf den müssen sich Sender und Empfänger vorher einigen). Suche den zu verschlüsselnden Buchstaben und folge der Linie. Am Ende der Linie steht der Geheimtext. Nach jedem Buchstaben drehst Du die Scheibe um eine Position im Uhrzeigersinn.

Entschlüsseln

Nimm den Geheimtext und drehe den Rotor mit dem Pfeil auf den Schlüsselbuchstaben (auf den müssen sich Sender und Empfänger vorher einigen). Suche den zu entschlüsselnden Buchstaben und folge der Linie. Am Ende der Linie steht der Klartext. Nach jedem Buchstaben drehst Du die Scheibe um eine Position im Uhrzeigersinn.

Bergische Universität Wuppertal - SpionCamp - Rotor I

S
P
I
O
N

E
N
I
G
M
A

Bergische Universität Wuppertal - SpionCamp - Rotor II

S
P
I
O
N

E
N
I
G
M
A

Verschlüsseln

Nimm den Klartext und drehe den Rotor mit dem Pfeil auf den Schlüsselbuchstaben (auf den müssen sich Sender und Empfänger vorher einigen). Suche den zu verschlüsselnden Buchstaben und folge der Linie. Am Ende der Linie steht der Geheimtext. Nach jedem Buchstaben drehst Du die Scheibe um eine Position im Uhrzeigersinn.

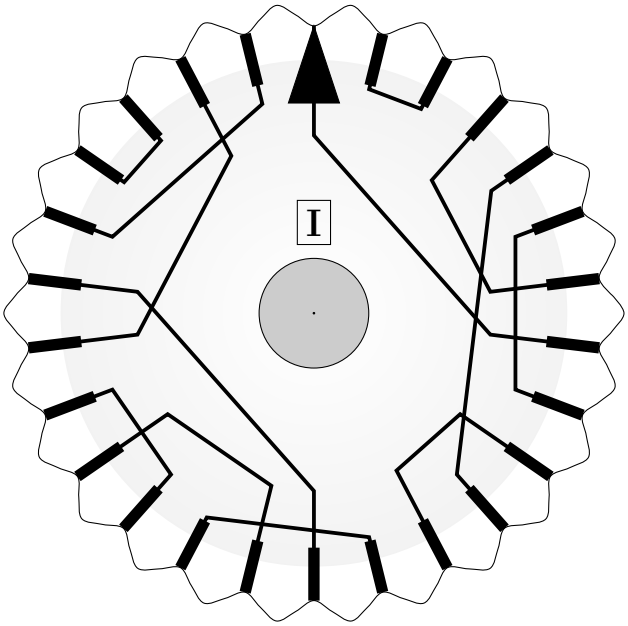
Entschlüsseln

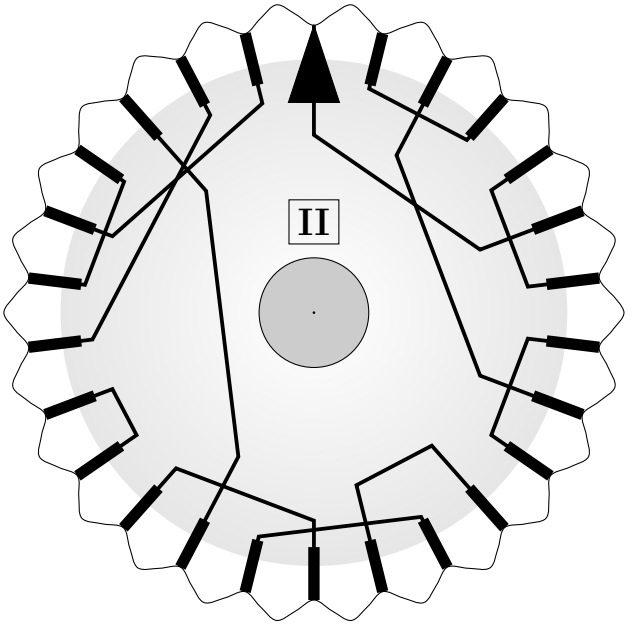
Nimm den Geheimtext und drehe den Rotor mit dem Pfeil auf den Schlüsselbuchstaben (auf den müssen sich Sender und Empfänger vorher einigen). Suche den zu entschlüsselnden Buchstaben und folge der Linie. Am Ende der Linie steht der Klartext. Nach jedem Buchstaben drehst Du die Scheibe um eine Position im Uhrzeigersinn.

Bergische Universität Wuppertal - SpionCamp - Rotor II

S
P
I
O
N

E
N
I
G
M
A





Falls eine CD-Hülle verwendet werden soll: den inneren Ring aus dem kleinen Rad herausschneiden. Falls keine CD-Hülle vorhanden ist, können Musterbeutelklammern  verwendet werden.

Aufgabe 1 Arbeitet zu zweit: Verschlüsselt jeweils ein Wort mit dem Schlüsselbuchstaben **G**. Tauscht die Nachrichten aus, und versucht, den Text wieder zu entschlüsseln.

Aufgabe 2 Entschlüssele folgende Texte:

a) **SOVLZUFTCNKGRVR** (Verwende Rotor I mit dem Schlüsselbuchstaben **C**.)

b) **IJMJQEHVY** (Verwende Rotor II und stelle den Schlüsselbuchstaben **L** ein.)

Aufgabe 3 Warum ist das Drehen so wichtig? Welche Art der Verschlüsselung entsteht, wenn der Rotor zwischen den Buchstaben nicht gedreht wird?

Aufgabe 4 Was passiert, wenn man z. B. die Nachricht **AAAA** verschlüsselt? Schaffst du es, eine Nachricht zu schreiben, die verschlüsselt **XXXX** ergibt?

Aufgabe 5 (Schwer) Was glaubst du, wie man eine Nachricht ohne Rotor knacken könnte? Könntest du folgenden Text entziffern: **ZUFGDSYNMQR** ?

v2 23. November 2011

Lösung 2

a) **UM SIEBEN AM FLUSS**
b) **AB INS BETT**

Lösung 3

Dann kommen nur die fest verdrahteten Buchstaben zum Einsatz, also eine Tabelle mit Vertauschungen von Buchstaben. Das wäre sehr leicht mit einer einfachen Häufigkeitsanalyse zu knacken.

Lösung 4

a) Jedesmal wird ein anderer Buchstabe ausgegeben.
b) Rotor II, Schlüsselbuchstabe A: Klartext **PVBZ** ergibt **XXXX**.

Lösung 5

Man benötigt zunächst einen langen Geheimtext. Bei bekanntem Rotoraufbau kann man jeden 26. Buchstaben zu einem Text zusammenfassen und darüber eine Häufigkeitsanalyse durchführen. Ein Rotor ist also eine Ansammlung von Caesar-Verschlüsselungen.

v2 23. November 2011

Vigenère

Substitution (polyalphabetisch)

Die Buchstaben bleiben **wo** sie sind, aber nicht **was** sie sind. **Was** sie sind, ist immer wieder verschieden.
Solche Verschlüsselungen heißen **polyalphabetische Substitution**. (Das Wort *Substitution* ist abgeleitet vom lateinischen Wort *substituere* = ersetzen. *Poly* heißt *viel*.)

Der Franzose Blaise de Vigenère (1523 bis 1596, s. Bild) entwickelte ein Verschlüsselungsverfahren, das viele verschobene Alphabete verwendet. Dazu werden alle möglichen Alphabetverschiebungen untereinander geschrieben — das sind 26 Alphabete. Das Ganze heißt dann **Vigenère-Quadrat** (s. Material).

Verschlüsseln geht damit so:

- Sender und Empfänger einigen sich auf ein Schlüsselwort. Dieses wird unter die Nachricht geschrieben. Unter jeden Buchstaben der Nachricht wird ein Buchstaben des Schlüsselwortes geschrieben. Das Schlüsselwort wird dabei ständig wiederholt.
- Nun nimmt man sich jeweils einen Buchstaben der Nachricht und sucht ihn in der ersten Zeile des Vigenère-Quadrates. Von da aus geht man nach unten bis zu dem Alphabet, das ganz links mit dem entsprechenden Buchstaben des Schlüsselwortes beginnt.
- Der Buchstabe, den man dort findet, ist der verschlüsselte Buchstabe.

v2 23. Mai 2012

Vigenère

Substitution (polyalphabetisch)

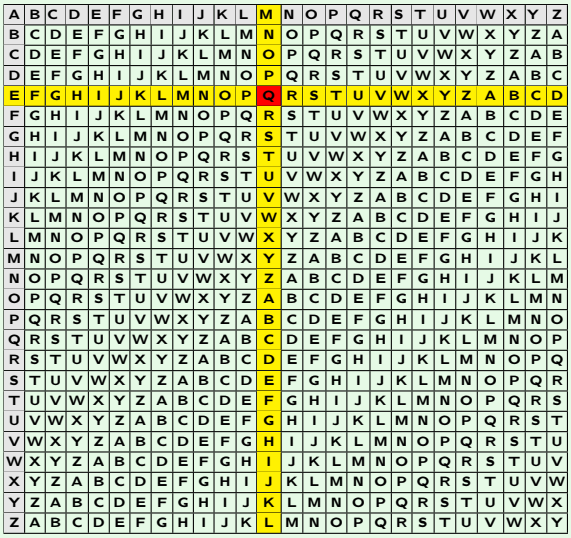
Beispiel

Nachricht: `MORGEN ABEND UM NEUN GEHTS LOS`

Schlüsselwort: `EINFAC HEINF AC HEIN FACHE INF`

Geheimtext: `QWELEP HFMAI UO UICA LEJAW TBX`

(Bild: das erste **M** wird mit dem Schlüsselbuchstaben **E** verschlüsselt.)



	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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

v2 23. Mai 2012

BERGISCHE UNIVERSITÄT WUPPERTAL

Vigenère-Quadrat

Nimm dir für die Ver- und Entschlüsselung ein Lineal oder Ähnliches zur Hilfe, damit du nicht in den Spalten und Zeilen verrutschst.

Klartext

Schlüsselbuchstaben	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

Aufgabe 1 Verschlüsselt euren Namen mit dem Schlüsselwort **HUT**.

Aufgabe 2 Entschlüsselt folgenden Text. Das Schlüsselwort ist **ROT**:
XIM XSFRQAK

Aufgabe 3 Beschreibe ähnlich zum Verschlüsseln, wie das Entschlüsseln funktioniert.

v2 29. Mai 2012

Lösung 1

Z. B. **MARIE**:

```
MARIE
HUTHU
TUKPY
```

Lösung 2

GUT GEMACHT

Lösung 3

...umgekehrt, wenn Buchstaben in einer Zeile/Spalte die Vorgänger...

Diffie-Hellman-Algorithmus

Schlüsselaustausch

Um einen Klartext zu verschlüsseln, und auch anschließend zu entschlüsseln, brauchen Sender und Empfänger denselben Schlüssel. Dieser ist meist eine Zahl. Sender und Empfänger müssen den Schlüssel **geheim** austauschen können, das heißt, ohne dass ein Dritter ihn erfährt.

Lange galt es als unmöglich, im »öffentlichen Raum«, also für jeden mithörbar, einen geheimen Schlüssel auszutauschen. Aber 1976 wurde von Martin Hellman, Whitfield Diffie und Ralph Merkle der **Diffie-Hellman-Algorithmus** entwickelt. Er ermöglicht die Vereinbarung eines gemeinsamen geheimen Schlüssels über eine unsichere Verbindung.

Hinweis: Der Diffie-Hellman-Algorithmus arbeitet mit der Modulo-Funktion. Falls du dich nicht sicher im Umgang damit fühlst, bearbeite bitte zuerst die entsprechende Station.

Mit dem Diffie-Hellman-Algorithmus können also zwei Beteiligte - nennen wir sie Alice und Bob - im öffentlichen Raum einen geheimen Schlüssel vereinbaren, ohne dass eine dritte Person, die alles mithört, - nennen wir sie Eve - den Schlüssel erfährt.

Der Algorithmus

Alice und Bob vereinbaren zu Beginn öffentlich eine Primzahl **p** und eine natürliche Zahl **g**. Dabei muss **g** kleiner sein als **p**. Zum Berechnen von **A** bzw. **B** wählte Alice die Zahl **a**, die nur sie kennt, und Bob wählt die Zahl **b**, die nur er kennt. **A** und **B** werden öffentlich ausgetauscht. (Berechnungen siehe unten)

Eve kennt also **p**, **g**, **A** und **B**, aber nicht **a** und **b**. Den geheimen Schlüssel **K** können Alice und Bob berechnen, Eve nicht. (Ein Beispiel gibt es auf der nächsten Seite.)

privater Raum:	öffentlicher Raum:	privater Raum:
Alice 	Eve 	Bob 
Wähle a, mit a < p Berechne $A = g^a \mod p$ Berechne $K = B^a \mod p$	p und g A → ← B	Wähle b, mit b < p Berechne $B = g^b \mod p$ Berechne $K = A^b \mod p$

v4 14. November 2012

Beispiel

Alice und Bob vereinbaren öffentlich: $p = 13$ und $g = 4$:

privater Raum:	öffentlicher Raum:	privater Raum:
Alice 	 Eve	Bob 
	$p = 13, g = 4$	
Wähle a, mit a < p $a = 3$		Wähle b, mit b < p $b = 5$
Berechne $A = g^a \mod p$ $A = g^a \mod p$ $A = 4^3 \mod 13$ $= 64 \mod 13$ $= 12$		Berechne $B = g^b \mod p$ $B = g^b \mod p$ $B = 4^5 \mod 13$ $= 1024 \mod 13$ $= 10$
	$A = 12$ →	
	← $B = 10$	
Berechne $K = B^a \mod p$ $K = 10^3 \mod 13$ $= 1000 \mod 13$ $= 12$		Berechne $K = A^b \mod p$ $K = 12^5 \mod 13$ $= 248832 \mod 13$ $= 12$

Der von Alice und Bob berechnete geheime Schlüssel in diesem Beispiel ist 12. Um den Schlüssel zu finden, müsste Eve nur alle Zahlen ausprobieren, die kleiner als p, hier also 13, sind. Das wäre einfach.
Normalerweise sind die Zahlen aber so groß, dass es auch mit den schnellsten Computern fast unmöglich ist, den Schlüssel durch Ausprobieren zu finden.

Aufgabe 1 Bildet eine Dreiergruppe und spielt den Diffie-Hellman-Algorithmus durch. Eine/r von euch ist Alice, eine/r Bob und der oder die Dritte ist Eve.
Alice und Bob tauschen den Schlüssel aus und Eve versucht den Schlüssel (K) herauszufinden, um die geheime Nachricht lesen zu können.
Führt den Algorithmus mit $p = 11$ und $g = 3$ ein- bis dreimal mit verschiedenen Rollen aus. Die unten stehende Tabelle ist euch beim Rechnen behilflich.
Notiert euer Ergebnis. Hat Eve den Schlüssel herausgefunden?

Tabelle mit vorberechneten Werten für x^y:

x \ y	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	4	8	16	32	64	128	256	512	1024
3	3	9	27	81	243	729	2187	6561	19683	59049
4	4	16	64	256	1024	4096	16384	65536	262144	1048576
5	5	25	125	625	3125	15625	78125	390625	1953125	9765625
6	6	36	216	1296	7776	46656	279936	1679616	10077696	60466176
7	7	49	343	2401	16807	117649	823543	5764801	40353607	282475249
8	8	64	512	4096	32768	262144	2097152	16777216	134217728	1073741824
9	9	81	729	6561	59049	531441	4782969	43046721	387420489	3486784401
10	10	100	1000	10000	100000	1000000	10000000	100000000	1000000000	10000000000

Hinweis: Bei dieser Tabelle kann x die Werte von g, A oder B und y die Werte von a oder b annehmen.

v2 23. November 2011

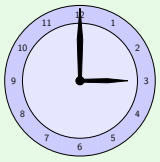
Modulo-Rechnung

Schlüsselaustausch

Modulo ist eine Rechenoperation (wie z. B. Addition oder Multiplikation). Sie wird für zahlreiche Verschlüsselungsverfahren und auch für Schlüsselaustausch-Verfahren benötigt.
Mit Modulo, **mod**, wird der Rest der ganzzahligen Division bezeichnet.

Bei der Modulo-Operation muss etwas gerechnet werden.
Sie ist aber leicht zu verstehen.

Beispiel



Jeder von uns benutzt fast täglich die Modulo-Rechnung. Die kommt nämlich bei der Berechnung der Uhrzeit vor. Wir sagen zu der Uhrzeit 15:00 Uhr meist 3 Uhr (nachmittags). Das ist die Modulo-Rechnung mit der Zahl 12: $15\ mod\ 12\ =\ 3$, da $15\ :\ 12\ =\ 1,\quad \mathbf{3}$ bleibt übrig.

Natürlich rechnet man nicht immer $mod\ 12$. 12 kann durch jede ganze Zahl ersetzt werden. Bei den meisten Verschlüsselungsverfahren kommen keine negativen Zahlen vor, das macht es etwas einfacher.

Beispiel

Rechnungen

$18\ \ mod\ \ 5\ =\ 3$, da $18\ :\ 5\ =\ 3$ **(Rest 3)**

$10\ \ mod\ \ 4\ =\ 2$, da $10\ :\ 4\ =\ 2$ **(Rest 2)**

$14\ \ mod\ \ 7\ =\ 0$, da $14\ :\ 7\ =\ 2$ **(Rest 0)**

v2 2. Juli 2013

Aufgabe 1 **Berechne wie in den Beispielen auf dem Stationsblatt:**

25	mod	7	=		, da	25	:	7	=		, **Rest**	
90	mod	11	=		, da	90	:	11	=		, **Rest**	
23	mod	8	=		, da	23	:	8	=		, **Rest**	
10	mod	19	=		, da	10	:	19	=		, **Rest**	
106	mod	21	=		, da	106	:	21	=		, **Rest**	
42	mod	4	=		, da	42	:	4	=		, **Rest**	
8	mod	3	=		, da	8	:	3	=		, **Rest**	
33	mod	15	=		, da		:		=		, **Rest**	
107	mod	25	=		, da		:		=		, **Rest**	
2180	mod	54	=		, da		:		=		, **Rest**	
1011	mod	12	=		, da		:		=		, **Rest**	
1001	mod	13	=		, da		:		=		, **Rest**	
45	mod	14	=		, da		:		=		, **Rest**	
785	mod	43	=		, da		:		=		, **Rest**	

v2 23. November 2011