

Les A-04 Digitale informatie: de ASCII tabel

In deze les wordt behandeld hoe leestekens kunnen worden voorgesteld door informatie die bestaat uit reeksen 0-en en 1-en, digitale informatie.

4.1 Inleiding

Telecommunicatie: al honderden jaren zijn mensen in staat om op afstand met elkaar te communiceren. Indianen gebruikten rooksignalen om boodschappen te verzenden en telegrafen gebruikten Morse-code om boodschappen te verzenden. Hoewel deze vormen van communicatie van elkaar verschillen zijn er ook duidelijke overeenkomsten. Bij elke vorm van communicatie worden karakters (letters, cijfers, leestekens) vertaald in een code. We noemen dit **karaktercodering**. De code wordt verzonden en door de ontvanger gedecodeerd.

De coderingstechniek heeft sinds de uitvinding van de telegrafie in de 19^e eeuw niet stilgestaan. De Morse-code werd vervangen door meer geavanceerde codes. Niet alleen de coderingsmogelijkheden zijn verder ontwikkeld, ook de technische mogelijkheden zijn verder ontwikkeld.

Tegenwoordig communiceren we met het grootste gemak via digitale communicatiemiddelen. Denk alleen al aan de chatmogelijkheden van MSN of aan SMS.

In deze les wordt beschreven hoe de codering van karakters zich vanaf de telegrafie heeft ontwikkeld tot de codering die nu wordt toegepast in computers, de ASCII-codering.

4.2 Telegrafie en de Morse-code

Samuel Morse (1791-1872), een Amerikaans kunstenaar, werd in 1832 professor beeldende kunsten aan de universiteit van New York. Zijn interesse voor elektriciteit leidde tot de ontwikkeling van een telegrafische verbinding tussen Washington en Baltimore (1844).

De werking van deze telegrafische verbinding is als volgt. Een apparaat produceert elektrische pulsen (stroompjes). Deze pulsen worden via een koperdraad naar de ontvanger verzonden. Bij de ontvanger worden de pulsen omgezet in korte en lange tikken op een strook papier.



figuur 4.1 De Morse sleutel waarmee elektrische pulsen worden verzonden

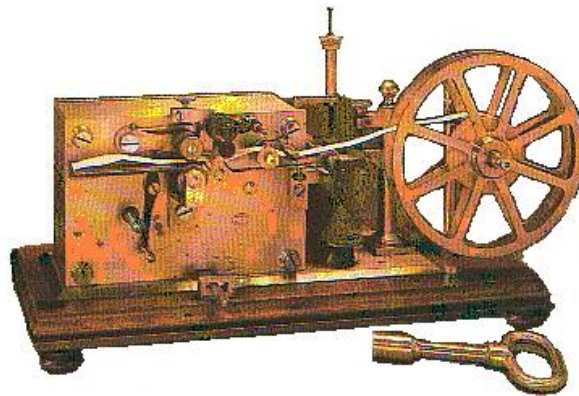
Morse maakte gebruik van korte en lange pulsen en had letters, cijfers en leestekens als volgt gecodeerd (**Morse code**):

Morse code

A	.-	N	-.	1	.----	.	.-.-.-
B	-...	O	---	2	..---	,	--..--
C	-.-. .	P	.--.	3	...--	?	..--..
D	-..	Q	--.-	4	-	:	---...
E	.	R	.-. .	5		/	-..-. .
F	..-. .	S	...	6	-....	-	-....-
G	--.	T	-	7	--...	=	-...-
H		U	..-	8	---..	Beginteken	-.-. .
I	..	V	...-	9	----.	Sluitteken	.-.-. .
J	.----	W	.--	0	-----	Vergissing	
K	-.-	X	-..-			Einde verbinding	...-. .
L	.-..	Y	-.--				
M	--	Z	--..				

In deze tabel is een “.” een korte puls en een “-” een lange puls. Bij het verzenden van de letter “A” moest de Morse verzendsleutel achtereenvolgens één keer kort en één keer lang worden ingedrukt.

De ontvanger krijgt de boodschap in de vorm van korte en lange tikken op een strook papier.



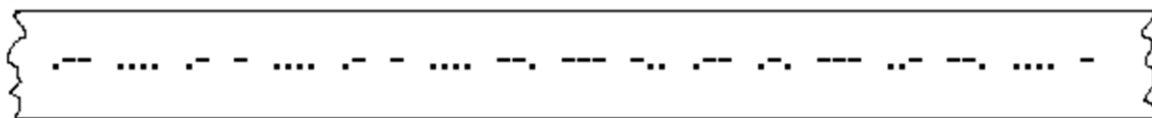
figuur 4.2 Een ontvangstapparaat dat de Morse code afdrukt

OPDRACHT

Opdracht 4.1

Een bekende Morse boodschap is SOS (“Save Our Souls”): ... --- ...

De eerste boodschap die Samuel Morse in 1844 verstuurde was:



Vertaal deze Morse boodschap.

Morse had zijn codering zo slim mogelijk in elkaar gezet. Letters die vaak gebruikt worden, zoals de letter “E”, worden met weinig pulsus gecodeerd: “.”. Dat maakt de boodschappen zo kort mogelijk.

Merk op dat er geen codering is voor een spatie. Dat was ook niet nodig. Een spatie was bij telegrafie gewoon een korte pauze. De strook van de ontvanger wordt in deze pauzetijd doorgetrokken zodat vanzelf een tussenruimte tussen de karakters ontstaat.

Pas na de uitvinding van de radiogolf in 1888 door de Duitser **Heinrich Hertz** (1857-1894) en de toepassing daarvan bij radioverbindingen in 1894 door de Italiaan **Guglielmo Marconi** (1874-1937) kon de Morse code ook via radiogolven verzonden worden. Ook zonder koperdraadverbinding konden de pulsus worden verzonden en ontvangen en dan wel in de vorm van korte en lange pieptonen. Dat had grote gevolgen voor de bruikbaarheid van de Morse code. Je kent waarschijnlijk wel de beelden uit films over de Tweede Wereldoorlog waarin communicatie tussen schepen via telegrafische verbindingen verliep.

Zoals het zo vaak gaat in de techniek lopen mensen op een gegeven moment aan tegen beperkingen van een bepaalde techniek en gaan dan nadenken over mogelijke verbeteringen. Een beperking van de Morse code is dat verschillende leestekens gecodeerd worden met symbolen of pulsreeksen van verschillende lengtes. Dat maakt dat bij het telegraferen met Morse code de ontvanger altijd zijn berichten moet decoderen door of de strip met tikken te “lezen” of nauwlettend de binnenkomende pieptonen te beluisteren. Bij het decoderen is dus altijd menselijke deskundigheid vereist.

4.3 Baudot's code

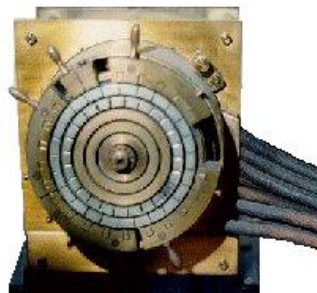
Ondanks dat er meerder namen verbonden zijn aan de ontwikkeling van “Baudot's code” wordt de toepassing van deze code volledig toegeschreven aan de Fransman **Emile Baudot** (1845-1903). Baudot ontwikkelde in 1874 een ingenieus telegrafiesysteem dat boodschappen vertaalt en afdrukt.

In dit systeem verzendt de telegraaf zijn boodschappen met een klavier met vijf toetsen. Zodra hij de toetsen heeft ingedrukt worden deze vergrendeld.



figuur 4.3 Het toetsenbord waarop Baudot code kon worden ingetoetst

Het klavier is verbonden aan een ronddraaiend apparaat waaraan borsteltjes zijn bevestigd. Afhankelijk van welke toetsen ingedrukt zijn geven de borstels een elektronische puls door of niet. Het resultaat is dus dat er (maximaal) vijf pulsen worden verzonden.



figuur 4.4 Het apparaat dat de Baudot code omzet in vijf elektrische pulsen

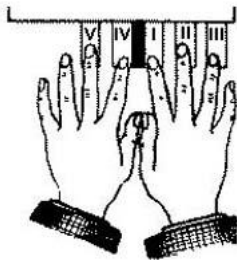
Als de borstels volledig zijn rondgedraaid krijgt de telegraaf een seintje dat een volgend symbool kan worden ingetoetst en worden de toetsen van het klavier ontgrendeld. Dat lijkt heel tijdrovend. Toch konden telegrafen op deze manier ongeveer 180 letters per minuut verzenden.

Het telegrafiesysteem van Baudot was dus niet gebaseerd op de lengte van de pulsen zoals bij de Morse-code, maar op de aanwezigheid ervan of niet. Elke code heeft eenzelfde lengte van vijf mogelijke pulsen. Zowel bij het zenden als bij het ontvangen wordt dit principe door de apparatuur verwerkt, zodat de kans op (menselijke) fouten bij het verzenden en ontvangen kleiner is dan bij de Morse-code.

Baudot baseerde zijn telegrafiesysteem op een karaktercodering die was verzonden door de Duitse wetenschappers **Johann Gauss** (1777-1855) en **Wilhelm Weber** (1804-1891). Zij hadden een codering verzonden waarin karakters werden weergegeven met vijf symbolen.

Omdat Baudot de karaktercodering van Gauss en Weber toepaste in de telegrafie heet de codering echter de **Baudot code**. Hieronder wordt uitgelegd hoe deze codering precies werkt.

V	IV			I	II	III	V	IV			I	II	III
		A	/	•			•	•	P	%	•	•	•
•	•	B	8			•	•	•	Q	/	•		•
•	•	C	9	•		•	•	•	R	-			•
•	•	D	0	•	•	•	•	•	S	;			•
		E	2		•		•	•	T	!	•		•
		E	8	•		•		•	U	4	•		•
•	•	F	E		•	•	•	•	V	'	•	•	•
•	•	G	7		•		•	•	W	?		•	•
•	•	H	#	•		•	•	•	X	,		•	
		I	•		•	•		•	Y	3			•
	•	J	6	•			•	•	Z	:	•	•	
•	•	K	(	•			•	•	E	.	•		
•	•	L	=	•	•		•	•	Erasure				
•	•	M	)				•	•	Figure Blank				
•	•	N	N°	•	•		•	•	Letter Blank				
		O	5	•	•	•							



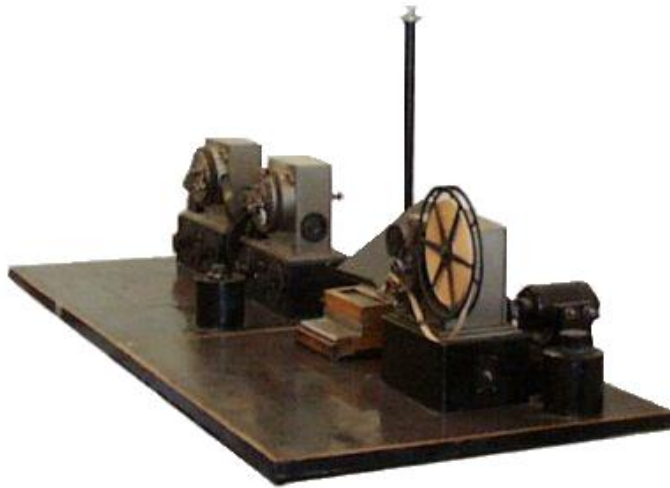
figuur 4.5 Weergave van het Baudot coderingssysteem

Bij elke vingerzetting op het klavier hoort een letter (“lettre”) én een cijfer of leesteken (“figure”). Zo hoort bij de vingerzetting “alleen toets I” de letter “A”.

Aangezien er vier mogelijkheden om de twee linkertoetsen IV en V in te toetsen (geen / alleen IV / alleen V / beide) en er acht mogelijkheden om de drie rechtertoetsen I, II en III in te toetsen zijn er in totaal 32 “lettres” en 32 “figures” mogelijk:

Baudot's code								
	LETTRES							
	0	1	2	3	4	5	6	7
	ooo	•oo	o•o	••o	o••	•••	•o•	o••
geen oo		A	E	É	I	O	U	Y
IV o•	FIGS	J	G	H	F	D	C	B
V •o	LTRS	C	X	Z	W	V	T	S
beide ••	WIS	K	M	L	N	P	Q	R
	FIGURES							
	0	1	2	3	4	5	6	7
	ooo	•oo	o•o	••o	o••	•••	•o•	o••
geen oo		1	2	&	O	5	4	3
IV o•	FIGS	6	7	H	F	0	9	8
V •o	LTRS	.	,	:	?	'	!	;
beide ••	WIS	(	)	=	N°	%	/	-

Merk op dat ook in de codering van Baudot veel gebruikte letters als de “E” weinig toetsaanslagen vragen en voor de telegraaf daardoor dus makkelijker te onthouden zijn.



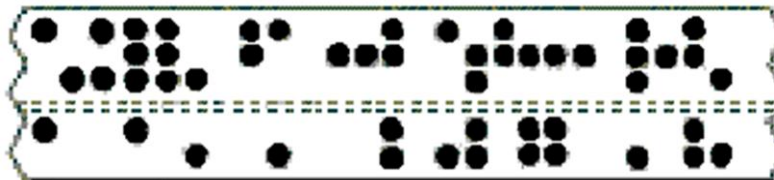
figuur 4.6 Het ontvangstapparaat dat de Baudot code afdruckt

De Baudot ontvanger verdeelt de vijf binnenkomende pulsen van elke code over vijf elektromagneten, die elk wel of niet een tik op een strook papier zetten. Dat dient in hetzelfde ritme te gebeuren als het ritme waarin de pulsen werden verzonden.

De telegraaf die de strook papier moet lezen, leest steeds uit de tabel met “lettres” totdat de code “figures” wordt doorgegeven (○● ○○○). Daarna leest de telegraaf uit de tabel met “figures” totdat de code “lettres” wordt doorgegeven (●○ ○○○).

OPDRACHT

Opdracht 4.2



Vertaal deze Baudot boodschap.

De Baudot code heeft al veel kenmerken van een binaire code. Er is tenslotte weinig verschil tussen “○● ○○○” en “01000”. Met de vijf toetsen van het Baudot klavier kunnen in principe $2^5 = 32$ codes worden gemaakt. Door twee codes te reserveren voor de verschillende tabellen met “lettres” en “figures” is het aantal karakters dat kan worden gecodeerd nagenoeg verdubbeld. Ook de wijze waarop de Baudot codes in de vorm van series elektronische pulsen worden verzonden lijkt al veel op de digitale techniek die pas veel later is ontwikkeld.

Baudot en Morse worden gezien als de grondleggers van de telegrafie. Met name het werk van Baudot wordt daarmee veel eer aangedaan. Zowel de codering (uitgevonden door Gauss en Weber) als de verzendtechniek (een klavier met 28 toetsen werd al eerder toegepast door de Amerikaan David Hughes in 1855) waren niet nieuw. De combinatie ervan echter wel. We vinden de naam Baudot nog terug in het begrip “**Baud rate**”, het aantal signalen dat per seconde kan worden verzonden.

4.4 Murray's code

Een aantal van de nadelen van de Morse code was met de komst van Baudot's code verholpen. Het gebruiksgemak was echter nog steeds niet groot. Telegrafen moesten een nog grotere karakterverzameling uit het hoofd kennen!

De uitvinding van Baudot's telegrafiesysteem in 1874 viel nagenoeg samen met de uitvinding van de typemachine door **Christopher Sholes** (1819-1890) in 1873. De Nieuw Zeelander **Donald Murray** (1865-1945) bleek in 1902 als eerste in staat om het technisch mogelijk te maken om de typemachine te introduceren in de telegrafie.

Het was niet meer nodig om als telegraaf de bitpatronen zelf uit je hoofd te kennen en te verzenden. Dat deed de machine voor je.

Murray gebruikte eenzelfde soort 5-bits codering als Baudot. De reden dat Baudot en Murray vast hielden aan een 5-bits codering is dat het gebruik van 6 bits de elektronische verwerking van de codes enorm veel ingewikkelder zou maken. Murray plaatste de karakters wel in een andere volgorde dan Baudot. Het was tenslotte toch niet meer nodig dat de codes in een volgorde stonden die voor de telegraaf het makkelijkst te onthouden was. Ook voegde Murray de opmaaksymbolen:

LF (Line Feed = nieuwe regel) en
CR (Carriage Return = volgende positie op de regel),

afkomstig van de typemachine, toe. De volgorde waarin Murray de karakters plaatste was zo dat de zend- en ontvangstapparatuur zo min mogelijk mechanische handelingen hoefden te verrichten en zo lang mogelijk meegingen. De ontstane code wordt ook wel **Murray code** genoemd.

Telegrafie via toetsenborden en zogenaamde teleprinters (die verzonden boodschappen afdrukten) werd mogelijk, dankzij het pionierswerk van Morse, Baudot en Murray.

4.5 De ASCII-tabel

Baudot en Murray hadden de basis gelegd voor het ontstaan van een **ITA (International Telegraph Alphabet)**. Het op Baudot's code gebaseerde alfabet werd ITA1 genoemd en het op Murray's code gebaseerde alfabet werd ITA2. In de eerste 50 jaar van de 20^e eeuw toegepast in de telegrafie.

Rond 1940 startte de ontwikkeling van de computer. Twintig jaar later voorzag **Bob Bemer**, werkzaam bij IBM, dat de computer een rol zou gaan spelen in communicatie. Bemer inventariseerde 60 verschillende karaktercoderingen bij de verschillende computers die in de loop der tijd waren ontstaan, zette een groep mensen aan het werk om een universele code te ontwikkelen en publiceerde de onderzoeksresultaten.

Het resultaat is de **ASCII code (American Standard Code for Information Interchange)**, voor het eerst erkend in 1963:

ASCII code

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	NUL	SOH	ST X	ET X	EO T	ENQ	AC K	BE L	BS	HT	LF	VT	FF	C R	S O	SI
1	DLE	DC1	DC 2	DC3	DC4	NA K	SYN	ET B	CA N	E M	SU B	ES C	FS	GS	RS	US
2	sp	!	"	#	\$	%	&	'	(	)	*	+	,	-	.	/
3	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	:	;	<	=	>	?
4	@	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
5	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	[	\	]	^	_
6	`	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
7	p	q	r	s	t	u	v	w	x	y	z	{		}	~	DE L

Deze basistabel bestaat uit 128 karakters. Aan de hand van de tabel kan elk karakter worden voorgesteld door een binaire code van 7 bits. Hoe werkt deze code?

Voorbeeld:

De letter "a" is het 98^e karakter in de tabel en heeft dus als bijbehorend nummer "97" (het eerste karakter is de "NUL" en heeft het bijbehorende nummer "0"). De ASCII code van de letter "a" is dus de bitreeks: 1100001.

In totaal kunnen er met 7 bits $2^7 = 128$ codes worden gemaakt. Dat maakt de codering natuurlijk niet tot een wereldwijde standaard codering die in alle taalgebieden bruikbaar is. Toch lukte het Bemer om de ASCII tabel uit te breiden met een groot aantal andere karaktersets (Chinees, etc) door een idee van Baudot te gebruiken. Via ESC (de 38^e code uit de tabel) kunnen allerlei andere karaktersets worden aangeroepen, net zoals je bij Baudot de tabel met "figures" kon aanroepen. Met ESC gevolgd door een nummer open je de karakterset die je wilt gebruiken. We noemen deze karaktersets extended ASCII.

Hieronder staat de ASCII code eenvoudiger weergegeven:

dec	bin	kar	dec	bin	kar	dec	bin	kar
00	0000000	NUL	43	0101011	+	86	1010110	V
01	0000001	SOH	44	0101100	,	87	1010111	W
02	0000010	STX	45	0101101	-	88	1011000	X
03	0000011	EOX	46	0101110	.	89	1011001	Y
04	0000100	EOT	47	0101111	/	90	1011010	Z
05	0000101	ENQ	48	0110000	0	91	1011011	[
06	0000110	ACK	49	0110001	1	92	1011100	\
07	0000111	BEL	50	0110010	2	93	1011101	]
08	0001000	BS	51	0110011	3	94	1011110	^
09	0001001	HT	52	0110100	4	95	1011111	_
10	0001010	LF	53	0110101	5	96	1100000	`
11	0001011	VT	54	0110110	6	97	1100001	a
12	0001100	FF	55	0110111	7	98	1100010	b
13	0001101	CR	56	0111000	8	99	1100011	c
14	0001110	SO	57	0111001	9	100	1100100	d
15	0001111	SI	58	0111010	:	101	1100101	e
16	0010000	DLE	59	0111011	;	102	1100110	f
17	0010001	DC1	60	0111100	<	103	1100111	g
18	0010010	DC2	61	0111101	=	104	1101000	h
19	0010011	DC3	62	0111110	>	105	1101001	i
20	0010100	DC4	63	0111111	?	106	1101010	j
21	0010101	NAK	64	1000000	@	107	1101011	k
22	0010110	SYN	65	1000001	A	108	1101100	l
23	0010111	ETB	66	1000010	B	109	1101101	m
24	0011000	CAN	67	1000011	C	110	1101110	n
25	0011001	EM	68	1000100	D	111	1101111	o
26	0011010	SUB	69	1000101	E	112	1110000	p
27	0011011	ESC	70	1000110	F	113	1110001	q
28	0011100	FS	71	1000111	G	114	1110010	r
29	0011101	GS	72	1001000	H	115	1110011	s
30	0011110	RS	73	1001001	I	116	1110100	t
31	0011111	US	74	1001010	J	117	1110101	u
32	0100000	sp	75	1001011	K	118	1110110	v
33	0100001	!	76	1001100	L	119	1110111	w
34	0100010	“	77	1001101	M	120	1111000	x
35	0100011	#	78	1001110	N	121	1111001	y
36	0100100	\$	79	1001111	O	122	1111010	z
37	0100101	%	80	1010000	P	123	1111011	{
38	0100110	&	81	1010001	Q	124	1111100	
39	0100111	‘	82	1010010	R	125	1111101	}
40	0101000	(	83	1010011	S	126	1111110	~
41	0101001	)	84	1010100	T	127	1111111	DEL
42	0101010	*	85	1010101	U			

In de ASCII-tabel herkennen we ook weer een aantal opmaaksymbolen, naar het idee van Murray om naast karakters ook machine-instructies te coderen en zodoende toetsenborden en machines het ingewikkelde codeerwerk te kunnen laten doen.

We herkennen de door Murray bedachte opmaaksymbolen:

10 = 0001010 = LF (Line Feed = nieuwe regel)

13 = 0001101 = CR (Carriage Return = volgende positie op de regel)

Je drukt op de spatiebalk en ook deze handeling wordt door de computer vertaald in een code:

32 = 0100000 = sp (space = spatie)

Natuurlijk vindt deze codering niet alleen plaats als je berichten verzendt maar ook als je een tekstdocument aan het maken bent.

Computers en randapparatuur werken over het algemeen met bytes, series van 8 bits. Als achtste bit van de ASCII code wordt traditioneel een **pariteitsbit** toegevoegd. Het doel van deze extra bit is om foutcontrole mogelijk te maken.

Als voorbeeld bekijken we de letter “E” = 69 = 1000101.

Bij **geen pariteit** wordt standaard een “0” toegevoegd aan de ASCII code, zodat de “E” wordt gecodeerd als 10001010.

Bij **oneven pariteit** wordt gekeken naar het aantal enen in de code. Is dit aantal oneven, dan wordt een “0” toegevoegd om het aantal enen oneven te houden en is het aantal even, dan wordt een “1” toegevoegd om het aantal enen oneven te maken. De letter “E” wordt bij oneven pariteit dus gecodeerd als 10001010.

Bij **even pariteit** wordt gekeken naar het aantal enen in de code. Is dit aantal even, dan wordt een “0” toegevoegd om het aantal enen even te houden en is het aantal oneven, dan wordt een “1” toegevoegd om het aantal enen even te maken. De letter “E” wordt bij even pariteit dus gecodeerd als 10001011.

OPDRACHT

Opdracht 4.3

10000101 11010000 11000100 01000000 10000101 11001011
11011010 11001011 11100101

Vertaal deze ASCII boodschap, gecodeerd met oneven pariteit.

Wanneer bij even pariteit toch een byte wordt ontvangen met een oneven aantal bits, dan weet de ontvangende partij dat er een fout is opgetreden.

Om aan te geven dat een boodschap goed is ontvangen kan door de ontvangende partij gebruik gemaakt worden van de code:

06 = 0000110 = ACK (ACKnowledge = bevestig)

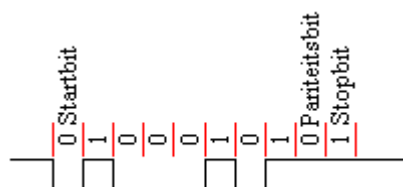
en om aan te geven dat een boodschap niet goed is ontvangen kan gebruik gemaakt worden van de code:

21 = 0010101 = NAK (Negative AcKnowledge = ontkenning)

Bij communicatie tussen computers dient altijd bekend te zijn op welke manier de gegevens (**data**) uitgewisseld worden. Dit noemen we het dataformaat. Een voorbeeld van een **dataformaat** is het formaat 9600-8-N-1.

Dat betekent dat de data worden verzonden met een snelheid of Baud rate van 9600 bits per seconde, telkens met 8 bits tegelijk, geen pariteit en één stopbit.

De letter “E” wordt bij dataformaat 9600-8-N-1 verzonden als:

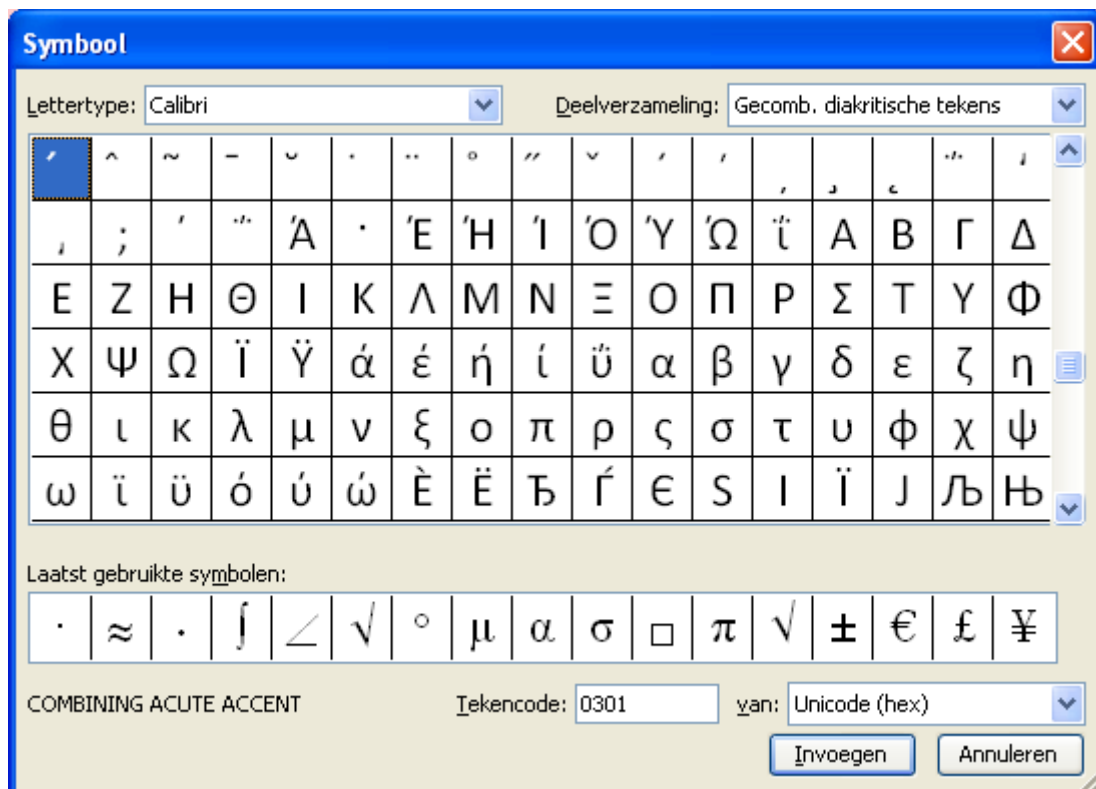


figuur 4.7 Weergave van de wijze waarop de letter “E” wordt verzonden.

4.6 Unicode

Sinds 1991 wordt er gewerkt aan een universele karaktercodering waarbij alle karakters, die er op de wereld worden gebruikt, in één tabel zijn opgenomen. Deze code wordt ook wel **Unicode** genoemd. Vanaf 1991 (Unicode 1.0) is Unicode uitgebreid met allerlei alfabetten, tekens en symbolen.

De meest recente versie van Unicode is een 32-bits codering, hetgeen betekent dat er ruimte is voor $2^{32} = 4294967296$ verschillende karakters. Dat is ook wel nodig, want alleen al de Chinese taal kent duizenden karakters. Als je een symbool toevoegt in een MicroSoft programma zoals Frontpage zie je dat er gebruik wordt gemaakt van de Unicode tabel.



4.7 Samenvatting

Onder **karaktercodering** verstaan we het coderen van letters en leestekens om communicatie op afstand mogelijk te maken. De ontwikkeling van de karaktercodering is hieronder in een historisch overzicht samengevat.

1844	Samuel Morse	eerste telegrafische verbinding met Morse code
1873	Christopher Sholes	uitvinding typemachine
1874	Emile Baudot	introductie klavier en Baudot code in de telegrafie
1888	Heinrich Hertz	ontdekking radiogolf
1894	Guglielmo Marconi	eerste radioverbinding
1902	Donald Murray	introductie toetsenbord en Murray code in de telegrafie
1963	Bob Bemer	introductie ASCII code in computercommunicatie

Samuel Morse ontwikkelde een karaktercodering waarbij elk karakter werd voorgesteld als een aantal punten en strepen. Deze werden met behulp van een Morse sleutel als korte en lange pulsen verzonden. Het ontvangende apparaat noteerde de pulsen als korte en lange tikken op een papierstrook. De boodschap kon vervolgens handmatig worden gedecodeerd.

Emile Baudot gebruikte een karaktercodering, ontwikkeld door de Duitsers Gauss en Weber, waarbij elk karakter bestond uit 5 tikken. Deze werden met behulp van een klavier als vijf (mogelijke) pulsen verzonden. Het ontvangende apparaat noteerde op elk van de 5 plekken waar een puls ontvangen werd een tik op een papierstrook. De boodschap kon vervolgens handmatig worden gedecodeerd. Voordeel: doordat elk karakter eenzelfde lengte van 5 pulsen had, was er minder onduidelijkheid over de ontvangen boodschap en werden er minder fouten gemaakt.

Donald Murray gebruikte een vergelijkbare karaktercodering, maar ontwikkelde een toetsenbord waarop de karakters zichtbaar waren. De codering werd door een apparaat verricht. Het ontvangende apparaat deed het omgekeerde en plaatste de karakters op papier. Voordeel: de zender en ontvanger hoefden geen ingewikkelde codes meer uit hun hoofd te leren.

Bob Bemer vervolmaakte de codering van Murray tot een 7-bits codering. Bij deze codering wordt elk karakter voorgesteld door een binair getal. Een **pariteitbit** vult het aantal bits aan tot 8 bits. Computers en computersystemen verzenden deze codes en kunnen door ontvangende computers worden terugvertaald in karakters.

Op dit moment werkt men aan **unicode**, een universele, 16-bits karaktercodering waarin alle karakters ter wereld zijn opgenomen.

4.8 ANTWOORDEN

Opdracht 4.1

Vertaald is de boodschap: "what hath God wrought?" (wat heeft God gemaakt?).

Opdracht 4.2

Vertaald is de boodschap: "Baudot is een slimme kerel".

Opdracht 4.3

Vertaald is de boodschap: "Bob Bemer".