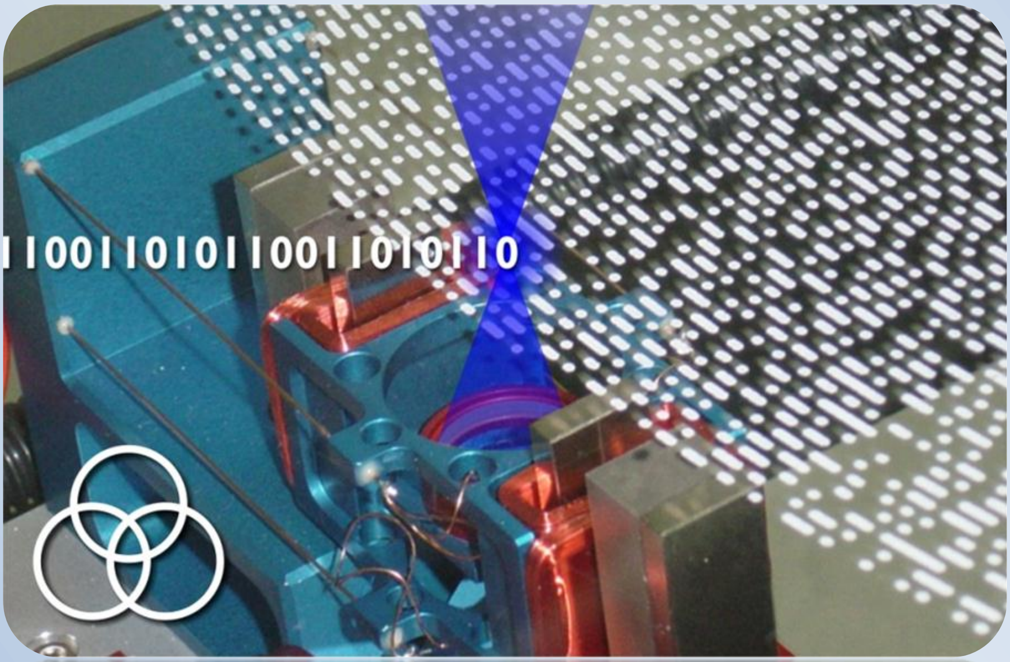
De Blu-ray Disc

Uitwerkingen opgaven



Een vakoverstijgende opdracht voor 5 havo en 5/6 vwo

(natuurkunde, wiskunde, elektrotechniek, meet- en regeltechniek)

Jean Schleipen
Philips Research, Eindhoven

Jet-Net
Jongeren en Technologie Netwerk Nederland

PHILIPS

Opgave 2

0101 = $\mathbf{0} \times 2^3 + \mathbf{1} \times 2^2 + \mathbf{0} \times 2^1 + \mathbf{1} \times 2^0 = 4 + 1 = 5$

0011 = $\mathbf{0} \times 2^3 + \mathbf{0} \times 2^2 + \mathbf{1} \times 2^1 + \mathbf{1} \times 2^0 = 2 + 1 = 3$

1000 = $\mathbf{1} \times 2^3 + \mathbf{0} \times 2^2 + \mathbf{0} \times 2^1 + \mathbf{0} \times 2^0 = 8$

1111 = $\mathbf{1} \times 2^3 + \mathbf{1} \times 2^2 + \mathbf{1} \times 2^1 + \mathbf{1} \times 2^0 = 8 + 4 + 2 + 1 = 15$

0000 = $\mathbf{0} \times 2^3 + \mathbf{0} \times 2^2 + \mathbf{0} \times 2^1 + \mathbf{0} \times 2^0 = 0$

Vul in:

1100 = $\mathbf{1} \times 2^3 + \mathbf{1} \times 2^2 + \mathbf{0} \times 2^1 + \mathbf{0} \times 2^0 = 8 + 4 = 12$

0111 = $\mathbf{0} \times 2^3 + \mathbf{1} \times 2^2 + \mathbf{1} \times 2^1 + \mathbf{1} \times 2^0 = 4 + 2 + 1 = 7$

10 = $1 \times 8 + 0 \times 4 + 1 \times 2 + 0 \times 1 = \mathbf{1} \times 2^3 + \mathbf{0} \times 2^2 + \mathbf{1} \times 2^1 + \mathbf{0} \times 2^0 = \mathbf{1\,0\,1\,0}$

4 = $0 \times 8 + 1 \times 4 + 0 \times 2 + 0 \times 1 = \mathbf{0} \times 2^3 + \mathbf{1} \times 2^2 + \mathbf{0} \times 2^1 + \mathbf{0} \times 2^0 = \mathbf{0\,1\,0\,0}$

Zoek hierbij voortdurend naar de hoogste 2-macht die in het getal, cq. het [restgetal], past; voorbeeld:

37 = 32 + [5] = 32 + 4 + [1] = 32 + 4 + 1 = $2^5 + 2^2 + 2^0$ = 1 0 0 1 0 1 = in bytes: 0 0 1 0 0 1 0 1 (links 0-en aanvullen tot een totaal van 8 bits bereikt is; 1 byte = 8 bits).

53 = 32 + [21] = 32 + 16 + [5] = 32 + 16 + 4 + [1] = 32 + 16 + 4 + 1 = $2^5 + 2^4 + 2^2 + 2^0$ = 1 1 0 1 0 1 = in bytes: 0 0 1 1 0 1 0 1

Opgave 3

Een 4-bits getal kan in totaal **16** verschillende waarden aannemen: 0, 1, 2, …, 14, 15.

Het bereik van -4V tot +4V kan dus in 16 intervallen worden verdeeld, met een stapgrootte van 8V/16=0.5V .

Opgave 4

Voor de audio-cd wordt een bitdiepte of resolutie van 16 bits gebruikt. De grootste macht van 2 voor een 16-bits getal is 2^{15} = 32768.

Het kleinste 16-bits getal is 0000 0000 0000 0000 = 0
Het grootste 16-bits getal is 1111 1111 1111 1111 = $2^{16} - 1$ = 65535.
Een 16-bits getal kan dus 65536 = 2^{16} verschillende waardes aannemen.

Opgave 5

1000 1000 1000 = $1 \times 2^{11} + 1 \times 2^7 + 1 \times 2^3 = 2048 + 128 + 8 = 2184$.

0101 0101 0101 = $1 \times 2^{10} + 1 \times 2^8 + 1 \times 2^6 + 1 \times 2^4 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^0 = 1024 + 256 + 64 + 16 + 4 + 1 = 1365$.

0000 0000 1010 = $1 \times 2^3 + 1 \times 2^1 = 8 + 2 = 10$.

1000 0000 0001 = $1 \times 2^{11} + 1 \times 2^0 = 2048 + 1 = 2049$.

Opgave 6

4095 = 2048 + [2047] =
= 2048 + [1024] + 1023 =
= 2048 + 1024 + 512 + [511] =
= 2048 + 1024 + 512 + 256 + [255] =
= 2048 + 1024 + 512 + 256 + 128 + [127] =
= 2048 + 1024 + 512 + 256 + 128 + 64 + [63] =
= 2048 + 1024 + 512 + 256 + 128 + 64 + 32 + [31] =
= 2048 + 1024 + 512 + 256 + 128 + 64 + 32 + 16 + [15] =
= 2048 + 1024 + 512 + 256 + 128 + 64 + 32 + 16 + 8 + [7] =
= 2048 + 1024 + 512 + 256 + 128 + 64 + 32 + 16 + 8 + 4 + [3] =
= 2048 + 1024 + 512 + 256 + 128 + 64 + 32 + 16 + 8 + 4 + 2 + [1] =
= 2048 + 1024 + 512 + 256 + 128 + 64 + 32 + 16 + 8 + 4 + 2 + 1 = **1111 1111 1111**

3000 = 2048 + [952] =
= 2048 + 512 + [440] =
= 2048 + 512 + 256 + [184] =
= 2048 + 512 + 256 + 128 + [56] =
= 2048 + 512 + 256 + 128 + 32 + [24] =
= 2048 + 512 + 256 + 128 + 32 + 16 + [8] =
= 2048 + 512 + 256 + 128 + 32 + 16 + 8 + [0] = **1011 1011 1000**

199 = 128 + [71] =
= 128 + 64 + [7] =
= 128 + 64 + 4 + [3] =
= 128 + 64 + 4 + 2 + [1] =
= 128 + 64 + 4 + 2 + 1 + [0] = **0000 1100 0111**

1234 = 1024 + [210] =
= 1024 + 128 + [82] =
= 1024 + 128 + 64 + [18] =
= 1024 + 128 + 64 + 16 + [2] =
= 1024 + 128 + 64 + 16 + 2 + [0] = **0100 1101 0010**

Opgave 7

Volt schaal -4 tot +4 V	**Volt** schaal 0 tot 8 V	**Decimaal getal**	**Binair getal**
-2,21	1,79	916	0011 1001 0100
1,03	5,03	2575	1010 0000 1111
0,73	4,73	2421	1001 0111 0101
-1,51	2,49	1275	0100 1111 1011
0,67	4,67	2390	1001 0101 0110
-0,28	3,72	1904	0111 0111 0000
-1,88	2,12	1085	0100 0011 1101

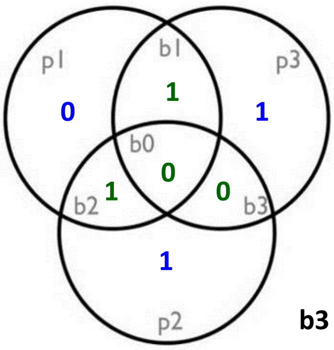
-2,21 V <-> 1,79 V <-> (1,79 / 8) * 4095 = 916,26 <-> 916
1,03 V <-> 5,03 V <-> (5,03 / 8) * 4095 = 2574,73 <-> 2575

Opgave 8

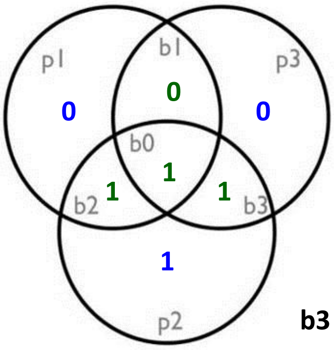
Neem de tekst “ABC”, gebruik de bijgeleverde ASCII tabel (bijlage A, werkblad “binair”)

tekst:	A	B	C
tekst naar decimaal:	101	102	103
decimaal naar binair:	0100 0001	0100 0010	0100 0011

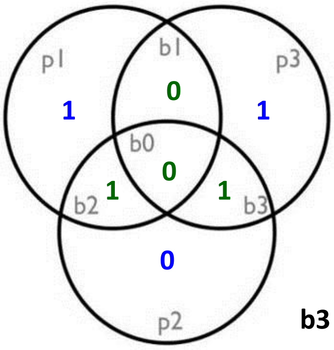
Opgave 9



b3 b2 b1 b0 = 0110 -> p3 p2 p1 = 110



b3 b2 b1 b0 = 1101 -> p3 p2 p1 = 010



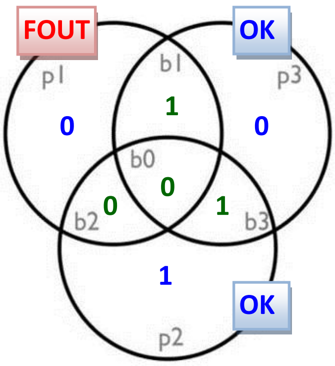
b3 b2 b1 b0 = 1100 -> p3 p2 p1 = 101

Het 12-bits muziekfragment **1100 0110 1101 1100** ziet er na codering met de Hamming-code dan als volgt uit: **1100101 0110110 1101010 1100101**.

Opgave 10

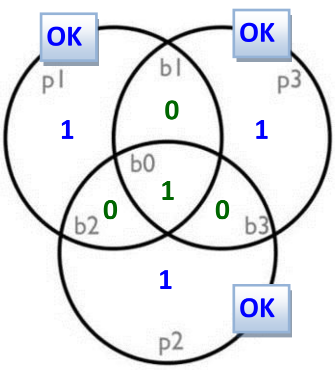
Codewoord 1010010 -> b3 b2 b1 b0 = **1010**; p3 p2 p1 = **010**

Geen geldig codewoord: de cirkel linksboven bevat een oneven aantal 1-en !



Codewoord 0001111 -> b3 b2 b1 b0 = **0001**; p3 p2 p1 = **111**

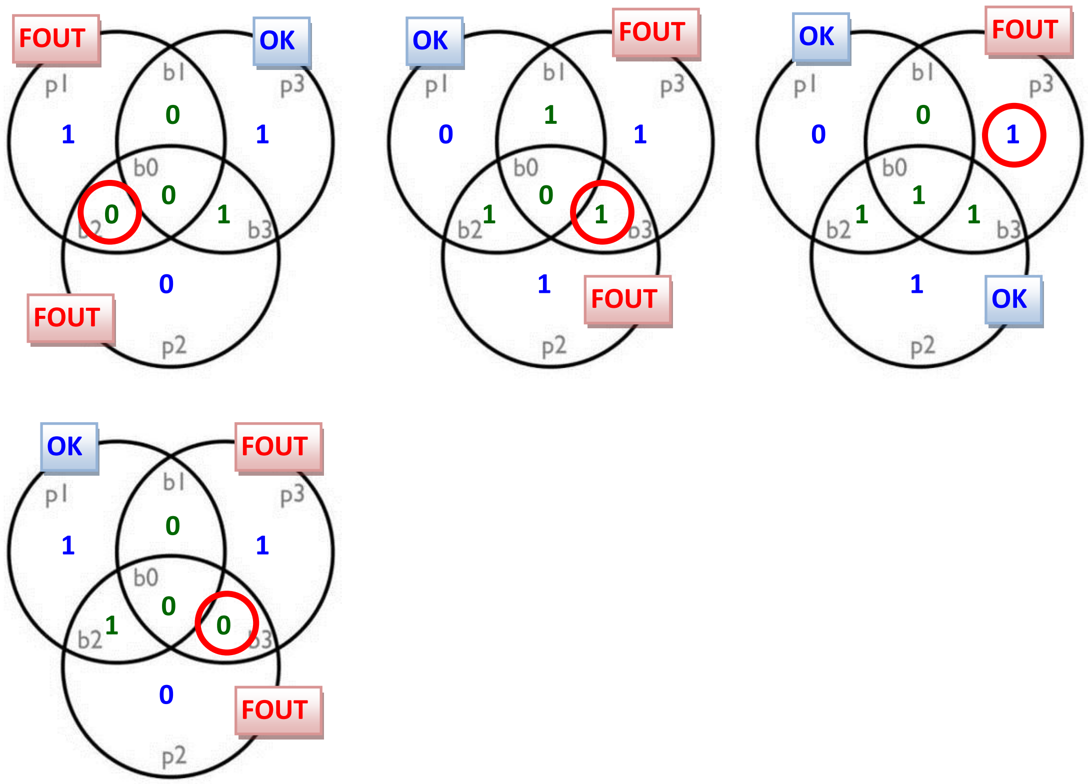
Geldig codewoord: alle cirkels bevatten een even aantal 1-en!



Opgave 11

Na uitlezen van de cd krijgen we de volgende bitreeks:

1000101111011011011100100101 =
1000101 1110110 1101110 0100101 =
1000 101 1110 110 1101 110 0100 101



De foute bits in de gelezen sequentie zijn dus:

1 0 0 0 1 0 1 1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 1 0 0 1 0 0 1 0 1

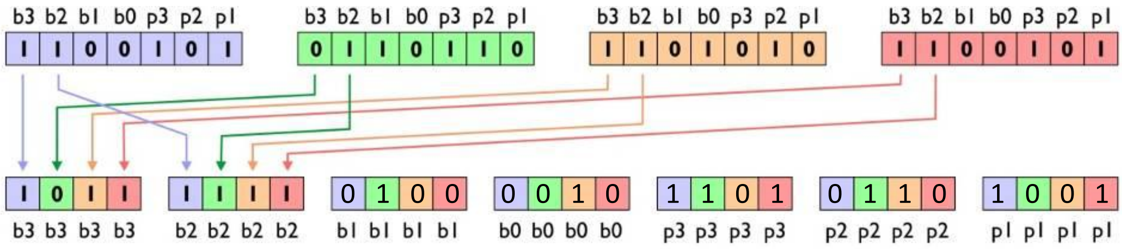
Na correctie (0 wordt 1, en 1 wordt 0) levert dit op:

1 1 0 0 1 0 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 1 0 0 1 0 1

Met als gebruikersbits: **1100 0110 1101 1100**, en dit is inderdaad gelijk aan de oorspronkelijke sequentie van bits, zoals gedefinieerd onderaan op pagina 17.

Opgave 12

De bitreeks van opgave 9: **1100101 0110110 1101010 1100101** ziet er na interleaving als volgt uit:



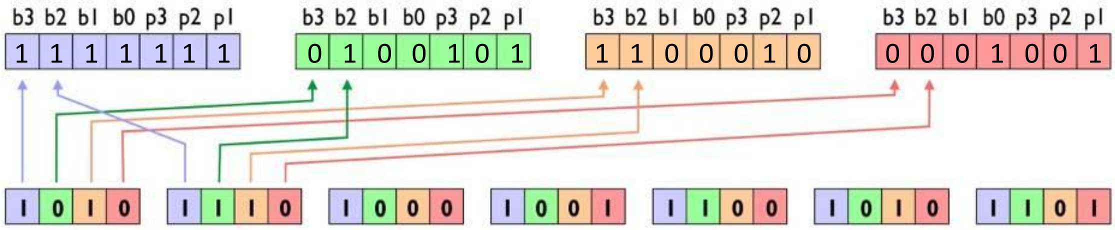
De gevraagde bitreeks na interleaving is dus:

1011 1111 0100 0010 1101 0110 1001

Opgave 13

Gegeven de volgende bitreeks die met interleaving op disc is weggeschreven:
1010 1110 1000 1001 1100 1010 1101

Deze reeks bits bestaat uit de volgende 4 codewoorden: **1111111 0100101 1100010 0001001**



Opgave 15

De laserspot diameter w wordt gegeven door w = 1.22 x λ / NA, met λ de golfllengte van het laserlicht en NA de numerieke apertuur van de gebruikte objectieflens die het licht focusseert.

w_{cd} = 1.22 x 780 nm / 0.45 = 2115 nm = 2.12 μm

w_{dvd} = 1.22 x 650 nm / 0.60 = 1322 nm = 1.32 μm

$w_{Blu\text{-}ray\ Disc}$ = 1.22 x 405 nm / 0.85 = 581 nm = 0.58 μm

De oppervlakte van de laserspots is $O_w = \pi \times (w/2)^2$

$O_{w,\ cd}$ = 3.14 x 1.06^2 μm^2 = 3.5 μm^2

$O_{w,\ dvd}$ = 3.14 x 0.66^2 μm^2 = 1.4 μm^2

$O_{w,\ Blu\text{-}ray\ Disc}$ = 3.14 x 0.29^2 μm^2 = 0.26 μm^2

De oppervlakte van het actief gebruikte deel van de disc, tussen de radii R_{in}=22mm en R_{uit}=58mm bedraagt $O_{disc} = \pi \times R_{uit}^2 - \pi \times R_{in}^2 = \pi \times (R_{uit}^2 - R_{in}^2)$ = 3.14 x (58^2-22^2) mm^2 = 9048 mm^2 ; ofwel: O_{disc} = 9.048 x 10^3 mm^2 = 3.048 x 10^9 μm^2 .

Het totaal aantal beschikbare bits kan nu worden uitgerekend door het actieve disc oppervlak te delen door de oppervlakte van de laserspot O_w :

Aantal bits cd = O_{disc} / $O_{w,\ cd}$ = 3.048 x 10^9 / 3.5 = 870857142 = 871 x 10^6 bits

Aantal bits dvd = O_{disc} / $O_{w,\ dvd}$ = 3.048 x 10^9 / 1.4 = 2177142857 = 2177 x 10^6 bits

Aantal bits Blu-ray Disc = O_{disc} / $O_{w,\ Blu\text{-}ray\ Disc}$ = 3.048 x 10^9 / 0.26 = 11723076923 = 11723 x 10^6 bits

Opm:
Dit is slechts een ruwe benadering; het hier uitgerekende aantal bits wijkt af van het daadwerkelijk beschikbare aantal bits, omdat:
(i) in deze sommetjes eigenlijk de kanaal bitlengte genomen moet worden (hoofdstuk 3);
(ii) het eigenlijke aantal bits verkregen wordt door de lengte van de dataspiraal te delen door de fysieke lengte van een kanaalbit. Zie opgaven 19 en 20. Hier komt de spoorafstand om de hoek kijken, die voor de verschillende systemen cd, dvd, en Blu-ray Disc, dusdanig is geminimaliseerd om nog net met voldoende signaal-ruis verhouding en minimale *overspraak* (= de invloed van spoor *n*-1 en spoor *n*+1 op het uit te lezen spoor *n*) de signalen te kunnen uitlezen.

Opgave 16

Een muziek-cd heeft een afspeelduur van 74 minuten.	Dit is **4440** sec.
De muziek is bemonsterd met 44100 samples/sec.	Voor 74 min muziek zijn er dus **195804000** samples nodig.
Voor stereogeluid worden er tegelijkertijd twee kanalen opgenomen.	In totaal hebben we dus **391608000** samples.
De resolutie waarmee de samples op de disc worden geschreven is 16 bits/sample.	Dit levert in totaal **6265728000** bits.
1 byte = 8 bits	Hetgeen overeenkomt met **783216000** bytes.
1 kbyte = 1024 bytes 1 Mbyte = 1024 kbytes (dus 1 MB = 1 Mbyte = 1024^2 bytes)	De opslag van 74 minuten muziek op een cd kost dan **783216000 bytes** / 1024^2 = **747** MB opslagcapaciteit.

Opgave 17

De film heeft een speelduur van 1 uur.	Dit is **3600** sec.
Een film wordt met 25 beeldjes/sec afgespeeld.	Dit levert **90000** beelden.
Elk beeldje bestaat uit 576 rijen van elk 720 pixels (beeldpunten): de maten voor het huidige PAL-TV-systeem.	Totaal zijn er dus 90000 x 576 x 720 = **37324800000** pixels.
De resolutie waarmee de helderheid van een enkel pixel op de disc wordt geschreven is 8 bits/pixel.	Dit levert in totaal **298598400000** bits.
Per pixel heb je drie kleuren: rood, groen en blauw	Totaal zijn er dus **895795200000** bits.
1 byte = 8 bits	Dit is gelijk aan **111974400000** bytes.
1 kbyte = 1024 bytes 1 Mbyte = 1024 kbytes 1 Gbyte = 1024 Mbytes (dus 1 GB =1 Gbyte = 1024^3 bytes)	De opslag van 1 uur film kost dan **111974400000 bytes** / 1024^3 = **104** GB opslagcapaciteit.

Opgave 18

100.000 boeken x 300 pagina's/boek x 4000 letters/pagina = 120000000000 letters = 120×10^9 letters.
Voor één letter is 1 byte opslagcapaciteit nodig: 120×10^9 bytes.
Wanneer we gebruik maken van ZIP datacompressie wordt het vereiste aantal bytes gereduceerd tot $0.15 \times 120 \times 10^9$ bytes = 18×10^9 bytes = $18 \times 10^9 / 1024^3$ GBytes = 16.8 GBytes.
Eén enkel Blu-ray Disc schijfje heeft een opslag capaciteit van 25 GBytes. Dit betekent dat we alle 100000 boeken met gemak kwijt kunnen op één enkele Blu-ray Disc !!!

Opgave 19

De totale lengte $\boldsymbol{L}$ van de dataspiraal wordt bij benadering gegeven door: $\boldsymbol{L} = \pi \times (R_{uit}^2 - R_{in}^2) / p$.
R_{uit} = 58mm; R_{in}=22mm; p_{cd}=1.6µm; p_{dvd}=0.74µm en $p_{\text{Blu-ray Disc}}$=0.32µm. Invullen levert (let op gebruik van juiste eenheden: 1 µm = 10^{-3} mm):

$\boldsymbol{L}_{cd}$ = $3.14 \times (58^2-22^2)$ mm^2 / (1.6×10^{-3} mm) = 5654867 mm = 5654 m = 5.6 km

$\boldsymbol{L}_{dvd}$ = $3.14 \times (58^2-22^2)$ mm^2 / (0.74×10^{-3} mm) = 12226739 mm = 12226 m = 12.2 km

$\boldsymbol{L}_{\text{Blu-ray Disc}}$ = $3.14 \times (58^2-22^2)$ mm^2 / (0.32×10^{-3} mm) = 28274334 mm = 28274 m = 28.3 km

Opgave 20

De totale lengte van de dataspiraal op een Blu-ray Disc bedraagt 28.3 km (opgave 19). De fysische lengte van een enkel kanaalbit voor Blu-ray Disc bedraagt 75 nm. Het totaal aantal kanaalbits dat we langs de spiraal kunnen wegschrijven bedraagt dan: 28.3 km / 75 nm = 28.3×10^3 m / (75×10^{-9} m) = 377333333333 bits = 47166666667 bytes = 43.9 GBytes.

Opm:

Dit is het totaal aantal kanaalbits! In de praktijk heeft de eindgebruiker slechts de beschikking over een bepaald percentage van dit aantal kanaalbits omdat een deel van de kanaalbits nodig zijn voor het wegschrijven van de error correctie pariteitbits, timing informatie, de table-of-contents en dergelijke. Voor het Blu-ray Disc systeem heeft de consument de beschikking over 57% van het totaal aantal kanaalbits = 25 GBytes (gebruikersdata).

Opgave 21

(i) De volgende reeks van 46 gebruikersbits 1010100101100000010010111101000100101110010110 wordt met de 17-kanaalcodering als volgt omgezet in een stroom kanaalbits:

gebruikersbits:	kanaalbits:
10	001
10	001
1001	010 000
01	100
1000	001 000
0001	100 000
00	101
10	001
11	010
11	010
01	100
0001	100 000
00	101
10	001
11	010
1001	010 000
01	100
10	001

zetten we de kanaalbits achter elkaar, dan krijgen we:

001 001 010 000 100 001 000 100 000 101 001 010 010 100 100 000 101 001 010 010 000 100 001

(ii) De runlengtes in klokslagen kunnen we uitrekenen door het aantal 0-en te tellen tussen twee opeenvolgende 1-en, en daar 1 bij op te tellen:

001	001	01	00001	00001	0001	000001	01	001	01	001	01	001	000001	01	001	01	001	00001	00001
3T	3T	2T	5T	5T	4T	6T	2T	3T	2T	3T	2T	3T	6T	2T	3T	2T	3T	5T	5T

(iii) Deze runlengte sequentie 3-3-2-5-5-4-6-2-3-2-3-2-3-6-2-3-2-3-5-5 wordt als kanaalbits naar disc weggeschreven als een putje met lengte 3 klokslagen, een niet-putje met lengte 3 klokslagen, een putje met lengte 2 klokslagen, een niet-putje met lengte 5 klokslagen enz. (onder een *niet-putje* verstaan we de lege ruimte tussen twee opeenvolgende putjes). In totaal zijn hiervoor nodig 3+3+2+5+5+4+6+2+3+2+3+2+3+6+2+3+2+3+5+5 = 69 kanaalbits met lengte T. Aangezien T gelijk is aan 0.5a (met a de minimale putgrootte) hebben we hiervoor een stukje dataspiraal nodig met lengte 69 x 0.5a = 34.5a .

Zonder kanaalcodering moeten we 46 bits wegschrijven, met elk een minimale lengte van a: 46 a.

Door het toepassen van kanaalcodering hebben we dus 100% x (46-34.5)/46 = 25% minder disc ruimte nodig !!