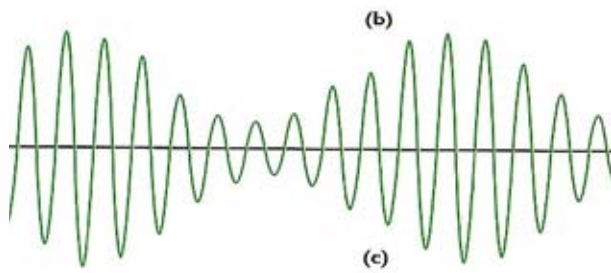


Communicatie

Ver en dichtbij



KLAS 4 HAVO

COMMUNICATIE

Over deze lessenserie

In deze lessenserie gaat het om Communicatie: de manieren waarop wij woorden en beelden uitwisselen. Dit kan van dichtbij door spreken, oogcontact of een gebaar, maar ook op afstand met behulp van moderne communicatietechnieken. In beide gevallen spelen trillingen en golven een belangrijke rol.

Voor het gedeelte over Trillingen en Golven wordt de lesmethode *Newton* gebruikt, uitgegeven door ThiemeMeulenhoff (2007).

Havo informatieboek 2, hoofdstuk 14.

Havo verwerkingsboek 2, hoofdstuk 14.

Deze uitgave bestaat verder uit twee hoofdstukken die communicatie op afstand als centraal onderwerp hebben. Hier spelen lopende golven een belangrijke rol. Hoofdstuk 1 gaat over telecommunicatie en hoofdstuk 2 over de mobiele telefoon.

Colofon

Project Nieuwe Natuurkunde

Auteurs Cor van Huis

Bijdragen: Tom Kooij, Pier Siersma, David Fokkema

Vormgeving: Lucie de Nooij, Loran de Vries

Redactie: Ed van den Berg (tot 1 juli 2008), Harrie Eijkelhof, Koos Kortland (sinds 1 oktober 2008), Guus Mulder (sinds 1 september 2008), Maarten Pieters, Chris van Weert, Fleur Zeldenrust

Versie november 2010

Copyright

©Stichting natuurkunde.nl, Enschede 2010

Alle rechten voorbehouden. Geen enkele openbaarmaking of verveelvoudiging is toegestaan, zoals verspreiden, verzenden, opnemen in een ander werk, netwerk of website, tijdelijke of permanente reproductie, vertalen of bewerken of anderszins al of niet commercieel hergebruik. Als uitzondering hierop is beperkte openbaarmaking of verveelvoudiging toegestaan mits uitsluitend bedoeld voor eigen gebruik of voor gebruik in het eigen onderwijs aan leerlingen onder vermelding van de bron.

Voor een deel van deze module wordt gebruik gemaakt van de lesmethode *Newton*. Uitgeverij ThiemeMeulenhoff heeft hiervoor toestemming gegeven, uitsluitend voor gebruik in de pilot van het project Nieuwe Natuurkunde, op scholen die daaraan deelnemen.

Voor zover wij gebruikmaken van extern materiaal proberen wij toestemming te verkrijgen van eventuele rechthebbenden. Mocht u desondanks van mening zijn dat u rechten kunt laten gelden op materiaal dat in deze reeks is gebruikt, dan verzoeken wij u contact met ons op te nemen: info@nieuwenatuurkunde.nl.

COMMUNICATIE

gedeelte Trillingen en Golven

Voor het gedeelte over Trillingen en Golven wordt de lesmethode *Newton* gebruikt, uitgegeven door ThiemeMeulenhoff (2007).

havo informatieboek 2, hoofdstuk 14.

havo verwerkingsboek 2, hoofdstuk 14.

Telecommunicatie



De mobiele telefoon



INHOUDSOPGAVE

1	Telecommunicatie	82
1.1	Een stukje geschiedenis	84
1.2	Radiogolven.....	86
1.3	Overbrengen van informatie	90
1.4	Digitalisering	93
	Opgaven.....	103
2	De mobiele telefoon	107
2.1	De GSM.....	108
2.2	Communicatie met een GSM.....	111
2.3	Recente Ontwikkelingen.....	118
	Opgaven.....	123

Het lesmateriaal begint met de startpagina. Hierop staat de benodigde **voorkennis** voor deze lessenserie.

In de box **voorkennis** staan de kennis en vaardigheden die je paraat moet hebben voordat je aan het lesmateriaal begint.

De **hoofdstukvraag** vormt het uitgangspunt van de leerstof die je in dit hoofdstuk gaat tegenkomen. De vraag zal in de tekst beantwoord worden.

1 Telecommunicatie

De antenne

*I'm the Antenna
Catching vibrations
You're the transmitter
Give information!*

Wir richten unseren bei Firmament
Ermählungen die Töne die Niemand kennt

*I'm the transmitter
I give information
You're the antenna
Catching vibrations*

*Es Strahlen die Sender Bild, Ton und Wort
Elektromagnetisch an jeden Ort*

*I'm the antenna
Catching vibrations
You're the transmitter
Glow information!*

Radio Sender und Hörer sind wie
Soldaten im Äther des Weltkrieges

*I'm the antenna
Catching vibrations
You're the transmitter
Transmitting love*

*I'm the transmitter
I give information
You're the antenna
Catching vibrations*

Internet

Meester heeft te een radicaalbindende niet binding en, nu nog begrijpen hoe het in staat staat. Zie ook de applet LI:
<http://colorado.edu/new/summit/summit.html> Radio. Wa ver, a
nd, Lee morganette, 1993

GLOBALE OPBOUW VAN EEN PARAGRAAF

1.1 Een stukje geschiedenis

Paragraafvraag	Wat is een antenne – vraag om een van de punten van de tekst te brengen?
----------------	--

Kwaliteit van het signaal

Hoe goed het signaal van je mobiele wordt opgevangen door het basestation (en omgekeerd) is afhankelijk van een aantal factoren. Allereerst de afstand tot het basestation. Dit bepaalt direct hoe sterk het signaal is bij ontvangst. Hoe groter de afstand, hoe zwakker het signaal. Voor grotere afstanden kan dit opgelost worden door het gebruik van goede antennes. Een ander probleem zijn de reflecties. Electromagnetische golven met een frequentie van rond de 900 MHz worden ook als golf's gedroegen, boten, betons, vliegtuigen enz. Dit betekent dat een signaal meerdere keren ontvangen kan worden. De ontvangen signalen overlappen elkaar. Wanneer één van de signalen langer onderweg was (doordat het eerst ergens voorbij is) versuimen de signalen elkaar.

Rekenvoorbeeld – bandbreedte

Vraag:
De TV-kanalen 2, 3 en 4 liggen op de frequenties 40, 42 en 44 MHz. Bereken de bandbreedte die elk kanaal heeft.

Antwoord:
De 3 kanalen hebben samen een frequentieband van $66 - 47 = 21$ MHz. De bandbreedte per kanaal is dan $21/3 = 7$ MHz.

Extra – hoe werkt een radiozender?

Een radiozender ziet er in beginsel ongeveer uit. Je ziet een schema in figuur 1.5. Hij bestaat uit twee geleidende staven aangesloten op een wisselspanningsbron. De wisselspanning zorgt voor een wisselende stroom in de staven. Dit betekent dat een wisselende lading wordt opgewekt. De staven wisselen steeds van polariteit (tussen positief en negatief). De zender wordt dan ook een dipoolzender genoemd. Het elektrische veld (E-veld) begint op een positieve lading (+Q) en eindigt op een negatieve lading (-Q). In figuur 1.5 zie je dan ook dat het E-veld van Q uitgaat en naar -Q gericht is.

16

De **paragraafvraag** vormt het uitgangspunt van de daarop volgende tekst. De vraag wordt in de tekst beantwoord.

In de box “**Extra**” staat informatie die niet tot de leerstof behoort.

In de box “**Rekenvoorbeeld**” staan uitgewerkte berekeningen.

In de box “**Begrippen**” staan belangrijkste termen uit de tekst

Begrippen	Samenvatting
GSM (Global System for Mobile communications) is een draadloze communicatie voor mobiele telefoons (GSM). Frequency Division Multiple Access (FDMA). Time Division Multiple Access (TDMA).	De communicatie tussen een mobiele telefoon en een basestation van een draadloze netwerk wordt gereguleerd door een draadloze netwerk. Een kanaal is de weg van de draadloze communicatie van een mobiele telefoon naar een draadloze netwerk. Het aantal beschikbare kanalen wordt bepaald door FDMA en TDMA. FDMA (Frequency Division Multiple Access) is het proces van de beschikbare frequenties. TDMA (Time Division Multiple Access) is het proces van de beschikbare frequenties in de tijd.

Opgaven

In de box “**Samenvatting**” staat de minimale kennis die je paraat moet hebben.

Opgaven staan bij elkaar aan het einde van een hoofdstuk. De opgaven zijn gegroepeerd per paragraaf.

13. Aantal kanalen bij GSM900 en GSM1800
GSM 1800 (of ISM 1800) is een band met frequenties rondom 1800 MHz. Het bestaat uit 174 frequentiekanalen en het is bij GSM900 en TDMA van 8 tijdsleuven.
- a. Bereken het maximale aantal kanalen bij GSM900 en bij GSM 1800 afzonderlijk.
- b. Bereken het maximale aantal gebruikers dat via een basestation met 4 frequenties kan bellen.
14. Datasnelheid
De datasnelheid is de snelheid in bits per seconde waarmee berichten worden verzonden of ontvangen kunnen worden.
- a. Bereken de datasnelheid voor GSM900.
- b. Ziek op en vergelijk dit met die voor WIFI, Bluetooth en USB 2.0.
15. Synchronisatie van signalen
Synchronisatie is belangrijk. Het is dat er door wisselspanningen door de regelaar een verschuiving van één bit optreedt.
- a. Bereken het tijdsverschil als je één bit bent opgeschoven.
- b. Bereken het bijbehorende wisselspanning.
16. Spraakoverdracht
Spraak wordt vaak opgeslagen in tijdsintervallen van 20 ms. Voor het berekenen van de datasnelheid zijn 456 bits in 20 ms nodig. We gaan nu na of GSM deze bitsnelheid kan bijhouden.
- a. Bereken de tijdsduur om deze 456 bits te verspreiden bij gebruikmaking van TDMA.
- b. Bereken de bitsnelheid voor spraak in kbits per seconde.
- c. Bereken de datasnelheid door de GSM.
- d. Trek je conclusie.

40

1 Telecommunicatie

Hoofdstukvraag	Hoe kunnen we op afstand met elkaar communiceren?
----------------	---

De antenne



Figuur 1.1 Een antenne.

De Duitse band Kraftwerk schreef het volgende lied over een antenne!

*I'm the Antenna
Catching vibration
You're the transmitter
Give information!*

*Wir richten Antennen ins Firmament
Empfängen die Tone die Niemand kennt*

*I'm the transmitter
I give information
You're the antenna
Catching vibration*

*Es Strahlen die Sender Bild, Ton und Wort
Elektromagnetisch an jeden Ort*

*I'm the Antenna
Catching vibration
You're the transmitter
Give information!*

*Radio Sender und Hörer sind wir
Spielen im Äther das Wellenklavier*

*I'm the antenna
Catching vibration
You're the transmitter
Give information*

*I'm the transmitter
I give information
You're the antenna
Catching vibration*

Internet

Mooier kun je een radioverbinding niet bezingen, nu nog begrijpen hoe het in elkaar steekt. Zie ook de applet 1.1:
http://phet.colorado.edu/new/simulations/sims.php?sim=Radio_Waves_and_Electromagnetic_Fields

1.1 Een stukje geschiedenis

Paragraafvraag	Wat bedacht men vroeger om snel een boodschap over te brengen?
----------------	--

Optische telegrafie



Figuur 1.2
Een Chappe seintoren.

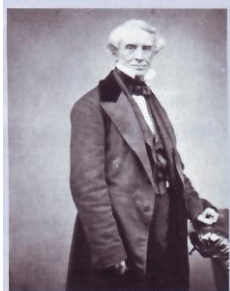
Aan het eind van de eerste eeuw na Christus, toen Trajanus keizer van het Romeinse rijk was, trokken Dacische stammen uit het tegenwoordige Roemenië de Donau over en vielen de Romeinse garnizoenen aan. De aangevalen Romeinen ontstaken vuren om hulp te vragen. Dit werd herhaald van kamp tot kamp, de hulptroepen arriveerden en wisten de Daciërs te verslaan. Duizenden jaren lang werden vuurbakens als communicatiemiddel gebruikt.

Al vanaf de 15^e eeuw is bekend hoe schepen met elkaar kunnen communiceren door middel van seinvlaggen. Bij de vloot vond de coördinatie van de berichtgeving plaats op het schip van de commandant, het vlaggenschip.

Direct na de Franse Revolutie werd op aandringen van Claude Chappe in Frankrijk en daarna daarbuiten een keten van optische seinstations aangelegd. Elk station bestond uit een toren met wijzers die in verschillende standen gezet konden worden. Met telescopen werden de boodschappen afgelezen en doorgegeven. In 1794 werd via 22 tussenstations in 9 minuten een bericht van Lille naar Parijs over een afstand van ongeveer 200 km overgeleid.

Elektrische telegrafie

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



Figuur 1.3
Morse en zijn alfabet.

Deze vorm van optische telegrafie werd na 1843 vervangen door de elektrische telegrafie.

Met een seinsleutel werd de elektrische stroom in een bepaald patroon doorgelaten en onderbroken. Aan de ontvangende kant werd het signaal in de begintijd hoorbaar gemaakt en gedecodeerd. Later werd een eenvoudige printer gebruikt.

Als code werd meestal de Morsesleutel gebruikt, die bestond uit een combinatie van streepjes en stippen. Deze code kan worden gezien als de voorloper van het huidige digitale systeem.

Werden de signalen aanvankelijk via lange kabels doorgegeven, later gebeurde dat draadloos door middel van radiogolven. Communicatie kon nu snel wereldwijd plaatsvinden.

Telecommunicatie

Telefonie kwam aan het einde van de 19^e eeuw. Het werd mogelijk om heel direct met elkaar te communiceren. Sinds de uitvinding van de radio, door Marconi in 1895, kon een groot publiek bereikt worden.

Dit gold ook voor de televisie, die sinds het midden van de 20^e eeuw de huiskamers binnenkwam. De eerste televisie-uitzending in Nederland was op 2 oktober 1951.

Met de komst van fax en e-mail in de tweede helft van de 20^e eeuw, zijn we het digitale tijdperk binnengetreten. Signalen worden door enen en nullen gecodeerd. Verbindingen tussen mobiele telefoons, maar ook tussen andere apparaten blijken mogelijk.

We zullen nu eerst ingaan op het overbrengen van informatie op de analoge manier en vervolgens stilstaan bij de digitalisering.

1.2 Radiogolven

Paragraafvraag	Wat zijn radiogolven?
----------------	-----------------------

kilohertz: $1\text{ kHz} = 10^3\text{ Hz}$
Megahertz: $1\text{ MHz} = 10^6\text{ Hz}$
Gigahertz: $1\text{ GHz} = 10^9\text{ Hz}$
Terahertz: $1\text{ THz} = 10^{12}\text{ Hz}$

Een radiogolf is net als licht een elektromagnetische golf. Het verschil is de frequentie. Radiogolven hebben frequenties tussen de 9 kHz en 300 GHz en zichtbaar licht tussen de 480 THz en 800 THz. Radiogolven bewegen zich met dezelfde snelheid c als het licht: $c = 3,00 \cdot 10^8\text{ m/s}$.

Net als de frequenties bestrijken ook de golflengten van radiogolven een groot gebied. Om de golflengte λ te berekenen maken we gebruik van $\lambda = c/f$. De golflengten van radiogolven liggen dan tussen 33 km en 1,0 mm voor frequenties tussen 9 kHz en 300 GHz.

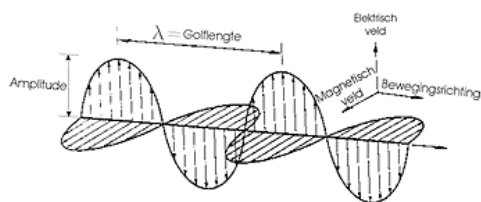
Opdracht

Ga dit na

Radiogolven ontstaan in een zendantenne en worden ontvangen met een ontvangstantenne. Kort gezegd komt het er op neer, dat een wisselstroom in de zendantenne een wisselend elektromagnetisch veld opwekt, dat wordt uitgezonden. Dit wisselende elektromagnetische veld wekt op zijn beurt in de ontvangstantenne weer een wisselstroom op, die kan worden gedetecteerd. Zie ook *Applet 1.1*.

De afmeting van een antenne is doorgaans een $\frac{1}{4}\lambda$ tot een $\frac{1}{2}\lambda$ en varieert dus geweldig met de soort radiogolven.

In figuur 1.4 zie je een elektromagnetische golf getekend. Hij bestaat uit de beweging van een trillend elektrische veld, met loodrecht daarop en in een vaste verhouding gekoppeld, een trillend magnetisch veld.



Figuur 1.4 Een elektromagnetische golf.

Tot het begin van de 20^e eeuw dacht men dat voor de voortplanting van radiogolven een speciale stof nodig was: de ether. Tegenwoordig weet men dat een dergelijke stof niet bestaat. De benaming ether is men echter blijven gebruiken.

In de volgende paragraaf behandelen we hoe je met radiogolven beeld- en geluidssignalen kunt overbrengen zonder dat daarvoor een kabel of een draad nodig is.

Zonder radiogolven zouden we niet overal en altijd met onze GSM kunnen bellen en niet in de auto naar de radio kunnen luisteren.

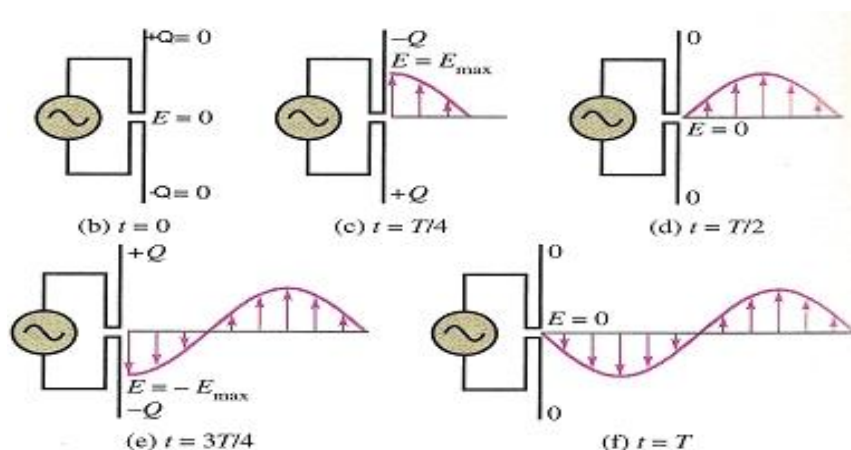
En hoe zouden we op onze bestemming aankomen, zonder GPS satellietnavigatiesysteem? We zouden verstoken blijven van een heleboel nieuws, of dit zou ons pas veel later bereiken. Kortom, radiogolven zijn uiterst belangrijk voor ons dagelijks functioneren geworden.

Extra – hoe werkt een radiozender?

Een zendantenne ziet er in beginsel eenvoudig uit. Je ziet een schema in figuur 1.5. Hij bestaat uit twee geleidende staven, aangesloten op een wisselspanningsbron. De wisselspanning zorgt voor een wisselende stroom in de staven. Dit betekent dat een trillende lading wordt opgewekt. De staven wisselen steeds van polariteit (tussen positief en negatief). De antenne wordt dan ook een dipoolantenne genoemd. Het elektrische veld (E-veld) begint op een positieve lading $+Q$ en eindigt op een negatieve lading $-Q$. In figuur 1.5 zie je dan ook dat het E-veld van Q afstaat en naar $-Q$ gericht is.

In figuur 1.5 zie je voor elke kwart trillingstijd T de situatie getekend. Door het trillen van de lading wordt een trillend elektrisch veld opgewekt dat door de ruimte beweegt.

Zie ook applet 1.1.



Figuur 1.5 Werking dipoolantenne

Bereik

Het **bereik** van een zender is de maximale afstand waarop een zender nog te ontvangen is. Het bereik neemt in principe af met toenemende frequentie van de radiogolf. Bij hogere frequenties kunnen reflecties tegen obstakels als huizen voor storingen zorgen. Het bereik van de langegolfzenders is wereldwijd, terwijl die van de FM-banden hooguit 80 km is. Bij nog hogere frequenties is het bereik zo beperkt, dat deze frequenties kunnen worden gebruikt voor draadloze communicatie in huis.

Bandbreedte

De **bandbreedte** geeft aan hoeveel ruimte aan frequenties een signaal in beslag neemt.

Het menselijke gehoor is gevoelig voor frequenties van 20 Hz tot ongeveer 15 kHz (voor kinderen zelfs tot 20 kHz). We zeggen dan, dat de bandbreedte aan frequenties voor ons gehoor gelijk is aan $15 \text{ kHz} - 20 \text{ Hz} \approx 15 \text{ kHz}$. Voor spraak is de bandbreedte ongeveer 7,5 kHz.

Bij het versturen van signalen wordt het signaal toegevoegd aan een zogeheten **draaggolf**. De draaggolf dient uitsluitend voor transport en wordt bij de ontvanger weer weggefilterd. Het signaal dat wordt overgestuurd heeft een zekere bandbreedte aan frequenties nodig om volledig te worden overgestuurd.

Bij telefonie is maar 3 kHz aan bandbreedte beschikbaar. We kunnen elkaar dan goed verstaan en elkaars stem herkennen.

Voor het beluisteren van muziek is telefonie niet geschikt. Op de FM-radio kan een luisterbandbreedte van 15 kHz worden weergegeven. Hiervoor is wel een bandbreedte van 200 kHz voor de radiogolven nodig. De verschillende FM-stations liggen daarom minimaal 200 kHz van elkaar.

De geluidskwaliteit zou beter kunnen bij nog hogere bandbreedte, maar om economische redenen wordt dit niet gedaan. Het aantal FM-stations zou dan moeten worden beperkt. Heel hoge kwaliteit heeft hifi muziek (high fidelity) op CD of DVD. Hierbij wordt een geluidsbandbreedte van 20 kHz gebruikt. De klankkleur van muziekinstrumenten komt dan maximaal tot zijn recht, doordat ook de hoogste boventonen kunnen worden weergegeven. Voor het versturen van beeldsignalen is ook een bandbreedte aan frequenties nodig. Tv-kanalen gebruiken een bandbreedte van 7 MHz.

In het algemeen geldt: hoe meer bandbreedte, hoe beter de kwaliteit van beeld en/of geluid.

In de digitale techniek heeft het begrip bandbreedte een andere betekenis, namelijk de stroom aan informatie die maximaal aangeboden of verwerkt kan worden. Deze wordt veelal uitgedrukt in kilobits per seconde (kb/s).

Rekenvoorbeeld – bandbreedte

Vraag:

De Tv-kanalen 2, 3 en 4 liggen in het frequentiegebied van 47 – 68 MHz. Bereken de bandbreedte die elk kanaal heeft.

Antwoord:

De 3 kanalen hebben samen een frequentieband van $68 - 47 = 21$ MHz.
De bandbreedte per kanaal is dan $21/3 = 7$ MHz

Het radiospectrum

Als we wit licht op een prisma laten vallen, ontstaat een spectrum aan kleuren. Bij elk van deze kleuren hoort een frequentie. Het zichtbare spectrum begint bij rood ($4,8 \cdot 10^{14}$ Hz) en eindigt bij violet ($0,80 \cdot 10^{15}$ Hz). Het **radio-spectrum** kunnen we ook ontleden in frequenties. Hieronder, in tabel 1.1, staat de verdeling in frequentiebanden met hun toepassingen.

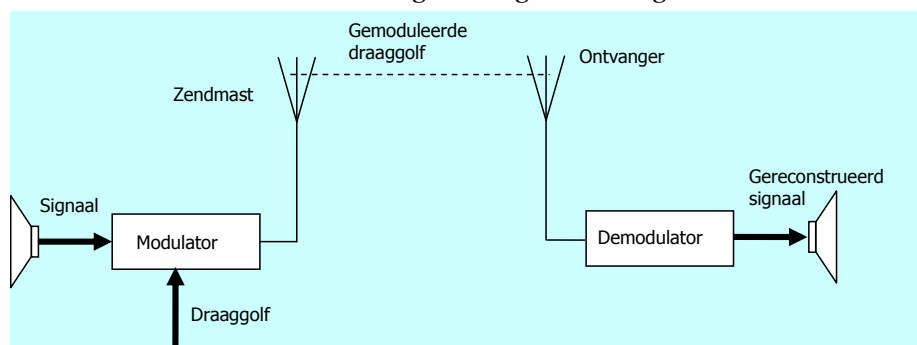
Bandnaam	Frequentieband	
ELF Extra Low Frequency	0,3 - 3 kHz	Communicatie met onderzeeboten
VLF Very Low Frequency	3 - 30 kHz	Militaire communicatie
LF Low Frequency (Lange golf)	30 - 300 kHz	Navigatie. AM-lange golfomroep
MF Medium Frequency (Middengolf)	300 - 3000 kHz	AM-middengolfomroepband
HF High Frequency (Kortegolf)	3 - 30 MHz	AM-kortegolfomroep Amateurradio LOFAR
VHF Very High Frequency	30 - 300 MHz	Draadloze telefonie, FM-radio, Tv-uitzendingen Digitale radio
UHF Ultra High Frequency	300 - 3000 MHz	Tv-uitzendingen Digitale TV, mobiele telefonie, Bluetooth, Wi-Fi (draadloze verbinding met computer)
SHF Super High Frequency	3 - 30 GHz	Radar Wi-Fi
EHF Extra High Frequency	30 - 300 GHz	Satellietverbindingen Radioastronomie
<i>Tabel 1.1 Het radiospectrum is verdeeld in frequentiebanden</i>		

1.3 Overbrengen van informatie

Het moduleren van een draaggolf

Paragraafvraag	Hoe wordt beeld- en geluidinformatie overgebracht?
----------------	--

Voor het communiceren op afstand zijn een zender en een ontvanger nodig. Maar hoe worden nu de beeld- en geluidssignalen overgebracht?



Figuur 1.6 Eenvoudig schema van een telecommunicatiesysteem

Allereerst is een **draaggolf** nodig, die uitsluitend dient om beeld- en geluidssignalen te transporteren.

In de modulator worden de beeld- en geluidssignalen op de draaggolf overgebracht. We zeggen dat de draaggolf wordt gemoduleerd. De gemoduleerde draaggolf wordt uitgezonden door de zender. Na de ontvanger wordt de draaggolf weggefilterd in de demodulator en blijft het oorspronkelijke signaal over. Dit heet demodulatie. We zeggen dat het oorspronkelijke signaal (zo goed mogelijk) wordt gereconstrueerd. **Modulatie** is dus het toevoegen van een signaal aan een draaggolf.

Het voordeel van het gebruik van draaggolven is dat het de uitzending en ontvangst van vele stations mogelijk maakt.

Aan elk station is namelijk een eigen frequentieband aan draaggolven toegevoegd. Zo'n frequentieband wordt ook kanaal genoemd.

De ontvanger kan dan op deze frequentieband (dit kanaal) afstemmen. Na het wegfilteren van de bijbehorende draaggolven blijft alleen het geluid- of beeldsignaal over dat door dat bepaalde station is uitgezonden. De ontvanger heeft dan geen last van bijmenging van geluid- of beeldsignalen van andere stations.

Het signaal kun je opgebouwd denken uit grondtonen en boventonen. Deze boventonen hebben een hogere frequentie dan de bijbehorende grondtoon. Het zal duidelijk zijn dat de frequenties van de draaggolven veel hoger moeten zijn dan van het signaal, anders zou bij het wegfilteren van de draaggolven ook de hogere boventonen van een bepaald instrument worden weggefilterd. Bij de FM-band wordt om een luisterbandbreedte van 15 kHz te verkrijgen een kanaalbandbreedte van 200 kHz gebruikt, dus ongeveer een factor 13 hoger.

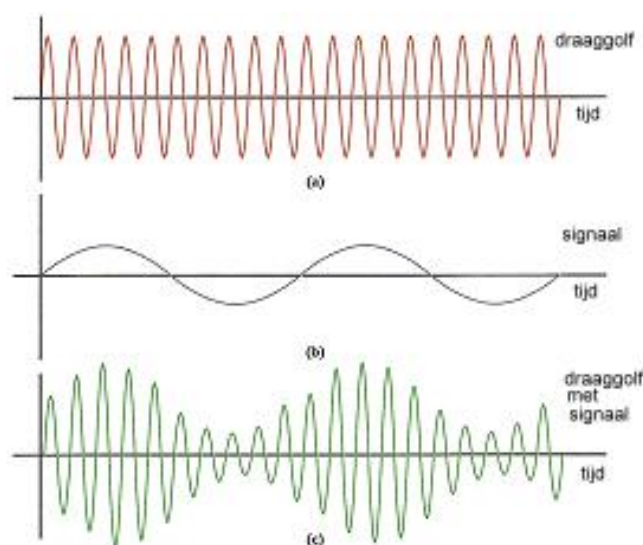
Voor analoge signalen wordt amplitude- en frequentiemodulatie toegepast. Voor digitale signalen wordt pulsmodulatie gebruikt; de werking daarvan zullen we in paragraaf 1.4 bespreken.

Amplitudemodulatie

Amplitudemodulatie is de eenvoudigste en oudste manier van modulatie. Er vindt in de modulator een optelling van signaal en draaggolf plaats. We zeggen dat de amplitude van de draaggolf wordt gemoduleerd met het signaal (zie figuur 1.7).

Amplitudemodulatie wordt toegepast bij de AM-radiozenders voor ontvangst met een analoge radio. Er wordt gebruik gemaakt van de zogenaamde middengolfband (zie tabel 1.1). Men gebruikt kanalen met een bandbreedte van 9 kHz. Het voordeel van de middengolfband is hun landelijk bereik, soms zelfs tot ver buiten Nederland. Het grote nadeel van de daarbij toegepaste amplitudemodulatie is de storingsgevoeligheid, omdat storingen vooral de amplitude van de draaggolf beïnvloeden.

Deze storingen kunnen veroorzaakt worden door andere radiobronnen, maar ook door “ruis”. Je hoort dat als je op de AM-band tussen twee zenders hebt ingesteld. Bij televisie is het visueel en heet het “sneeuw”.



Figuur 1.7 Amplitudemodulatie. Boven (a) zien we een draaggolf als functie van de tijd, in het midden (b) zien we het signaal als functie van de tijd en onder (c) zien we de draaggolf met het signaal als functie van de tijd.

Kleine proef

- Materiaal: 9 volt batterij, munt, radio
- Stem de radio af op een AM - frequentie met alleen maar ruis.
- Houd de batterij vlak bij de antenne van de radio en verbind heel even de + en de - van de batterij met de munt.
- Geef aan wat je hoort.
- Geef een verklaring.

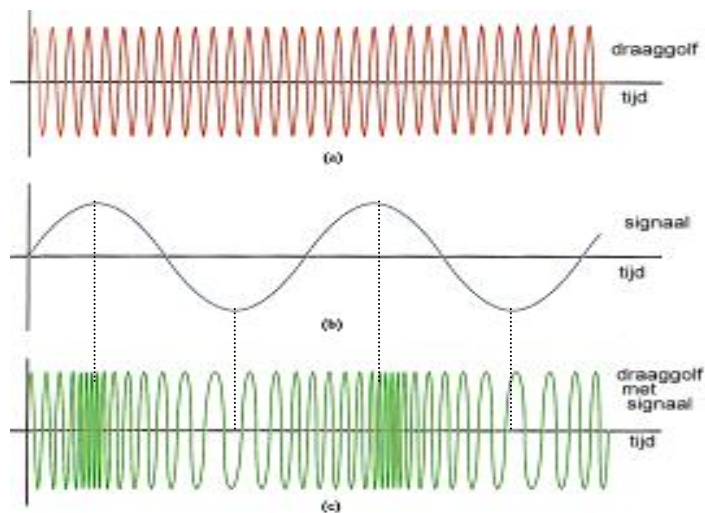
Frequentiemodulatie

Bij frequentiemodulatie wordt niet de amplitude, maar de frequentie van de draaggolf gemoduleerd (zie figuur 1.8).

Frequentiemodulatie wordt toegepast voor de FM-radiozenders maar ook voor de televisiezenders. De zenders van de FM-omroep maken gebruik van frequentiemodulatie op een radiofrequentie tussen 47 en 108 MHz en hebben een bandbreedte van 200 kHz. De FM-omroep heeft een betere geluidskwaliteit (bandbreedte van 15 kHz), dan de AM-omroep. Het bereik van een FM-zender is hooguit 80 km. Om een landelijk dekkende FM-omroep netwerk te maken worden een aantal zenders gebruikt die hetzelfde programma uitzenden. De programma's kunnen zowel via antennes als via een kabel worden getransporteerd. De storingsgevoeligheid is laag. Door gebruik te maken van digitale technieken kan deze nog verder verlaagd worden.

Samenvattend:

- Bij amplitudemodulatie wordt de amplitude van de draaggolf gemoduleerd met het over te brengen signaal.
- Bij frequentiemodulatie wordt de frequentie van de draaggolf gemoduleerd met het over te brengen signaal.



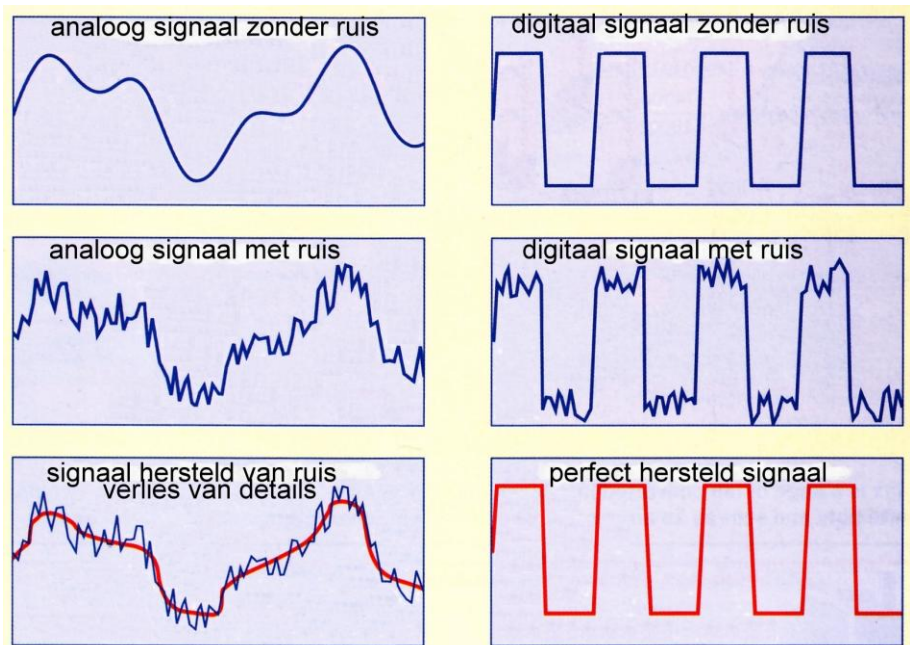
Figuur 1.8 Frequentiemodulatie. Boven (a) zien we een draaggolf als functie van de tijd, in het midden (b) zien we het signaal als functie van de tijd en onder (c) zien we de draaggolf met het signaal als functie van de tijd.

1.4 Digitalisering

Paragraafvraag	Wat zijn de voordelen van digitalisering? Hoe wordt een analogoog signaal gedigitaliseerd?
----------------	---

Het Romeinse vuur was een één-bits digitaal systeem. Het vuur áán betekende: zendt versterking. Het voordeel van dit systeem is dat het makkelijk kan worden doorgegeven, door het volgende vuur in de keten te ontsteken.

De eerste telefoon van Alexander Graham Bell was analoog, niet digitaal. De trillingen in zijn stem werden door de microfoon omgezet in voltagevariaties, die gemoduleerd op een draaggolf door een draad konden worden getransporteerd. Omdat het signaal gaandeweg door de telefoonlijn steeds zwakker werd, waren onderweg stations opgenomen waar het signaal weer versterkt werd. Echter ook de achtergrondruis werd na elk station versterkt en het uiteindelijke signaal werd er niet beter op. Digitalisering heeft een sterke verbetering gebracht, omdat een signaal bestaande uit enen en nullen perfect is te kopiëren (zie figuur 1.9).



Figuur 1.9 Invloed van ruis op het ontvangen signaal. Links zien we dat analoge signalen erg gevoelig zijn voor ruis. Rechts zien we dat digitale signalen exact gelijk blijven en dus geen last hebben van ruis.

Het digitaliseren van een analoog signaal gaat in twee stappen:

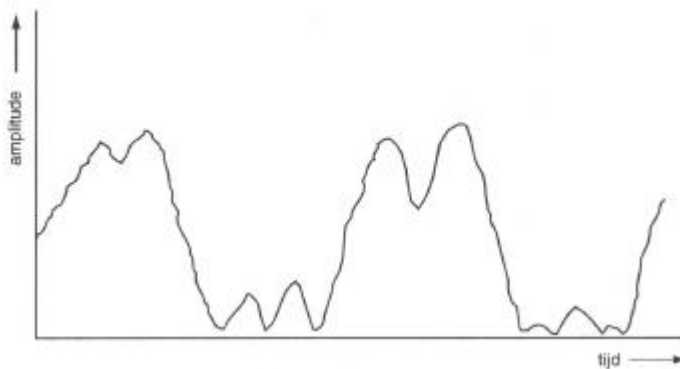
- bemonstering (*sampling* in het Engels)
- omzetting in een binaire code

Bemonstering

Stel we willen een geluidssignaal, zoals weergegeven in figuur 1.10 digitaal versturen. Langs de horizontale as staat de tijd en langs de verticale as de amplitude van de geluidstrilling.

Het signaal in figuur 1.10 is analoog, dit wil zeggen het verband tussen amplitude en tijd verloopt continu. Om dit signaal digitaal te kunnen versturen moeten we het eerst opdelen in hapklare brokjes.

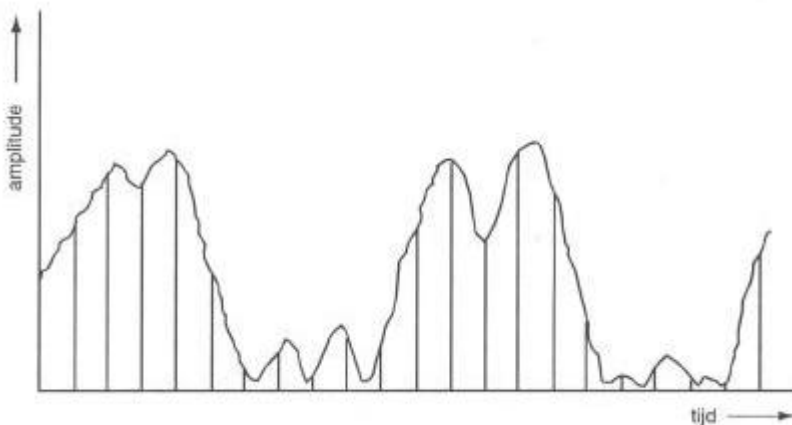
We doen dit eerst voor de horizontale tijdas door bemonstering en daarna voor de verticale as.



Figuur 1.10 Een analoog geluidssignaal

Om dit signaal te bemonsteren worden op vaste tijdstippen monsters (of *samples*) van het signaal genomen. Deze tijdstippen liggen op gelijke tijdsintervalletjes van elkaar. Zie figuur 1.11

De bemonstering vindt plaats met een vaste **bemonsteringsfrequentie**: een vast aantal monsters per tijdseenheid.

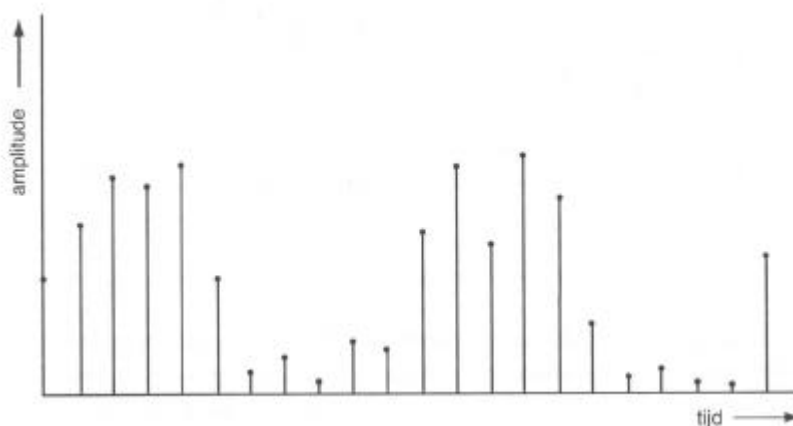


Figuur 1.11 Het geluidssignaal wordt bemonsterd.

Voorbeeld:

Er geldt: $T = \frac{1}{f}$ Als de bemonsteringsfrequentie 1000 Hz is, dan wordt er om de $1/(1000 \text{ Hz}) = 1 \text{ ms}$ een monster genomen. Dit wil zeggen dat elke milliseconde de sterkte van het signaal wordt bepaald.

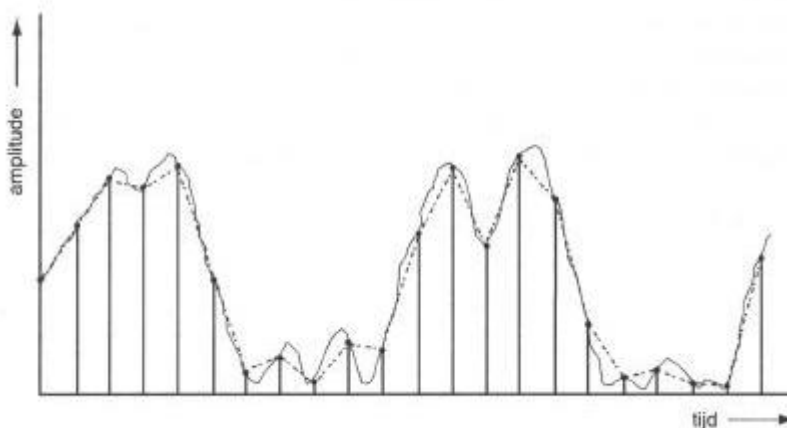
In figuur 1.12 staat het resultaat van deze bemonstering in een staafjesdiagram. De hoogte van een staafje geeft de waarde van de amplitude van het signaal op een bemonsteringsmoment. De grafiek verloopt dus niet meer analoog, maar bestaat uit een serie staafjes, waarvan de topwaarden overeenkomen met die van het oorspronkelijk signaal op bijbehorende tijdstippen.



Figuur 1.12 Het bemonsterde signaal

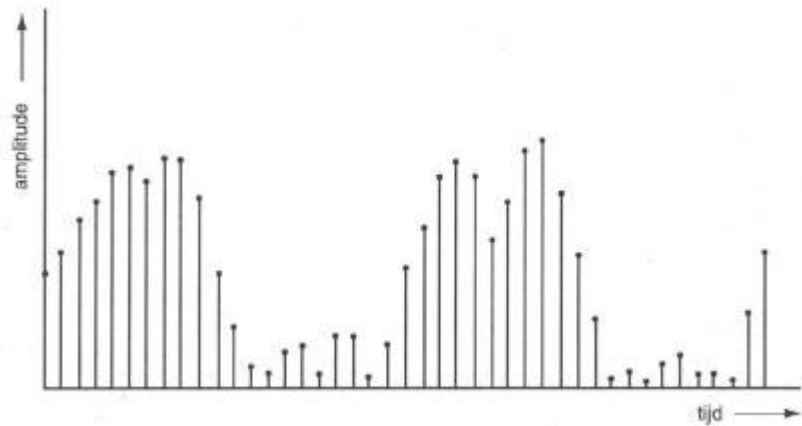
We kunnen het oorspronkelijke signaal weer proberen te reconstrueren door de topwaarden van het bemonsterde signaal met elkaar te verbinden.

Bij vergelijking van het gereconstrueerde signaal met het oorspronkelijke signaal zien we dat de overeenkomst tussen het beide signalen niet perfect is. Zie figuur 1.13. Dit is niet zo verwonderlijk, bij de bemonstering verliezen we namelijk informatie over het signaal tussen twee bemonsteringsmomenten.



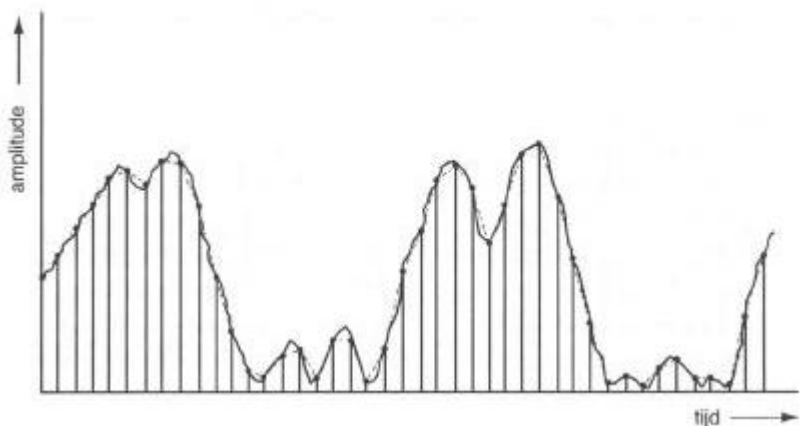
Figuur 1.13 Het gereconstrueerde en het oorspronkelijke signaal in één grafiek

Door nu tweemaal zoveel monsters te nemen, krijgen we het bemonsterde signaal van figuur 1.14.



Figuur 1.14 Bemonsterd signaal bij twee maal hoge bemonsteringsfrequentie

Reconstructie van het oorspronkelijk signaal hieruit levert nu een veel betere overeenkomst op, zoals te zien is in figuur 1.15.



Figuur 1.15 Veel betere overeenkomst met oorspronkelijk signaal bij tweemaal hoge frequentie

In het algemeen geldt: *hoe meer monsters er worden genomen, des te beter kan het oorspronkelijke signaal gereconstrueerd worden.*

Bij voldoende hoge bemonsteringsfrequenties is het verschil in weergave van het bemonsterde en het oorspronkelijke signaal niet meer te horen.

Hoe hoog moet nu de bemonsteringsfrequenties zijn voor een goede weergave van het signaal?

Dit hangt samen met het volgende. Een geluidsignaal wordt veelal gevormd door grondtonen en bijbehorende boventonen. De combinatie van grondtoon en boventonen bepaalt de klankkleur van een instrument of stem. De boventonen hebben altijd een hogere frequentie dan de grondtoon.

Uit de informatietechniek blijkt nu dat we een goede weergave van het geluid krijgen, als de bemonsteringsfrequentie minstens tweemaal zo hoog is als die van de hoogste boventoon is. De klankkleur van een instrument wordt dan goed doorgegeven

Rekenvoorbeeld

Vragen

- a Als een signaal om de $0,5 \mu\text{s}$ (= 0,5 miljoenste seconde) bemonsterd wordt, bereken dan de bemonsteringsfrequentie.
- b Is dit voldoende voor een goede weergave van muziek?

Antwoorden:

a. Er geldt $f = \frac{1}{T}$

De bemonsteringsfrequentie wordt dus $f = \frac{1}{0,5 \cdot 10^{-6}} = 2 \cdot 10^6 \text{ Hz} = 2 \text{ MHz}$

b. De hoogste frequentie die wij kunnen horen is maximaal 20 kHz. Dit signaal is 100 keer kleiner dan 2 MHz. De muziek kan dus goed worden weergegeven.

Rekenvoorbeeld

Vraag:

Hoe hoog moet de bemonsteringsfrequentie minstens zijn om het uitgezonden geluid natuurgetrouw te kunnen horen?

Antwoord:

De gehoorgrenzen voor het menselijke oor liggen bij een frequentie van 20 Hz en 20 kHz.

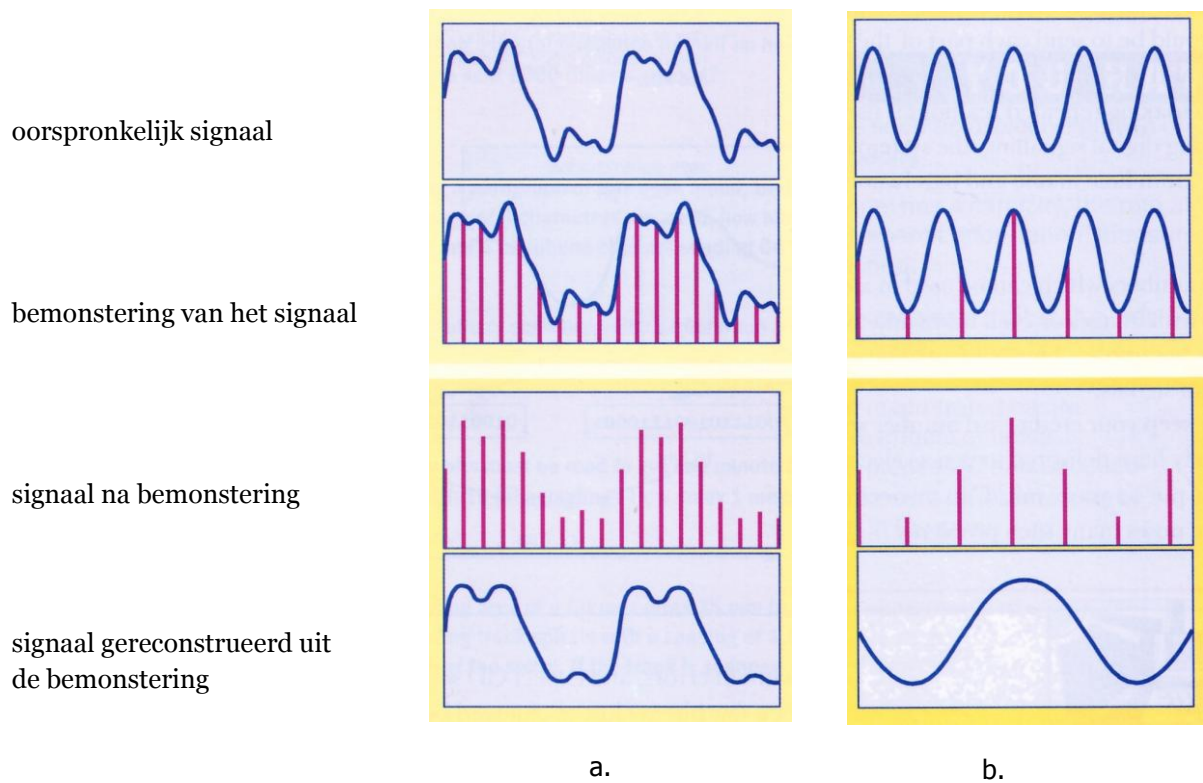
De bemonsteringsfrequentie moet minstens de hoogste frequentie zijn, dus minstens 40 kHz.

Een ander gevaar bij gebruik van te lage bemonsteringsfrequentie is het optreden van laagfrequente spooksignalen (Engels: aliasing). Zie figuur 1.16b en applet 1.2

Internet

Zie ook Applet 1.2:

<http://www.dsptutor.freeuk.com/aliasing/AliasingDemo.html>



*Figuur 1.16 Problemen bij te laagfrequente bemonstering.
a. details gaan verloren
b. voor een sinusvormig signaal ontstaat een laagfrequent spooksignaal.*

Digitaliseren of omzetten in een binaire code

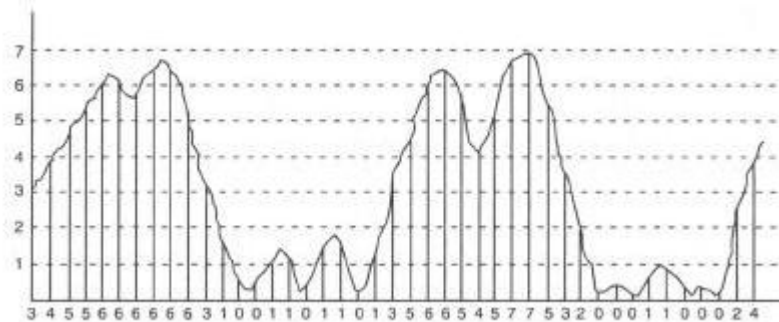
We hebben gezien dat we een analoog signaal kunnen bemonsteren. Het tijdsverloop van het signaal is dan niet meer continu maar vertoont een staafjespatroon. De volgende stap is dat we de waarden langs de verticale as gaan digitaliseren. We noemen dit **digitale codering**. We verdelen de verticale waarden in hapklare brokjes, die we omzetten in een binaire code: een code bestaande uit enen en nullen. Een **bit** is daarbij een één of een nul.

We kunnen dit doen met een zogeheten analoog-digitaal omzetter (AD-omzetter).

Een voorbeeld hiervan staat in grafiek 1.17. Hierbij is een 3-bits code gebruikt. Dit levert de volgende 8 geluidsignaalwaarden op:

Decimale waarde	0	1	2	3	4	5	6	7
Binaire waarde	000	001	010	011	100	101	110	111

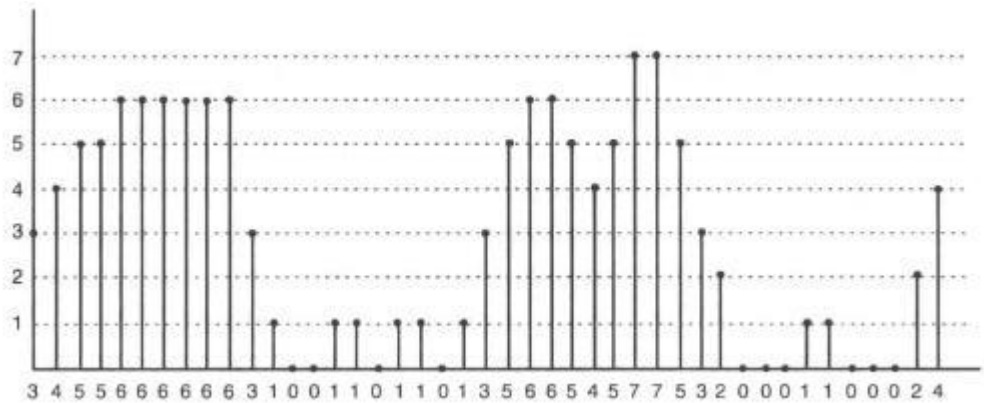
In figuur 1.17 worden de geluidsignaalwaarden langs de verticale as naar beneden afgerond op deze 8 waarden, namelijk 0 tot en met 7.



Figuur 1.17 Voor een 3-bits signaal worden alleen de waarden 0 t/m 7 toegestaan.

Langs de horizontale as staan hier nog eens de afgeronde waarden van het geluidsignaal aangegeven.

Omzetting in een staafdiagram geeft figuur 1.18.



Figuur 1.18 Staafdiagram voor de gedigitaliseerde waarden.

In binaire code krijgen we dan de volgende reeks waarden voor het eerste gedeelte van het diagram:

Decimale waarden	3	4	5	5	6	6	6	6	6	6	3	1
Binaire waarden	011	100	101	101	110	110	110	110	110	110	011	001
Streepjes-code	.	..	.	.	.	.	.	.	.	.	.	..
Digitale stroom van bits												

Het geluidsignaal wordt verzonden in een 3-bits digitale stroom.

Het aantal bits dat per tijdseenheid wordt verzonden noemen we de **data-snelheid** en wordt meestal uitgedrukt in kilobits per seconde: kb/s.

Het zal duidelijk zijn dat het diagram van figuur 1.18 na reconstructie een slechte benadering geeft van het oorspronkelijke signaal.

Het wordt al beter als we een 4-bits AD-omzetter zouden gebruiken. Dit levert 16 waarden op. Langs de verticale as zijn nu 16 waarden mogelijk. Een aantal omzettingen in binaire waarden zijn:

Decimale waarde	0	1	2	3	7	8	9	enz.
Binaire waarde	0000	0001	0010	0011	0111	1000	1001	enz.

Opdracht

Maak zelf de tabel af.

Als we de signaalwaarden op deze 16 waarden gaan afronden, zal het duidelijk zijn dat we na reconstructie nog steeds een afwijking van het oorspronkelijke signaal krijgen.

Nog beter is het gebruik van 8-bits, 16-bits of zelfs een 32-bits AD-omzetters.

Aantal bits	N	3	8	16	32
Aantal waarden	$= 2^N$	8	256	65536	$4,29 \cdot 10^9$

Er geldt: *hoe hoger het aantal bits hoe beter de resolutie.*

De resolutie is het vermogen om details te zien (of te horen).

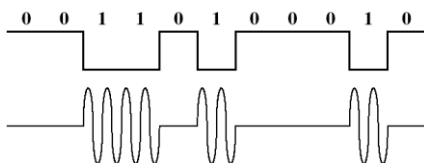
Het zal duidelijk zijn dat we met een 16-bits omzetter het gereconstrueerde signaal al niet meer van het oorspronkelijke signaal te onderscheiden valt en al helemaal niet met een 32-bits omzetter.

Via de ontvanger zullen we een natuurgetrouwe weergave beluisteren.

Pulsmodulatie

Na het digitaliseren van het analoge signaal, moet deze nog voor verzending op een draaggolf geplaatst worden. De draaggolf wordt nu met blokpulsjes gemoduleerd. We noemen dit **pulsmodulatie**. Hieronder zijn twee manieren weergegeven: amplitude- en frequentiemodulatie. Bij **amplitudemodulatie** wordt de amplitude van de draaggolf gemoduleerd met het over te brengen signaal. Bij **frequentiemodulatie** wordt de frequentie van de draaggolf gemoduleerd met het over te brengen signaal.

Amplitudevariatie

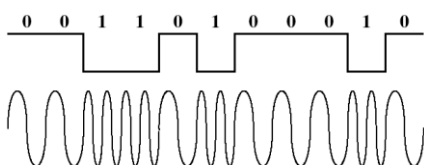


Figuur 1.19 Pulsmodulatie volgens amplitudevariatie

De amplitude varieert tussen hoog en laag. De frequentie blijft gelijk (zie figuur 1.19).

Het is mogelijk meer bits tegelijk te coderen door verschillende amplitudewaarden te gebruiken.

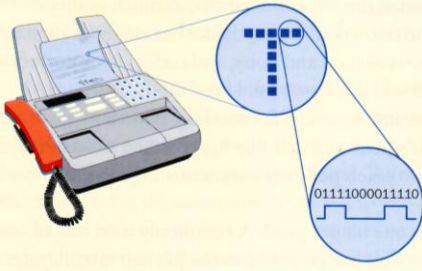
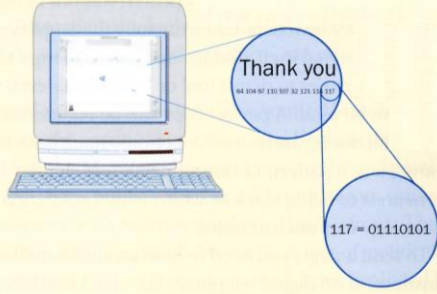
Frequentievariatie



Figuur 1.20 Pulsmodulatie volgens frequentievariatie

Bij frequentievariatie varieert de frequentie tussen een vaste hoge en een vaste lage waarde. De amplitude blijft gelijk (zie figuur 1.20). Het is mogelijk meer bits tegelijk te coderen door verschillende frequentiewaarden te gebruiken.

Fax en e-mail

Een fax verzenden		Een e-mail verzenden	
			
Zet een pagina om in zwarte en witte pixels	Maakt van pixels een stroom van bits. Een fax doet dit lijn voor lijn.	Computer en e-mail coderen tekens (waaronder letters) als ASCII-code nummers	Deze code nummers worden als bits opgeslagen. 1 byte per teken
Tijd om een pagina te versturen 1 pagina heeft: 22000 lijnen x 1700 pixels per lijn = 3 740 000 pixels verzendsnelheid: 64 000 bits per seconde verzendtijd t voor een pagina: <u>3 740 000 bits per pagina</u> 64 000 bits per seconde = 58 s of ongeveer 1 minuut		Tijd om een pagina te versturen 1 pagina heeft: 500 woorden = 3000 tekens (gemiddeld 6 tekens per woord) = 3000 byte = 24 000 bits verzendsnelheid: 64 000 bits per seconde verzendtijd voor een pagina: <u>24 000 bits per pagina</u> 64 000 bits per seconde = ongeveer 0,4 s	
Een fax bestaat uit zwarte en witte punten die als 1-en en 0-en verstuurd worden.		Een e-mail bestaat uit een set nummerycodes voor tekens en wordt verzonden als 1-en en 0-en.	

Het hoofdstuk in het kort:

Communicatie op afstand is mogelijk door kabels en radiogolven. *Radiogolven* zijn elektromagnetische golven die zich door de ruimte verspreiden. Zij worden uitgezonden door een *zendantenne* en ontvangen door een *ontvangstantenne*. Het *bereik* van een zender is de afstand waarop de zender nog te ontvangen is. Het bereik van de zenders wordt minder als de frequentie groter wordt.

Een *draaggolf* is een radiogolf die uitsluitend dient om informatie over te brengen. *Modulatie* is het aanbrengen van het over te brengen signaal op de draaggolf. Bij *amplitudemodulatie* wordt de amplitude van de draaggolf gemoduleerd met het over te brengen signaal. Bij *frequentiemodulatie* wordt de frequentie van de draaggolf gemoduleerd met het over te brengen signaal. De *bandbreedte* van een opgevangen signaal geeft de breedte van het frequentiegebied aan en bepaalt de hoeveelheid informatie die kan worden getransporteerd.

Een *analoog* signaal is een signaal dat continu varieert in de tijd.

Een *digitaal* signaal is een signaal dat is opgebouwd uit enen en nullen.

In een *AD-omzetter* (analoog-digitaal-omzetter) wordt het analoge signaal omgezet in een digitaal signaal. Daarbij wordt eerst het analoge signaal bemonsterd en daarna gedigitaliseerd. Het *bemonsteren* (*sampling*) van een signaal is het vastleggen van de sterkte van het signaal op periodiek vaste tijdstippen. De sterkte van het signaal wordt vervolgens op elk tijdje omgezet in een *binaire code*: een code bestaande uit enen en nullen.

Deze code wordt door middel van pulsmodulatie getransporteerd door de draaggolf. *Pulsmodulatie* is het moduleren van de draaggolf volgens pulsen van enen en nullen. Hierbij kan door amplitudevariatie de amplitude de waarde 0 of 1 krijgen of door frequentievariatie de frequentie de waarde 0 of 1 krijgen. (0 staat voor laag en 1 voor hoog).

Een *bit* is daarbij een één of een nul. Een *byte* is een code van 8 bits.

Bij ontvangst vindt het omgekeerde proces plaats. Door *demodulatie* wordt het signaal gescheiden van de draaggolf. Een *DA-omzetter* (digitaal-analoog-omzetter) maakt van het digitale signaal weer een analoge signaal.

Een fax maakt gebruik van het omzetten van pixels in een binaire code van enen en nullen. Daarbij wordt een pagina verdeeld in witte en zwarte punten.

Een *pixel* is daarbij een zwarte of een witte punt, aangeduid met 0 of 1.

Bij e-mail worden de leestekens omgezet in een binaire code.

Begrippen

Bandbreedte
Draaggolf
Radiospectrum
Modulatie
Bemonsteringsfrequentie
Digitale codering
Bit
Datasnelheid
Pulsmodulatie
Amplitudemodulatie
Frequentiemodulatie

Samenvatting

Radiogolven zijn elektromagnetische golven die zich door de ruimte verspreiden.

De **bandbreedte** van een opgevangen signaal bepaalt de hoeveelheid informatie die kan worden getransporteerd.

Een **draaggolf** is een radiogolf die uitsluitend dient om informatie over te brengen. **Modulatie** is het toevoegen van signaal aan een draaggolf. Bij **amplitudemodulatie** wordt de amplitude van de draaggolf gemoduleerd met het over te brengen signaal. Bij **frequentiemodulatie** wordt de frequentie van de draaggolf gemoduleerd met het over te brengen signaal.

Pulsmodulatie is het moduleren van een signaal met pulsjes van enen en nullen. **Bemonsteringsfrequentie** is de frequentie waarmee de sterkte van een signaal op periodieke vaste tijdstippen wordt vastgelegd.

Digitale codering is het omzetten van een bemonsterd signaal in een digitaal signaal.

Een digitaal signaal is een signaal dat is opgebouwd uit enen en nullen.

Een **bit** is daarbij een één of een nul. Een byte is een code van 8 bits.

Opgaven

§ 1.2

1 Radiogolven in je huis

- Noem de apparaten in je omgeving die gebruik maken van radiogolven.
- Maak een schatting van hun bereik.

2 Draaggolf

In de telecommunicatie wordt gebruik gemaakt van draaggolven

- Wat verstaan we onder een draaggolf?
- Waarom worden signalen niet rechtstreeks maar via een draaggolf verstuurd?

3 Marswagentjes Spirit en Opportunity

Sinds januari 2004 toeren op de planeet Mars twee wagentjes rond: de *Spirit* en de *Opportunity*. Hoewel ze ontworpen waren om gedurende 90 dagen te metingen te verrichten, functioneerden ze zelfs begin 2010 nog. Voor de communicatie met de marswagentjes wordt gebruik gemaakt van een sonde die om Mars cirkelt en de communicatie met tussen de aarde en de wagentjes via radiogolven onderhoudt.

- Zoek op in BINAS de afstand van de aarde tot de zon en de afstand van Mars tot de zon.
- Bereken de kortste en de grootste afstand is van de aarde tot Mars.
- Bereken de kortste en de langste tijd voor een signaal van één van de wagentjes om de aarde te bereiken. *Ga er vanuit dat de sonde het signaal direct doorgeeft.*

4 Bandbreedte

Om een signaal te versturen via een draaggolf is een bandbreedte aan frequenties om de draaggolffrequentie nodig.

- Waarom is een vaste telefoon ongeschikt om muziek te beluisteren?
- Welke bandbreedte hebben radiozenders?

De Tv-kanalen 21 tot en met 34 hebben elk een bandbreedte van 8 MHz. Van de frequentieband die deze kanalen samen bezetten is de onderste frequentie 470 MHz.

- Bereken de bovenste frequentie.

5 De magnetron is anders

Ook een magnetron werkt met radiogolven. Wat is het essentiële verschil met andere apparaten die met radiogolven werken?

Internet

Zie ook Applet 1.3:

<http://phet.colorado.edu/new/simulations/sims.php?sim=Microwaves>

6 Wanneer last van reflecties?

De ontvangst van radiosignalen kan worden gestoord door reflecties aan gebouwen. Dit gaat een rol spelen als de golflengte van de radiogolf in de orde van grootte komt van de afmetingen van de gebouwen en hun afstand tot de ontvanger.

- Bereken voor verschillende banden de bijbehorende golflengten.
- Maak een schatting bij welke frequentieband reflecties gaan storen.

§ 1.3

7 Radio-uitzending

Een radiosignaal wordt in een studio opgenomen voor een rechtstreekse uitzending. Beschrijf in vijf stappen hoe het signaal uiteindelijk in de huiskamer kan worden beluisterd.

8 Modulatie

Om signalen te versturen worden ze op een draaggolf gemoduleerd.

- Wat geeft meer storing AM-modulatie of FM-modulatie? Geef een reden.
- Waarom geeft pulsmodulatie minder storing dan FM- en AM-modulatie?
- Waarom moeten de draaggolffrequentie veel hoger zijn dan de frequenties waarmee het te verzenden signaal is opgebouwd?

9 Een Applet over AM- en FM-modulatie

Kun je na het bekijken van onderstaande applet uitleggen waarom een radiosignaal via FM minder ruis geeft dan via AM (denk aan alles wat de radiogolven tegenkomen en wat de golven uitdempt).

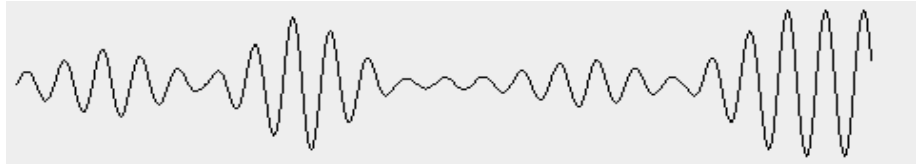
Internet

Zie ook Applet 1.4:

<http://www.ocf.berkeley.edu/~arosko/waveapplet.html>

10 Reconstructie uit AM-signaal

- a. Reconstructeer het oorspronkelijke signaal uit het AM-gemoduleerde signaal van figuur 1.21.



Figuur 1.21

- b. Maak daarna een schets van het FM-gemoduleerde signaal.

11 Reconstructie uit FM-signaal

- a. Reconstructeer het oorspronkelijke signaal uit het FM-gemoduleerde signaal van figuur 1.22



Figuur 1.22

- b. Maak vervolgens een schets van het AM-gemoduleerde signaal.

§ 1.4

12 Bemonstering*

Op een piano worden een zeer lage A ($f = 55$ Hz) en een hoge A (1760 Hz) aangeslagen en bemonsterd met een bemonsteringsfrequentie van 2000 Hz.

- Bereken voor beide gevallen uit hoeveel monsters (samples) het signaal gedurende één trillingstijd bestaat.
- Geef commentaar op de nauwkeurigheid van de bemonstering.
- Welk verschijnsel treedt bij de hoge A op?
- Welke frequentie krijgt de hoge A na reconstructie? Hoe klinkt dat ongeveer (welke toon)?

13 Digitale telefoon

Een vriend belt op je digitale telefoon. Jullie kletsen een halfuur.

Hoeveel bits aan informatie wisselen jullie uit, als de telefoon 8000 keer per seconde 8-bits pakketjes uitzendt?

14 De snelheid van e-mail

Lees deze paragraaf hardop, terwijl je de tijd opneemt. Je zult waarschijnlijk ongeveer 200 woorden per minuut lezen. Een woord heeft gemiddeld 6 letters. Een letter is een byte (8-bits).

Bereken in hoeveel tijd je per e-mail 200 woorden verstuurt, als je computer gebruikt maakt van een telefoonlijn met een snelheid van 64.000 bits per seconde.

15 Digitale Code

ASCII is een afkorting van American Standard Code for Information Interchange en is een standaard om een aantal letters en leestekens te representeren en aan ieder element in die reeks een binair geheel getal te koppelen, waarmee dat leesteken of die letter wordt aangeduid. Vanaf 32 beginnen de echte letters en leestekens.

- Wat is de 8-bits digitale code van het ASCII nummer 33? Zoek op het internet welk teken dit is.
- Schrijf nu je naam in een 8-bits digitale code.

16 Zonlicht op de gevel van een huis

De intensiteit van het zonlicht op de west- en de zuidgevel van een proefhuis worden gemeten en digitaal overgeseind naar een onderzoekscentrum.

Elke twee uur wordt een meting gedaan. De eerste meting is om 8.00 uur en de laatste om 20.00 uur. De overgeseinde waarden zijn in 3-bitscode in eenheden van 100 W/m².

Voor de ene gevel gelden de waarden: 001 011 110 111 101 010 001

Voor de andere gevel: 001 001 001 010 110 111 001

- Teken in één grafiek voor beide gevels de intensiteit van het zonlicht tegen de tijd.
- Welke zou de zuid- en welke de westgevel van het huis zijn en waarom?
- In welke maand(en) zou de meting verricht kunnen zijn?

17 DA-omzetten (digitaal naar analoog)*

Een diagram is met een bemonsteringsfrequentie van 1 kHz omgezet in de volgende 3-bits code: 00001110101011111

Teken in een diagram de bemonsteringspunten en schets zo nauwkeurig mogelijk het oorspronkelijke signaal.



2 De mobiele telefoon

Een succesverhaal

Hoofdstukvraag	Hoe kunnen er zoveel GSM-gesprekken tegelijk mogelijk zijn? Hoe komt het dat de gesprekken niet door elkaar lopen?
----------------	---



Figuur 2.1

*Everytime I hear my message tone,
I always hope one of them comes from you.
My sim-card may have limited memory,
but my heart has unlimited memory for you.*

Dit sms-gedichtje is van Bianca. Zij plaatste het op een speciale poëziesite. Dit laat twee functies van haar mobiele telefoon zien: sms-en en internet. Maar een mobiel kan veel meer. De mobiele telefoon is niet meer uit ons leven weg te denken. In de trein, op straat en op het schoolplein zie je mensen, die op afstand met elkaar praten of berichtjes sturen. Is de lucht niet vol van gesprekken en berichten? Hoe weten al deze signalen de juiste telefoon-tjes te bereiken?

Opdracht - toepassingen van de mobiele telefoon

Maak een lijstje met toepassingen van de mobiele communicatie. Welke toepassingen zie je speciaal voor het onderwijs?

2.1 De GSM

Paragraafvraag	Wat betekent GSM?
----------------	-------------------

GSM

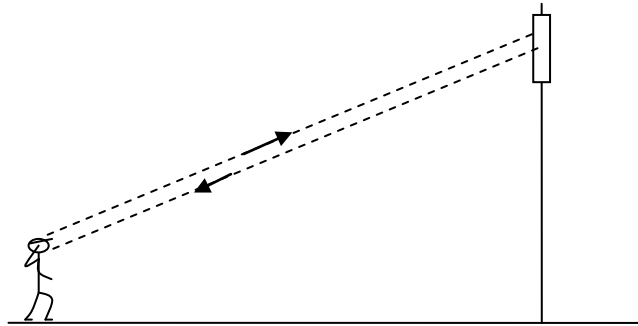
Het **Global System for Mobile communication** (GSM) werd in Europa ontwikkeld en is nu uitgebreid tot vrijwel alle landen van de wereld. Mobieltjes die je tegenwoordig koopt, kun je in verschillende landen gebruiken. Vroeger was dat niet altijd het geval. Dat heeft niets met het abonnement te maken, maar met het feit dat niet alle mobieltjes op dezelfde radiofrequenties uitzenden en ontvangen. Je hebt misschien wel eens van dual band en tri-band toestellen gehoord. Dat zijn toestellen die op verschillende frequenties kunnen werken en dus behalve in Europa ook in bijvoorbeeld de Verenigde Staten zijn te gebruiken. Wij zullen ons hier beperken tot de GSM900 band, die naast de GSM1800 band in Europa wordt gebruikt. Omdat in de wereld van de datacommunicatie Engelse terminologie gangbaar is, ontkomen wij er niet aan om Engelse termen te gebruiken. We zullen zoveel mogelijk proberen deze te verklaren. De achterliggende technologie van GSM is vrij complex en in ontwikkeling. Wij zullen ons daarom beperken tot de belangrijkste begrippen en een aantal hoofdpunten. Eerst gaan we in op de vraag hoe GSM-toestellen via een netwerk met elkaar communiceren en daarna hoe er zoveel verschillende kanalen beschikbaar gemaakt zijn voor de gebruikers. We bekijken ook hoeveel data je met je mobiel kunt versturen.

Het GSM netwerk

Als je met je mobiele telefoon iemand opbelt, maak je gebruik van het GSM netwerk. Dit werkt als volgt:

In je mobieltje zit een kleine antenne waarmee je signalen kunt ontvangen en uitzenden. Je kunt hiermee communiceren met het dichtstbijzijnde basisstation (BS). Het basisstation bestaat uit een GSM-mast met antenne en een kast vol bijbehorende elektronica.

Het basisstation bepaalt welke twee kanalen een beller toegewezen krijgt: één kanaal voor communicatie van het mobiel naar de GSM-mast (*uplink*) en één kanaal voor communicatie van de GSM-mast naar het mobiel (*downlink*).



Figuur 2.2 *Communicatie via een GSM-mast*

Het **bereik**, dit wil zeggen de afstand van je mobiel tot de GSM-mast waarop je nog een signaal krijgt, is beperkt. Daarom is er een netwerk van GSM-masten opgezet zodat je, waar je ook bent, altijd bereikbaar bent, afgezien van enkele onbewoonde natuurgebieden. Buiten de steden is het bereik ongeveer 10 km en kan maximaal 35 km bedragen. Hiervoor zijn GSM-antennes nodig die met veel vermogen uitzenden en zwakke signalen nog kunnen opvangen.

In stedelijke gebieden staan de GSM-masten dicht op elkaar (ongeveer 100 m) en kan hun vermogen ook minder zijn. Op drukbezochte plaatsen zoals stations en winkelgebieden staan de GSM-masten nog dicht op elkaar.

Extra- cellenstructuur

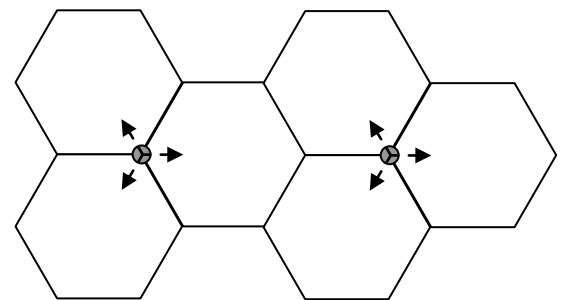
Als je let op de GSM-masten die je tegenkomt zie je aan de mast antennes die gericht zijn in drie richtingen.

Waarom is dat?

Dat komt door de cellenstructuur van het GSM-netwerk, die bij benadering de vorm van een honigraat heeft. De antennes op een GSM-mast zendt in drie richtingen uit. De hoek tussen de antennes is dan ook 120 graden.



Figuur 2.3 *GSM-mast met twee lagen GSM-antennes. Per laag staan de antennes in groepjes van drie in drie richtingen georiënteerd. De witte trommels dienen voor straalverbindingen met het mobiel schakel centrum.*



Figuur 2.4 *Cellenstructuur rondom twee GSM-masten. Elke mast bedient met gerichte antennes drie cellen.*

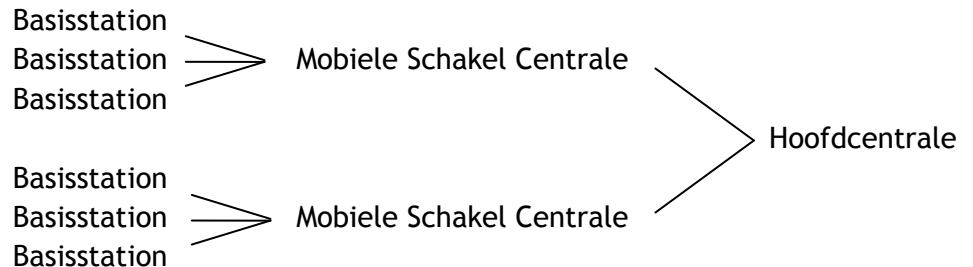
Elke antenne bedient een bepaald gebied, ook wel cel genoemd (in het Engels heet een mobiele telefoon dan ook wel cell phone).

Opdracht

Schets zelf hoe de honingraatstructuur zich voortzet voor twee extra naburige GSM-masten.

Een groep basisstations is via kabels of via straalverbindingen verbonden met een Mobiele Schakel Centrale.

De verschillende Mobiele Schakelcentrales zijn weer verbonden met de hoofdcentrale.



De Mobiele Schakel Centrale heeft diverse functies zoals de registratie van abonnee- en toestelgegevens.

De Hoofdcentrale verbindt de Mobiele Schakelcentrales met elkaar en verzorgt de externe diensten, zoals de verbinding met het vaste telefoonnet en met het buitenland (vast en mobiel).

Hoe weet "het netwerk" waar een mobiele telefoon zich bevindt?

In de stand-by stand zendt een mobieltje periodiek een signaal uit. Dit wordt doorgegeven en geregistreerd. De cel waarin het mobieltje zich bevindt is dus bekend.

Hoe verloopt nu een telefoongesprek?

a. van mobiel naar mobiel

1. Je belt het nummer dat je wilt bereiken.
2. In het basisstation wordt bepaald via welke frequenties er met je wordt gecommuniceerd.
3. Vervolgens wordt in de hoofdcentrale gekeken in welke cel het op te roepen mobieltje zit.
4. Daarna wordt de verbinding tot stand gebracht.

b. van vast naar mobiel

Via de hoofdcentrale komt de aanvraag binnen. Verder verloopt het contact op dezelfde manier, als van mobiel naar mobiel.

Als je van de ene cel naar een andere reist, zal het verzwakken van je signaal door het netwerk worden opgemerkt. De buurcellen worden dan gewaarschuwd. Als het signaal uit een buurcel sterker wordt, wordt je overgeschakeld op de andere cel zonder dat je er iets van merkt.

De SIM-kaart



SIM staat voor Subscriber Identity Module en is een belangrijk onderdeel van een GSM-toestel. Het is een chipkaart waarop de gegevens van de abonnee staan. Daarnaast wordt tijdens de communicatie met het basisstation de locatie van de telefoon opgeslagen. Bij het verlaten van het gebied, behorend bij dit station, wordt dit veranderd in dat van het nieuwe basisstation. De SIM kan in principe in ieder willekeurig ander toestel worden geplaatst. De abonnee is dan via dat toestel bereikbaar. Een pincode beschermt de abonnee tegen misbruik.

Figuur 2.5 Zonder SIM-kaart werkt de telefoon niet.

2.2 Communicatie met een GSM

Paragraafvraag	Wat is er nodig voor mobiele communicatie?
----------------	--

Vele boodschappen over één medium

In de begintijd van de telefonie, van ongeveer 1900 tot 1915, was elke telefoongebruiker rechtstreeks verbonden met elke andere gebruiker. Zo'n verbinding verliep via een apart paar koperen draden.

De sterke groei van het aantal gebruikers leidde tot een uitgebreid en ingewikkeld netwerk van veel dure koperen telefoondraden.

Sterke vereenvoudiging en kostenbesparing werd bereikt door meerdere gebruikers van dezelfde telefoondraden gebruik te laten maken.

In schema ziet dat er als volgt uit:



Figuur 2.6 Signaalbundeling: het delen van een communicatiemedium.

Bij A komen de boodschappen samen.

Bij B vindt verdeling naar de verschillende gebruikers plaats.

Het schakelstation A is verbonden met verschillende lokale gebruikers. Hetzelfde geldt voor het schakelstation B, dat via een hoofdkabel met A verbonden is.

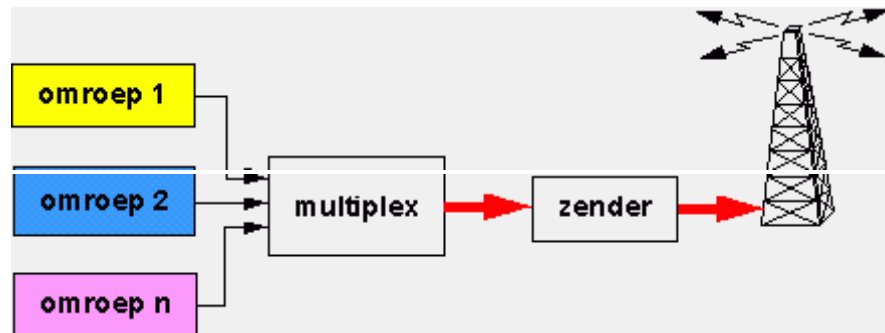
Een gesprek wordt door het lokale schakelstation A via de hoofdkabel doorgeleid naar het lokale schakelstation B, waar het wordt doorgestuurd naar de gewenste persoon.

Vroeger ging dit schakelen nog met de hand en werd verbinding gemaakt via één van de telefoonlijnen van de hoofdkabel die niet in gebruik was. Tegenwoordig kunnen veel gesprekken tegelijkertijd door een telefoonlijn worden vervoerd.

Dit principe van **signaalbundeling**, zoals schematisch weergegeven in figuur 2.6 is van groot belang in de communicatie technologie en dient om een groot aantal signalen over hetzelfde communicatiemedium te sturen, zodat een groot aantal gebruikers bediend kan worden.

Om de signalen van de verschillende gebruikers te kunnen onderscheiden is codering van het ingaande signaal en decodering van het uitgaande signaal van belang.

Signaalbundeling wordt niet alleen toegepast bij vaste telefonieverbindingen maar ook bij mobiele telefonie en bij radio- en televisie-uitzendingen. Bij het laatste maken verschillende omroepen gebruik van dezelfde zendmast en de “ether”.



Figuur 2.7 Verschillende omroepen maken gebruik van hetzelfde communicatiemedium. Dit heet multiplexen.

Als communicatiemediata worden gebruikt:

- Kabels

Voor het transport van veel informatie worden coaxiale kabels en glasvezelkabels gebruikt. Een coaxiale kabel bestaat uit een geleidingsdraad omgeven door isolerend materiaal waaromheen een metalen cilindrische omhulsing is aangebracht. Aarding van het metalen omhulsing maakt de coaxiale kabel bijzonder ongevoelig voor storingen. De glasvezelkabel vervoert lichtsignalen en is daardoor ongevoelig voor elektrische storingen.



Figuur 2.8 Coaxiale kabel

- Radioverbindingen

Bij mobiele telefonie vindt de communicatie tussen de mobiele telefoon en de GSM-mast plaats door middel van radiogolven.

Voor de communicatie tussen de GSM-mast en de Mobiele Schakel Centrale kunnen zowel kabels als straalverbindingen (gerichte radioverbindingen) gebruikt worden.

Hoe worden nu verschillende boodschappen tegelijkertijd over hetzelfde communicatiemedium (kabel of radio) verstuurd?

Hiervoor worden de volgende principes toegepast:

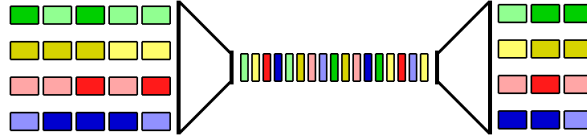
- a. Frequentieverdeling

Voor elke verbinding wordt een frequentieband toegewezen rondom een draaggolffrequentie. De verschillende verbindingen worden via dezelfde zendmast (of kabel) uitgezonden of ontvangen. Er kan door de ontvanger op een bepaalde frequentie worden afgestemd.

b. Tijdsverdeling

Elke verbinding krijgt periodiek een bepaald tijdje (tijdslot) toegewezen.

De tijd tussen de twee tijdsloten van één verbinding is zo kort dat de ontvanger niet merkt, dat de boodschap in stootjes wordt afgeleverd.



Figuur 2.9 Vier kanalen worden gebundeld door een periodieke verdeling in de tijd en daarna weer gescheiden.

c. Codering

De tijdsloten worden volgens een vastgelegde code over verschillende frequenties verdeeld. Wij zullen hier niet verder op ingaan.

Het aantal beschikbare kanalen voor de GSM900 band

De GSM900 band is een groep frequenties rondom de 900 MHz die is toegewezen aan GSM verkeer. De gereserveerde frequenties zijn 890-915 MHz en 935-960 MHz. De eerste groep is gereserveerd voor verkeer van de mobiele telefoon naar een basisstation (*uplink*) en de tweede groep is voor verkeer van het basisstation naar de mobiel (*downlink*).

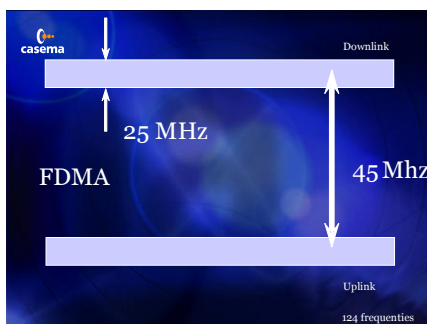
Veel mensen maken gebruik van GSM. Het is daarom belangrijk dat het aantal beschikbare kanalen voldoende groot is. Zoals we in de vorige paragraaf gezien hebben kan dit worden bereikt door het principe van *signaalbundeling* toe te passen volgens een verdeling in frequentie en een verdeling in de tijd. We noemen dit hier:

- FDMA: Frequency Division Multiple Access
Letterlijk: Meervoudige toegang (tot hetzelfde communicatiemedium) door het verdelen van frequenties
- TDMA: Time Division Multiple Access
Letterlijk: Meervoudige toegang (tot hetzelfde communicatiemedium) door een verdeling in de tijd.

Frequentieverdeling binnen de GSM900 band: FDMA

Net als bij radio wordt het GSM verkeer verzonden over draaggolven. Zo is het dus mogelijk om veel gesprekken tegelijkertijd te voeren. Binnen de 25 MHz brede frequentiebanden kunnen meerdere draaggolven worden geplaatst. De draaggolven liggen 200 kHz uit elkaar. Er passen dus 124 draaggolven binnen deze band. Het opdelen van een frequentieband over verschillende frequenties wordt **Frequency Division Multiple Access (FDMA)** genoemd. Bedenk dat dit zowel voor de uplink-frequentieband (890-915 MHz) als de downlink-frequentieband (935-960 MHz) geldt. Er zijn binnen de GSM900 band 124 paren duplexfrequenties beschikbaar:

124 frequenties voor gesprekken van de mobiele telefoon naar het basisstation (uplink) en 124 aparte frequenties voor gesprekken van het basisstation naar het mobiel (downlink).



Figuur 2.10 Verdeling van frequenties over een uplink- en downlinkband.

De afstand tussen uplink en downlink is voor elk gesprek hetzelfde: 45 MHz. Een voorbeeld: als iemand een uplink-frequentie van 905 MHz is toegewezen, wordt zijn downlink-frequentie $905 + 45 = 950$ MHz. Maar hoeveel mensen, denk je, gebruiken er op dit moment bij jou in de buurt hun mobiele telefoon? Meer dan 124? In het algemeen geldt dat een basisstation over veel minder frequenties kan beschikken dan nodig zijn om aan de vraag te voldoen.

Daar is een oplossing voor gevonden: een frequentie samen delen in de tijd.

Een frequentie samen delen: TDMA

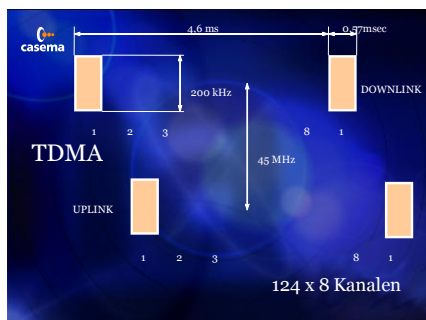
Bij het voeren van een gesprek over je mobiele telefoon draait alles om dataverkeer. Dit vindt plaats over zogenaamde kanalen. Iedere mobiele telefoon krijgt per keer een kanaal toegewezen waarover het dataverkeer verloopt. Verschillende mobieltjes krijgen verschillende kanalen en zo kan ervoor gezorgd worden dat je niet door een ander gesprek heen praat. Er is al iets slims bedacht om het aantal kanalen (en dus het aantal mogelijke gesprekken) te vergroten. Wanneer je praat of luistert, communiceert je mobiel niet de hele tijd met het basisstation. Ongemerkt wordt al het verkeer in korte stoten (tijdsloten of bursts) uitgezonden of ontvangen. De rest van de tijd is er met jouw mobiel geen verkeer, maar wel even tussendoor met een ander mobiel. Daarna weer met een volgende mobiel, totdat jouw mobieltje weer even aan de beurt is. Dit heet **Time Division Multiple Access (TDMA)**.

Eén frequentie wordt eerst opgedeeld in 26 tijdsblokken van totaal 120 ms. De tijdsduur van één blok is dus $120/26 \text{ ms} = 4,615 \text{ ms}$.

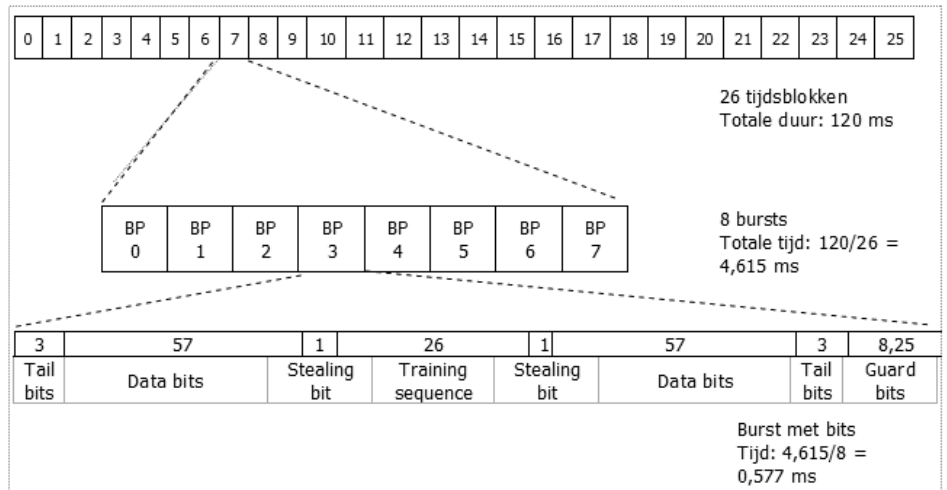
Eén tijdsblok is verdeeld in 8 tijdsloten (bursts). Eén tijdslot duurt dus $120/26/8 = 0,577 \text{ ms}$. Er kunnen dan 8 gebruikers tegelijkertijd een eigen verkeerskanaal gebruiken met dezelfde frequentie. Op deze manier is het mogelijk om met meerdere gebruikers een frequentie te benutten zonder dat je merkt dat je telefoonverbinding 'stottert'.

Vraag: Waarom merk je dat niet, denk je?

Een **verkeerskanaal** dat aan een beller wordt toegewezen, bestaat dus uit één van de 124 paren duplexfrequenties (één voor uplink en één voor downlink) en daarbinnen één van de 8 tijdsloten. De opbouw van een tijdslot wordt verderop besproken.



Figuur 2.11 Een TDMA kanaal: elk 8^e tijdslot. Het uplink-tijdslot 1 loopt een paar tijdsloten achter op het downlink-tijdslot 1.



Figuur 2.12 TDMA: Tijdopdeling in blokken en tijdsloten (bursts)

Voorbeeld TDMA voor 4 personen

Er zijn 4 personen die tegelijkertijd spreken. Ze zitten allemaal op dezelfde frequentie.

Gesprek 1	Ik kom niet werken want ik ben ziek
Gesprek 2	Dag schat, ik zit in de file en zal wat later zijn
Gesprek 3	Heb je de resultaten al verwerkt in de excel-file
Gesprek 4	Kom je morgen ook naar het schoolfeest

Dit wordt na de TDMA verwerking:

Ik kom niet	Dag schat	Heb je de	Kom je morgen	werken want ik	ik zit in
resultaten al	ook naar	ben ziek	de file en zal	verwerkt in je	het schoolfeest?
	wat later zijn	excel-file			

Rekenvoorbeeld

Vragen:

- a Bereken het maximale aantal kanalen waarover binnen GSM900 beschikt kan worden.
- b Bereken het maximale aantal bellers voor een basisstation met 4 frequenties.

Antwoorden:

- a. $124 \text{ frequenties} \times 8 \text{ tijdsloten} = 992 \text{ kanalen}$
- b. $4 \text{ frequenties} \times 8 \text{ tijdsloten} = 24 \text{ bellers}$

Opbouw van een tijdslotperiode

Het GSM verkeer is digitaal. Dat betekent dat er alleen maar nullen en enen worden verstuurd. Deze zogenaamde binary digits (bits) kunnen door een computer verwerkt worden. Alle 'slimme' apparaten, zoals mobieltjes, magnetrons en ipods, hebben digitale chips en zijn dus feitelijk kleine computers. Als je genoeg nullen en enen combineert, kun je er mee schrijven, rekenen, muziek maken of filmen. Alle tekst-, muziek- en filmbestanden bestaan uit lange rijen bits.

3	57	1	26	1	57	3	8,25
Tail bits	Data bits	Stealing bit	Trainig sequence	Stealing bit	Data bits	Tail bits	Guard bits

Figuur 2.13 Opbouw van een tijdslotperiode. Er zijn 114 data-bits op een totaal van 156,25 bits.

We zagen dat een tijdslot ongeveer 0,577 ms duurt. Zo'n periode bestaat uit verschillende componenten, zie figuur 2.12:

- Data bits: totaal 114 bits in twee groepen van 57 bits, bestemd om de eigenlijke boodschap over te brengen.

Daarnaast worden een aantal extra bits uitgezonden om te zorgen dat de data bits goed aankomen:

- Training sequence van 26 bits voor het goed afstemmen van de communicatie. Zij worden meegestuurd als een soort test. Hierover later meer.
- Stealing bits van twee maal 1 bit, als een "muurtje" aan weerszijde van de Training sequence.
- Tail bits van tweemaal 3 bits als een groter muurtje rondom deze drie groepen als een soort veiligheid.
- Guard bits van 8,25 bits. Hiermee wordt het pakketje afgesloten. Er bestaan alleen gehele bits. De 8,25 guard bits zijn eigenlijk een korte periode van stilte die je mobieltje de gelegenheid geeft om net iets vroeger of later data te versturen zonder overlap met het volgende tijdslot. Deze periode van stilte komt overeen met de tijd die je nodig zou hebben om 8,25 bits uit te zenden.

Uiteindelijk gaat het om de 114 databits. Deze worden gebruikt voor je sms-jes en telefoongesprekken.

Kwaliteit van het signaal

Hoe goed het signaal van je mobieltje wordt opgevangen door het basisstation (en omgekeerd) is afhankelijk van een aantal factoren. Allereerst de afstand tot het basisstation. Deze bepaalt direct hoe sterk het signaal is bij ontvangst. Hoe groter de afstand, hoe zwakker het signaal. Voor grotere afstanden kan dit opgelost worden door het gebruik van goede antennes. Een ander probleem zijn de reflecties. Elektromagnetische golven met een frequentie van rond de 900 MHz weerkaatsen aan alles: auto's, gebouwen, bomen, heuvels, vliegtuigen enz. Dit betekent dat een signaal meerdere keren ontvangen kan worden. De ontvangen signalen overlappen elkaar. Wanneer één van de signalen langer onderweg was (doordat het eerst ergens weerkaatst is) verstoren de signalen elkaar.

In het midden van een tijdslotperiode is daarom de 26-bits training sequence opgenomen. Deze bestaat altijd uit dezelfde code en is speciaal ontworpen om vervaging en verstoring door het overlappen te meten. De software in je mobieltje en in het basisstation is ontworpen om te onderzoeken welke bewerkingen nodig zijn om de oorspronkelijke training sequence terug te krijgen en zo ook het oorspronkelijke datasignaal te ontdoen van de verstoring. Wiskundig zijn deze bewerkingen nogal ingewikkeld dus we zullen hier verder niet op ingaan. Deze correctiemethode wordt *multipath equalization* genoemd. Met multipath worden hier de meerdere paden die de signalen afgelegd hebben bedoeld. Equalization betekent het verwijderen van de verstoringen.

SMS

De *Short Message Service* of korte berichtendienst is erg populair. Er worden wereldwijd naar schatting door 600 miljoen mensen per dag per persoon 0- 30 sms'jes verstuurd. SMS is een datadienst binnen GSM, die het mogelijk maakt om korte teksten door te geven. Een belangrijke toepassing is de voice-mail. Ook de SMS maakt gebruik van FDMA en TDMA.

De maximale lengte van een tekstbericht is 160 karakters, bestaande uit 160 7-bits tekens, dus totaal 140 bytes. Er bestaan dan ook sites voor het mooiste sms-gedichtje van maximaal 160 karakters.

2.3 Recente Ontwikkelingen

Paragraafvraag	Wat zijn de recente ontwikkelingen op het gebied van de draadloze communicatie?
----------------	---

Laatste ontwikkelingen

In paragraaf 1.1 “Een stukje geschiedenis” zagen we dat men voor de communicatie op afstand zich allereerst bediende van optische signalen, zoals vuur, vlaggen en seinpalen.

Met de komst van de telegraaf en telefoon werd van elektrische draden gebruik gemaakt.

Draadloze communicatie door middel van radiogolven kwam daarna toen radio (en televisie) werden geïntroduceerd. Deze vorm van draadloze communicatie heeft de laatste decennia een steeds hogere vlucht genomen en de ontwikkelingen gaan nog steeds in hoog tempo door.

- De mobiele telefoon heeft steeds meer functies gekregen. Naast telefoneren kun je er mee sms-en, internetten, video's bekijken enz. Onderzoek is er opgericht om de beeldkwaliteit te verhogen.
- De huiscomputer maakt steeds meer gebruik van draadloze verbindingen met randapparatuur, zoals centraal huismodem, muis, toetsenbord en printer.
- De laptop of het notebook kan op zogenaamde hotspots direct toegang krijgen tot het internet. Hotspots zijn plaatsen in drukbezochte gebieden zoals stations, vliegvelden, scholen en universiteiten, waar antennes geplaatst zijn die communicatie met het internet mogelijk maken. Het bereik van de hotspots is nog beperkt. Onderzoek is er op gericht om dit te vergroten.

Verhogen datasnelheid

Het toenemend aantal gebruikers van GSM en hotspots en de toename van de hoeveelheid draadloos te bedienen randapparatuur vragen om een verhoging van de datasnelheid, dit is het aantal bits/s dat verwerkt kan worden. Het eerder behandelde principe van het delen van de communicatiemedië door frequentieverdeling (FDMA) en tijddeling (TDMA) wordt verder uitgebouwd en aangevuld. Dit kan bereikt worden door:

- Hogere draaggolffrequenties. De dichtheid van datapulsen kan dan toenemen, zodat er per tijdseenheid meer bits verstuurd worden. Het nadeel van een hogere frequentie is een vermindering van het bereik, zodat bij mobiele telefonie de communicatiemasten dichter bij elkaar moeten staan. Voor de huiscomputer is dit voor de communicatie met modem en randapparatuur niet zo'n probleem.

Hoe hoger de frequentie des te hoger de mogelijke datasnelheid.

- Slimme compressietechnieken. Er bestaan mogelijkheden om het aantal data voor het verzenden van beeld- en geluidsignalen sterk terug te brengen door compressie.
Dit wil zeggen dat zoveel mogelijk overbodige informatie wordt weggelaten.
Bekend zijn JPEG voor beeldcompressie en MP3 voor geluidcompressie (muziek). Bij het nieuwere MP4 wordt zowel beeld- als geluidcompressie toegepast.
- Slimme modulatie technieken. Naast amplitudemodulatie en frequentiemodulatie blijkt fasemodulatie een geschikte techniek. Een signaal kan daarbij met minder data beschreven worden. Wij zullen hier niet verder op in gaan.



Figuur 2.14 SMS uitgebreid met beeld heet MMS (Multimedia Messaging Services)

Mobiele telefonie

Bij de ontwikkeling van de mobiele telefonie zijn verschillende generaties te onderscheiden:

- 1^e generatie systemen zijn nog gebaseerd op analoge technieken. De volgende generaties zijn allen gebaseerd op digitale technieken.
- 2^e generatie systemen
Hiertoe behoort GSM met frequentiebanden rond de 900 MHz en 1800 MHz. Datasnelheden van 9,6 kb/s en 21,4 kb/s zijn geschikt voor telefonie. Ook sms-en is mogelijk.
- 2,5^e generatie systemen zijn een uitbouw van GSM. Deze systemen maken gebruik van de bestaande GSM-infrastructuur. Hiertoe behoort GPRS (General Packet Radio Service) en Edge (Enhanced Data rates for GSM). Datasnelheden liggen al veel hoger: 128 kb/s of meer en maken eenvoudig draadloos internetten en beeldcommunicatie mogelijk.
- 3^e generatie systemen verlenen daarnaast diensten voor de overdracht van bewegende beelden ("real time video transmission"). Hiertoe behoort:
UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) met datasnelheden van 384 kb/s of meer.
Deze systemen zijn niet inpasbaar in de GSM infrastructuur en vereisen nieuwe faciliteiten. UMTS is nog niet overal in Nederland te ontvangen. Daarom zijn mobiele telefoons gebaseerd op UMTS ook voorzien van GSM aanpassingen en wordt er zondig zonder dat je het merkt van het ene systeem naar het andere overgeschakeld.
- 3,5^e generatie HSDPA (High Speed Downlink, Shared Channel) is een verdere uitbouw van UMTS met datasnelheden van 1,8 Mb/s en 3,6

Mb/s. Dit betekent een verbeterde kwaliteit van videocommunicatie en een hogere downloadsnelheid.

- 4^e generatie systemen zijn in ontwikkeling. Gestreefd wordt naar een landelijk dekkend systeem, waarop ook laptops en notebooks kunnen inloggen. Datasnelheden zijn mogelijk tot 100 Mb/s.

Huiscomputer, laptop en notebook

Bij huiscomputer, laptop of notebook wordt steeds vaker overgegaan op draadloze systemen zowel voor de communicatie met het internet als die met randapparatuur.



Figuur 2.15 Bluetooth

De volgende ontwikkelingen zijn gaande:

- Communicatie met randapparatuur:
Bluetooth genoemd naar een Deense Vikingkoning is de ondersteunende technologie.
Er zijn verschillende klassen te onderscheiden: voor korte afstanden van 10 cm tot 1 m, voor normaal gebruik tot 10 m en voor lange afstanden tot 100 m. De frequentieband ligt rondom de 2,45 GHz. Datasnelheden zijn hoog: 2 Mb/s
- Draadloos internetten wordt al algemeen toegepast, zowel voor huiscomputer als laptop of notebook. Gebruik wordt gemaakt van Wifi (Wireless Fidelity). In huis is het bereik beperkt tot 50 m.
- Laptops kunnen gebruik maken van mobiel internet op zogenaamde hotspots, die gelegen zijn in gebieden met veel gebruikers zoals stations, vliegvelden, (hoge)scholen en universiteiten. Je hebt hier direct toegang tot het internet. De ondersteunende technologie is ook Wifi. Wifi kent verschillende standaarden:
Bij een hoge frequentie van 5,0 GHz is het bereik minder dan 50 m en de datasnelheid 54 Mb/s
Bij 2,4 GHz is het bereik maximaal 150 m. En de datasnelheid is inmiddels ook maximaal 54 Mb/s.
De nieuwste ontwikkelingen halen een maximaal bereik van 250 m en een datasnelheid van 300 Mb/s. Echter niet tegelijk. Bij grotere afstand wordt de datasnelheid minder. Met een dubbele antenne op je laptop wordt een datasnelheid van maximaal 600 Mb/s gehaald.
- Verder uitbreiding van Wifi is gaande met WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access). Het theoretische bereik is 112 km, de laptop moet zich dan wel direct in de gezichtslijn van de antennemast bevinden.
In de praktijk is het bereik 2 km bij een datasnelheid van 10 Mb/s
- Begin 2009 wordt UMB Ultra Mobile Broadband geïntroduceerd met datasnelheden tot 100 Mb/s



Figuur 2.16. Een Personal Digital Assistant (PDA) combineert de verschillende functies van een mobiele telefoon.

Toekomst

Er wordt verder gewerkt aan een 4^e generatie technologie waarbij een integratie plaatsvindt tussen de infrastructuur voor mobiel internet en het mobiele telefoonnetwerk, zodat een landelijke dekking bereikt wordt.

Hoge datasnelheden van honderden Mb/s maken hoge kwaliteit “live video” en snel downloaden mogelijk. Ook met de mobiele telefoon kan allerlei randapparatuur bediend worden.

Dit hoofdstuk nog eens in het kort

De communicatie tussen mobiele telefoons loopt via een netwerk van stations dat bestaat uit basisstations, mobiele schakel centrales en een hoofdcentrale. Hier worden de mobiele toestellen geïdentificeerd en wordt bepaald hoe de verbinding tot stand komt.

Voor het gebruik van mobiele telefonie zijn frequentiebanden toegewezen: GSM900 en GSM1800. De GSM900 band heeft frequenties rond de 900 MHz en bestaat uit twee subbanden met elk een breedte van 25 MHz. Uplink is daarbij de communicatie van de mobiele telefoon naar het basisstation. Deze vindt plaats met de frequenties van de onderste subband. Downlink is de communicatie van het basisstation naar de mobiele telefoon. Deze vindt plaats met de frequenties van de bovenste subband.

Signaalbundeling is een belangrijk principe in de telecommunicatie. Het betekent dat meerdere signalen verstuurd worden over dezelfde communicatiemediën.

Codering en decodering zijn hierbij essentieel om de signalen te kunnen onderscheiden.

Het aantal beschikbare kanalen wordt bepaald door FDMA en TDMA. FDMA (Frequency Division Multiple Access) is het verdelen van de beschikbare frequenties. TDMA (Time Division Multiple Access) het samen delen van een frequentie in de tijd.

Duplexfrequenties zijn paren frequenties die voor de communicatie met het basisstation nodig zijn: één voor het contact van mobiele telefoon naar het basisstation (uplink) en één voor de communicatie van het basisstation naar de mobiele telefoon (downlink). Een basisstation gebruikt een beperkt aantal (duplex)frequenties. Door FDMA zijn maximaal zijn 124 duplexfrequenties beschikbaar. Elke frequentie heeft een bandbreedte van 200kHz.

Bij TDMA wordt een frequentie opgedeeld in 26 tijdsblokken van totaal 120 ms. Elk tijdsblok wordt weer verdeeld in 8 tijdsloten (bursts) en is bestemd voor 8 gebruikers. Zo kunnen 8 gebruikers achtereenvolgens van dezelfde frequentie gebruik maken. De communicatie van één gebruiker vindt plaats in de achtereenvolgende tijdsblokken steeds gedurende één van de acht tijdsloten.

Een kanaal is de weg waarlangs de communicatie tussen het basisstation en de mobiele telefoon plaats vindt. Het aantal beschikbare kanalen in de GSM900 band is gelijk aan het aantal beschikbare (duplex)frequenties van het basisstation maal de 8 tijdsloten.

Gedurende een tijdslot worden totaal 114 data bits verstuurd. Data bits zijn de bits die de eigenlijke boodschap bevatten. Daarnaast worden een aantal extra bits uitgezonden om er voor te zorgen dat de data bits goed aankomen. De training sequence bits bestaan uit een vaste code en dienen om afwijkingen door ongewenste reflecties op te sporen, zodat de data bits daarvoor gecorrigeerd kunnen worden. Multipath equalization is het verwijderen van verstoringen door verschil in weglengten door ongewenste reflecties.

De datasnelheid is de snelheid waarmee informatie wordt overgedragen. De eenheid is bits/s. De datasnelheid kan worden verhoogd door bij hogere draaggolffrequenties te communiceren. Het bereik neemt dan af.

Begrippen

Global System for Mobile communication (GSM)

Signaalbundeling

Frequency Division Multiple Access (FDMA)

Time Division Multiple Access (TDMA)

Samenvatting

De communicatie tussen mobiele telefoons loopt via een **netwerk** van stations dat bestaat uit basisstations, mobiele schakelcentrales en een hoofdcentrale. Een **kanaal** is de weg waarlangs de communicatie tussen het basisstation en de mobiele telefoon plaats vindt.

Signaalbundeling is een belangrijk principe in de telecommunicatie. Het betekent het dat meerdere signalen verstuurd worden over dezelfde communicatiemedia.

Codering en decodering zijn hierbij essentieel om de signalen te onderscheiden.

Het aantal beschikbare kanalen wordt bepaald door **FDMA** en **TDMA**. FDMA (Frequency Division Multiple Access) is het verdelen van de beschikbare frequenties. TDMA (Time Division Multiple Access) is het samen delen van een frequentie in de tijd.

De **datasnelheid** is de snelheid waarmee informatie wordt overgedragen. De eenheid is bits/s.

Opgaven

§2.1

18 Lokalisatie van verdachten.

GSM wordt bij de recherche ook gebruikt om een mobiele beller te lokaliseren. Zoek op het internet hoe dat gaat.

19 Wat is het energievoordeligst?

In dichtbevolkte gebieden staan de GSM-masten dichter op elkaar. Verklaar dat dit niet ten koste gaat van het totaal door de masten uitgezonden vermogen vergeleken met een zelfde oppervak dunbevolkt gebied.

§2.2

20 Signaalbundeling

Een belangrijk principe in de telecommunicatie is signaalbundeling “het delen van de communicatiemedia”. Dit heet multiplexen.

- Geef dit schematisch aan voor: Telefoon, radio en GSM.
- Welke communicatiemiddelen worden gebruikt?
- Hoe vindt de codering en decodering plaats?

21 Aantal kanalen bij GSM900 en GSM1800

GSM 1800 (of DSC 1800) is een band met frequenties rondom 1800 MHz. Het bestaat uit 374 duplexfrequentiebanden en net als bij GSM900 een TDMA van 8 tijdsloten.

- Bereken het maximale aantal kanalen bij GSM900 en bij GSM 1800 afzonderlijk.
- Bereken het maximale aantal gebruikers dat via een basisstation met 4 frequenties kan bellen.

22 Datasnelheid

De datasnelheid is de snelheid in bits per seconde waarmee boodschappen verstuurd of ontvangen kunnen worden.

- Bereken de datasnelheid voor GSM900.
- Zoek op en vergelijk dit met die voor WIFI, Bluetooth en USB 2.0.

23 Datasnelheid en frequentie

Hoogfrequente radiogolven hebben dezelfde snelheid als laagfrequente.

- Welke snelheid is dat?
- Leg uit waarom een hogere frequentie toch een hogere datasnelheid mogelijk maakt.

24 Synchronisatie van signalen

Synchronisatie is belangrijk. Stel dat er door weglengteverschillen doortrugkaatsing een verschuiving van één bit optreedt.

- Bereken het tijdsverschil als je één bit bent opgeschoven.
- Bereken het bijbehorende weglengteverschil.

25 Spraakoverdracht

Spraak wordt vaak opgedeeld in tijdsintervallen van 20 ms. Voor herkenbare spraak van goede kwaliteit zijn 456 bits in 20 ms nodig.

- Bereken de bijbehorende datasnelheid voor spraak in bits/s.
Je GSM werkt met een TDMA van acht tijdsloten (*bursts*). Tijdens elk tijdslot worden 114 data bits in 0,577 ms verstuurd of ontvangen.
We gaan na of je GSM deze bit-stroom kan bijhouden.
- In hoeveel tijdsloten (*bursts*) kunnen de 456 bits verstuurd worden?
- Hoeveel tijdsblokken zijn daarvoor nodig? Maak gebruik van het TDMA principe.
- Bereken de tijdsduur om deze 456 bits te versturen.
- Hoe hoog is dan de datasnelheid van de GSM.
- Vergelijk deze met de datasnelheid voor spraak en trek je conclusie.

26 Interne antenne van de mobiele telefoon

Voor een antenne geldt in het algemeen dat de afmeting ongeveer een $\frac{1}{4}$ golflengte van de ontvangen radiogolven moet zijn.

- Bereken de afmeting van de interne antenne in een mobiel voor de GSM900 band.

Bij GSM900 heeft elk kanaal een frequentiebreedte van 200 kHz.

- Bereken de relatieve breedte van het kanaal.
- Bereken het verschil in golflengte $\Delta\lambda$ tussen twee naast elkaar liggende kanalen.

27 Welke afstanden worden afgelegd?

- Bereken welke afstand een tijdslot gedurende de tijdslotperiode aflegt?
- Hoeveel golftoppen van de draaggolf passen daarin? Ga uit van een frequentie van 900 MHz.
- Bereken ook de afstand die één bit aflegt gedurende de tijd dat hij wordt uitgezonden.
- Hoeveel golftoppen passen in een bit?

28 Steeds hogere frequenties

- Geef een aantal argumenten om in de datacommunicatie naar steeds hogere frequenties te gaan.
- Welke zijn de nadelen?

29 SMS*

Ronald stuurt een SMS-gedichtje met 100 (7-bits) leestekens.

- Hoeveel bytes zijn dat?
- In hoeveel tijdsloten kan dit gedichtje (minimaal) verstuurd worden?
- Hoe lang duurt dat?

§ 2.3

30 Wifi

Voor één standaard binnen Wifi geldt dat bij een frequentie van 5,0 GHz een datasnelheid van 54 Mb/s bereikt wordt.

Bij Wifi geldt een andere tijdsduur voor tijdsblokken en tijdsloten dan bij GSM900!!

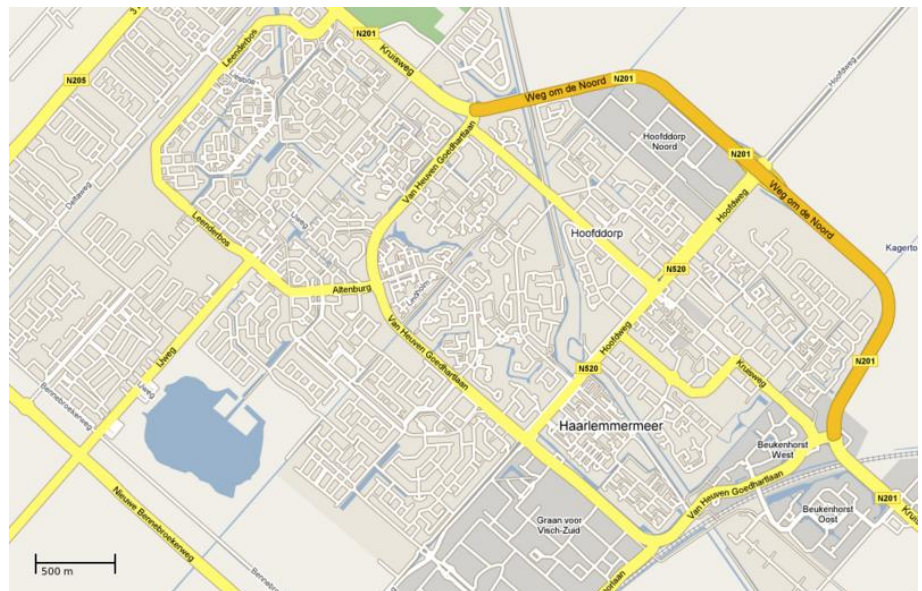
- Bereken het aantal golven dat in een bit zit.
- Bereken de afstand die gedurende een éénbits-tijdsinterval door een bit wordt afgelegd.
- Doe hetzelfde voor de Wifi-standaard waarbij dezelfde datasnelheid van 54 Mb/s geldt, maar bij een frequentie van 2,4 GHz.
- Voor het bereik voor beide afstanden worden respectievelijk 50 m en 150 m geclaimd. Geef commentaar op je resultaten.

31 Je toekomstverwachting

Om je heen zie je de ontwikkelingen op het gebied van de telecommunicatie. Geef aan hoe volgens jou over 10 jaar je telecommunicatieomgeving er uit zou kunnen zien. Wat zou je graag willen? Wat lijkt je realistisch?

Je bent zojuist in dienst genomen door een internationaal bekende GSM operator. Zij hebben op dit moment geen klanten in Nederland, maar denken door overnames en een agressieve marketingcampagne snel een operator van gemiddelde grootte te kunnen worden. Hun streven: een waterdicht netwerk van hoge kwaliteit.

- Bekijk het kaartje van je schoolomgeving. Geef hierin met kleur de volgende drie soorten bebouwing aan: woonwijken, kantoren/winkels, industrieterrein.
- Schat voor elk gekleurd gebied op je kaart hoeveel mensen er overdag aanwezig zijn en een mobieltje hebben.
- Schat hoeveel procent van de tijd iemand zijn mobieltje daadwerkelijk gebruikt om te bellen. Bereken dan voor elk gebied hoeveel telefoongesprekken er tegelijkertijd ongeveer gevoerd worden.
- Bespreek dit met de rest van je klas zodat jullie het eens worden.
- Hoeveel gesprekken kan een basisstation per frequentie hanteren? Maak nu een globale verdeling van basisstations en frequenties over je kaart.
- Bekijk nu eens hetzelfde gebied met Google Earth of Google Maps o.i.d. Probeer elk basisstation op een hoog gebouw te plaatsen, dat scheelt kosten omdat er dan geen mast hoeft te worden geplaatst.
- Vergelijk jouw resultaat met dat van de anderen uit de klas. Wie kan er toe met het minste aantal basisstations?



126

Practicum: GSM-verkeer. Een toepassing van FDMA en TDMA

In deze opdracht worden de leerlingen verdeeld en krijgt ieder een 'kanaal' op een bepaalde 'frequentie'. Het is de bedoeling dat leerlingen een korte boodschap met elkaar uitwisselen.

32 Van GSM naar zendmast (uplink)

Opdracht voor de docent:

- Verdeel de klas in groepjes van 4.
- Geef ieder groepje het nummer van een frequentie (mag willekeurig worden gekozen).
- Geef iedere leerling binnen het groepje een kanaalnummer (1-4).

Opdracht voor de leerling:

- Schrijf elk een korte boodschap van 10 letters. (Als de boodschap korter is dan 10, vul dan de rest aan met de letter 'z').
- Digitaliseer je boodschap door middel van de tabel hieronder.
- Verdeel je boodschap in groepen van tien bits en schrijf iedere groep apart op als volgt:
 - De leerling met kanaal 1 wordt de schrijver.
 - De schrijver pakt een leeg blad en schrijft de éérste groep van zijn boodschap op, achter elkaar.
 - De leerling met kanaal 2 leest zijn eerste groep voor aan de schrijver. De schrijver schrijft dat direct achter zijn boodschap op (géén nieuwe regel beginnen).
 - Vervolgens lezen ook de leerlingen met kanaal 3 en 4 hun boodschap voor.
 - De schrijver schrijft nu (ook weer achter elkaar) de tweede groep van alle boodschappen op. Vervolgens ook de resterende groepen.

Op het blad staat nu het complete GSM verkeer voor de frequentie van jullie groep.

33 Van zendmast naar GSM (downlink)

Opdracht voor de docent:

- Neem alle frequenties in en verdeel die willekeurig over de groepjes zodat ieder groepje een andere frequentie krijgt.

Opdracht voor de leerling:

- De leerling met kanaal 2 wordt nu de lezer.
- De lezer begint de eerste tien bits voor te lezen aan de leerling met kanaal 1. Deze schrijft dat op een nieuw blad.
- De volgende tien bits worden opgeschreven door de leerling met kanaal 2.
- En zo door tot alle kanalen aan bod zijn geweest.
- De volgende tien bits zijn weer voor kanaal 1 en ga zo het rondje af totdat het volledige zendverkeer over de kanalen is verdeeld.
- Pas op dat je je niet vertelt! Zet eventueel na elke tien bits een streepje.
- Iedere leerling gaat nu vervolgens zijn boodschap weer ontcijferen.
- Aangezien je weet wat de frequentie én het kanaalnummer was van de originele boodschap kun je je uitkomst controleren bij de leerling die de boodschap verstuurd heeft.
- Is alles goed gegaan?

A	00001	J	01010	S	10011
B	00010	K	01011	T	10100
C	00011	L	01100	U	10101
D	00100	M	01101	V	10110
E	00101	N	01110	W	10111
F	00110	O	01111	X	11000
G	00111	P	10000	Y	11001
H	01000	Q	10001	Z	11010
I	01001	R	10010		