

## Inhoud leereenheid 6

### **Informatieoverdracht en signalen**

Introductie

Leerkern

- 1 Overdracht van informatie
  - 1.1 Bron en zender volgens het algemene communicatiemodel
  - 1.2 Kanaal volgens het algemene communicatiemodel
  - 1.3 Ontvanger en bestemming volgens het algemene communicatiemodel
- 2 Signalen
- 3 Continue en discrete signalen
  - 3.1 Continue signalen
  - 3.2 Discrete en digitale signalen
- 4 Nogmaals informatieoverdracht en signalen

Samenvatting

Terugkoppeling

Uitwerking van de opgaven

Bijlage: Het decimale en binaire talstelsel

Leereenheid 6

## **Informatieoverdracht en signalen**

### INTRODUCTIE

In deze leereenheid staan twee onderwerpen centraal, te weten: de stappen die doorlopen worden bij het overdragen van informatie en signalen.

In de eerste paragraaf bespreken we de stappen die algemeen doorlopen worden tijdens het overdragen van informatie: ze worden doorlopen bij het sturen van een brief, maar ook als u dezelfde informatie telefonisch of via e-mail overdraagt. Tevens geven we aan door welke functionele delen van het communicatiemodel (bron, zender, kanaal, ontvanger en bestemming) elk van de stappen wordt uitgevoerd.

Zo wordt bij het versturen van een brief gebruikgemaakt van een fysiek object, het briefpapier in een envelop, als drager van informatie. De huidige communicatietechnologie is zo succesvol omdat onder andere gebruik wordt gemaakt van dragers van informatie die niet meer direct fysiek herkenbaar zijn met onze zintuigen zoals bij een brief wel het geval is. Ook het communicatieproces is bij communicatietechnologie minder herkenbaar maar in deze leereenheid richten wij ons in de eerste plaats op de dragers. We spreken in dit geval van signalen. In de rest van deze leereenheid gaan we in op wat signalen zijn, welke vormen deze kunnen aannemen, hoe we deze kunnen beschrijven en hoe informatie in een signaal kan worden ondergebracht.

### LEERDOELEN

Na het bestuderen van deze leereenheid wordt verwacht dat u

- kunt uitleggen welke stappen algemeen doorlopen worden om informatie van een bron naar een bestemming over te dragen
- de begrippen communicatie, informatie en signaal kunt omschrijven
- kunt uitleggen waarmee signalen van het ene naar het andere fysische domein kunnen worden overgeheveld
- kunt uitleggen op welke wijze informatie in een signaal is ondergebracht
- kunt aangeven welke continue en discrete signalen er zijn
- het verschil kunt aangeven tussen trillingen en golven en deze beide kunt karakteriseren
- kunt werken met de begrippen uitwijking, amplitude, fase, golflengte, faseverschil en sinus
- het verschil kunt uitleggen tussen een digitaal, binair en discreet signaal.

### *Studeeraanwijzingen*

In paragraaf 3.1 Continue signalen worden de begrippen 'trilling', 'golf' en 'sinus' uitgelegd. Ter verduidelijking zijn een tweetal animaties gemaakt die te vinden zijn bij de links op de cursussite. Bij elke animatie

is een experiment beschreven inclusief toelichting. Ook zijn hier twee animaties beschikbaar die de amplitude- en frequentiemodulatie, die kort genoemd worden in paragraaf 3.2, inzichtelijk proberen te maken. In paragraaf 3.2 en in de rest van blok 2 wordt regelmatig gesproken over binaire getallen en over het omzetten van decimale naar binaire getallen en omgekeerd. Wanneer u onbekend bent met deze materie, kunt u de bijlage 'Het decimale en binaire talstelsel' bij deze leereenheid bestuderen.

Studeeraanwijzing De verwachte studielast voor deze leereenheid bedraagt 6 uur.

### Grieks alfabet

In deze leereenheid en de rest van de cursus worden Griekse letters gebruikt in formules. Voor de volledigheid geven we hier het Griekse alfabet inclusief de uitspraak van elke letter.

<i>kleine letter</i>	<i>hoofd-letter</i>	<i>uitspraak</i>	<i>kleine letter</i>	<i>hoofd-letter</i>	<i>uitspraak</i>
$\alpha$	$A$	alfa	$\nu$	$N$	nu
$\beta$	$B$	bèta	$\xi$	$\Xi$	xi
$\gamma$	$\Gamma$	gamma	$o$	$O$	omikron
$\delta$	$\Delta$	delta	$\pi$	$\Pi$	pi
$\epsilon$	$E$	epsilon	$\rho$	$P$	rho
$\zeta$	$Z$	zèta	$\sigma$	$\Sigma$	sigma
$\eta$	$H$	èta	$\tau$	$T$	tau
$\theta$	$\Theta$	thèta	$\upsilon$	$Y$	upsilon
$\iota$	$I$	jota	$\phi$	$\Phi$	fi
$\kappa$	$K$	kappa	$\chi$	$X$	chi
$\lambda$	$\Lambda$	la(m)bda	$\psi$	$\Psi$	psi
$\mu$	$M$	mu	$\omega$	$\Omega$	omega

## LEERKERN

### 1 Overdracht van informatie

*Communicatie*  
*Informatie*

Tijdens *communicatie* verzendt een bron informatie langs een kanaal naar een bestemming. Het is moeilijk het begrip informatie te definiëren. In deze cursus verstaan we onder *informatie* datgene waardoor de onzekerheid of onwetendheid van de kant van de bestemming in bepaalde mate vermindert. Anders gezegd, er is sprake van informatie als de hoeveelheid kennis bij de geadresseerde bestemming toeneemt.

Stappen bij overdracht van informatie

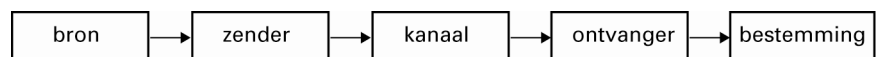
Het overdragen van informatie gebeurt algemeen in een aantal stappen. Bij het versturen van bijvoorbeeld een brief, wordt de informatie op papier geschreven, in een envelop verpakt en van een bestemmingsadres (straat, huisnummer, plaats en eventueel land) en een afzender voorzien. De envelop met brief wordt verstuurd en legt een weg af door middel van fiets, vrachtauto, trein en dergelijke. Hij gaat door een of meer postsorteercentra, wordt bij de bestemming bezorgd en door de ontvanger in ontvangst genomen. Als laatste moet de ontvanger de inhoud van de brief lezen en begrijpen.

Deze stappen zijn meestal ook aan de orde bij communicatie door middel van communicatietechnologie. Bij het versturen van e-mail bijvoorbeeld, wordt de informatie in digitale elektronische vorm vastgelegd. Het e-mailbericht, voorzien van een bestemmingsadres en afzender, legt een

weg af door een communicatienetwerk. Bij de bestemming wordt het e-mailbericht afgeleverd in een mailbox. Als laatste moet ook hier de ontvanger het bericht ophalen en de inhoud van het e-mailbericht lezen en begrijpen.

In deze paragraaf bespreken we globaal de stappen om informatie over te dragen en plaatsen we deze in het algemene communicatiemodel, zoals dat in leereenheid 1 is geïntroduceerd: bron, zender, kanaal, ontvanger en bestemming (zie figuur 6.1).

In deze en leereenheid 7 komen de signalen aan de orde alsmede de functies van de zender en de ontvanger.

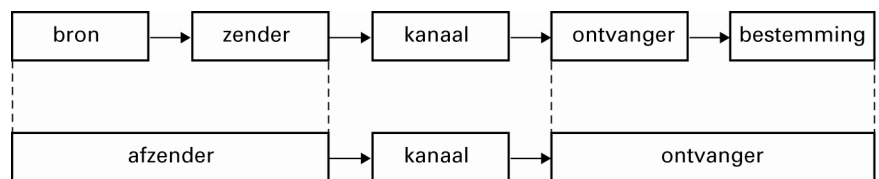


FIGUUR 6.1 Het algemene communicatiemodel

Uitleg aan de hand van een doorlopend voorbeeld

Elk van de stappen verduidelijken we aan de hand van een dagelijks en niet-technisch voorbeeld, namelijk: persoon A (afzender) stuurt een brief aan persoon B (ontvanger) met daarin de informatie 'De afspraak op 1 april met Maria gaat door!'

In een eerste benadering past, zoals figuur 6.2 duidelijk maakt, het voorbeeld waarin een brief wordt gestuurd, niet geheel op het algemene communicatiemodel.



FIGUUR 6.2 Het postvoorbeeld in relatie tot het algemene communicatiemodel

Kunt u op basis van figuur 6.2 bedenken op welke twee punten het dagelijkse voorbeeld van het versturen van een brief en het algemene communicatiemodel uit figuur 6.1 van elkaar afwijken?

De bron en de zender in het algemene communicatiemodel zijn bij het versturen van een brief verenigd in één persoon: de afzender. De afzender wil de ontvanger informeren, stelt een brief samen, stopt deze in een envelop en voorziet de envelop van een bestemmingsadres. Evenzo zijn de ontvanger en bestemming in het algemene communicatiemodel bij het versturen van een brief verenigd in één persoon: de ontvanger. De ontvanger haalt de envelop uit de brievenbus, maakt de envelop open en leest de brief. Hoewel dit voorbeeld niet geheel past op het algemene communicatiemodel, kiezen we er hier toch voor: we kunnen het ons goed voorstellen en het vereist geen voorkennis van communicatietechnologische toepassingen.

1.1 BRON EN ZENDER VOLGENS HET ALGEMENE COMMUNICATIEMODEL

Teken  
Taal

Wanneer een bron informatie wil overdragen aan een bestemming, moet de informatie eerst worden vastgelegd door middel van *tekens* uit een met de bestemming vooraf overeengekomen *taal*. Een teken, ook wel symbool genoemd, heeft een bepaalde betekenis. Voorbeelden zijn de letters uit ons alfabet, de woorden uit de Nederlandse taal, de symbolen uit de wiskunde en verkeersborden. Het alfabet geeft aan welke tekens er zijn; de taal geeft aan wat deze kunnen betekenen en hoe de symbolen uit het alfabet gebruikt mogen worden.

Voorbeeld  
(vervolg)

De afzender (persoon A) draagt de informatie 'De afspraak op 1 april met Maria gaat door!' over door middel van geschreven tekens. In dit geval zijn dat letters en woorden samengesteld tot Nederlandstalige zinnen. De regels van de Nederlandse taal worden onder andere gevormd door:

- het alfabet: welke letters mogen worden gebruikt
- de 'Woordenlijst Nederlandse taal': welke woorden kunnen met de letters worden samengesteld en wat kunnen deze woorden betekenen
- de 'Algemene Nederlandse Spraakkunst': hoe kunnen met de woorden correcte zinnen worden samengesteld.

Doordat beide personen hebben afgesproken deze taal te gebruiken en zich hier ook aan houden, is informatieoverdracht mogelijk.

Leestekst

Algemeen geldt dat bij elke vorm van communicatie gebruik wordt gemaakt van een taal. Een taaluiting is te beschouwen op een viertal niveaus:

- fysiek niveau: een fysische weergave van de taaluiting
- syntactisch niveau: bij veel talen onder te verdelen in een lexicaal deel en een grammaticaal deel: een stelsel van regels legt vast hoe de tekens gebruikt kunnen worden
- semantisch niveau: hier wordt aan syntactisch correcte taaluitingen betekenis toegekend
- pragmatisch niveau: het toekennen van een betekenis aan een zin in een bepaalde context waardoor die ook betekenis krijgt voor beslissen en handelen.

OPGAVE 6.1

Probeer een aantal voorbeelden van talen uit het dagelijkse leven te bedenken. Denk daarbij aan andere taaluitingen dan bijvoorbeeld Nederlands of Engels (spreektaal)

Bericht

bericht = informatie  
+ verpakking

Om de informatie naar de bestemming over te dragen, moet een *bericht* worden samengesteld. Het samenstellen van een bericht gebeurt door de zender. Een bericht bestaat uit twee delen.

- Ten eerste bevat een bericht *de informatie* die de bron naar de bestemming wil overdragen. Hiervoor worden uitingen in een taal gebruikt.
- Ten tweede bevat het een *verpakking*: extra informatie wordt toegevoegd om ervoor te zorgen dat het bericht bij de bestemming in goede staat en op tijd aankomt. De extra informatie kan bijvoorbeeld bestaan uit het adres van de afzender en de bestemming waar het bericht moet worden afgeleverd en informatie waarmee transportfouten die onderweg optreden, gedetecteerd en eventueel hersteld kunnen worden.

Communicatie-  
protocol

Voor het verpakken van de informatie wordt in principe gebruikgemaakt van een aparte taal en verzameling afspraken die we de *communicatieprotocollen* noemen.

Voorbeeld  
(vervolg)

Om de informatie 'De afspraak op 1 april met Maria gaat door!' over te dragen aan persoon B, stelt persoon A als afzender een *bericht* samen: de brief wordt in een envelop gestopt, voorzien van het adres van de

ontvanger. Het communicatieprotocol schrijft voor waar op de envelop het adres van de ontvanger en de afzender moeten worden genoteerd en waar de postzegel moet worden aangebracht.

1.2 KANAAL VOLGENS HET ALGEMENE COMMUNICATIEMODEL

Het kanaal in het algemene communicatiemodel is een beschrijving van de weg die de informatie aflegt van de bron naar de bestemming. Aan een kanaal onderscheiden we vier aspecten.

*Fysieke weg*

– De *fysieke weg* die de informatie volgt van de bron naar de bestemming. De fysieke weg wordt gevormd door de aaneenschakeling van middelen waarlangs of waardoor het bericht wordt getransporteerd. Zo bestaat de fysieke weg bij een telefoongesprek uit de microfoon waardoor gesproken wordt, de koperdraden naar de telefooncentrale, de schakelapparatuur in de telefooncentrales, de glasvezels tussen de telefooncentrales, de koperdraden van de telefooncentrale naar de bestemming en als laatste de luidspreker waardoor het stemgeluid van de zender weer is te horen.

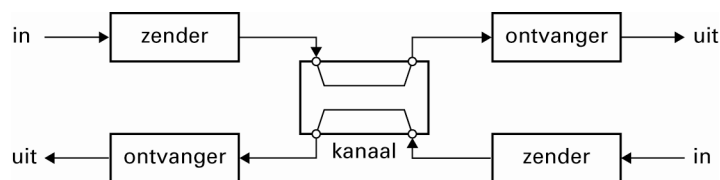
*Een- of tweerichtingsverkeer*

– De vraag of *een- of* ook *tweerichtingsverkeer* tussen bron en bestemming mogelijk is. In het systeem uit figuur 6.1 kan de informatie maar in één richting door het kanaal gaan. Dit noemen we een *simplexverbinding*.

*Simplex*

Willen bron en bestemming afwisselend kunnen zenden en ontvangen, dan moet het kanaal steeds van richting omgekeerd kunnen worden. Dit noemen we een *half-duplexverbinding*. Bij een *full-duplexverbinding* kunnen de communicatiepartners tegelijkertijd informatie door het kanaal naar elkaar sturen en tegelijkertijd de rol van bron en bestemming uitvoeren, zoals getoond in figuur 6.3.

*Half-duplex*  
*Full-duplex*



FIGUUR 6.3 Een full-duplexverbinding

*Aantal bronnen en bestemmingen*

– Het *aantal bronnen en bestemmingen* dat bij de informatieoverdracht betrokken is.

Bij een telefoongesprek is van één bron en één bestemming sprake. We noemen dit een *point-to-pointverbinding*. Bij een tv-uitzending is er sprake van één bron die informatie stuurt en een onbeperkt aantal bestemmingen. We noemen dit een *point-to-multipointverbinding*.

Er bestaan nog meer overdrachtsvormen, namelijk multi-to-point en multi-to-multi

*Kwaliteit*

– De *kwaliteit* van de overdracht tussen bron en bestemming.

Deze kwaliteit bepaalt:

– de mate waarin de informatie ongeschonden bij de bestemming afgeleverd wordt

– het tijdstip waarop de informatie bij de bestemming afgeleverd wordt

– een controlemogelijkheid op de mate van ongeschonden afleveren en de tijdigheid van afleveren

Bij e-mailverkeer bijvoorbeeld kan post tijdens transport verloren gaan. Aflevering en tijdigheid zijn niet gegarandeerd. E-mailprogramma's

bieden functies waarmee inzicht kan worden verkregen op ontvangst en tijdigheid hiervan.

Voorbeeld  
(vervolg)

Het logistieke systeem 'post' vormt het *kanaal* waarlangs de informatie wordt verzonden. De vier aspecten kunnen als volgt ingevuld worden.

- De fysieke weg: zonder volledig te zijn, wordt de brief door persoon A (de zender) bijvoorbeeld te voet naar de brievenbus gebracht, per bestelauto, vrachtauto, trein vervoerd naar een sorteercentrum met sorteermachines en vandaar weer naar een distributiecentrum gebracht. Tenslotte wordt de brief door een postbode bij persoon B, de ontvanger, bezorgd.
- Een- of tweerichtingsverkeer. Communicatie per brief kan beschouwd worden als full-duplexverbinding. Communicatiepartners kunnen immers tegelijkertijd een brief naar elkaar verzenden.
- Hoeveelheid bronnen en bestemmingen. Bij briefpost is er meestal één bron en één bestemming.
- Kwaliteit. Gewone briefpost garandeert geen of tijdige aankomst van een brief en zonder speciale maatregelen blijft dit per brief onduidelijk. Bij aangetekende post is te controleren of de brief is afgeleverd en of dit op tijd is gebeurd.

OPGAVE 6.2

Figuur 6.3 toont het schema van een full-duplexverbinding, dat wil zeggen: bron en bestemming kunnen tegelijkertijd zenden en ontvangen over hetzelfde kanaal! Probeer een schema van een half-duplexverbinding te tekenen. Hierbij moeten bron en bestemming na elkaar zenden en ontvangen over hetzelfde kanaal.

OPGAVE 6.3

Geef een voorbeeld uit het dagelijks leven van elk van de verbindingstypen simplex, half- en full-duplex.

Opmerkelijk is dat een kanaal, om te kunnen functioneren, geen kennis hoeft te hebben van de informatie die over dat kanaal wordt verzonden. Het postkanaal heeft genoeg aan de envelop met daarop het adres van de bestemming. Wat in de envelop zit, kan van alles zijn: een brief, een foto, een folder. In de communicatiesector zien we dan ook twee functies: enerzijds het maken en aanbieden van informatie (Engels: *content*) en anderzijds het transporteren van deze informatie (Engels: *carrier*). Wat de informatie voorstelt, is voor een carrier niet van belang.

Leestekst

Hier komt het verschil in taal en de bijbehorende afspraken duidelijk naar voren. De bedrijven die informatie transporteren, richten zich op het verpakken van de te transporteren informatie. De taal die hierbij wordt gebruikt, is verwerkt in communicatieprotocollen. De context van een communicatieprotocol ligt vast, waardoor het pragmatisch niveau hierbij niet of nauwelijks speelt. Bij de op content gerichte bedrijven speelt de context waarbinnen informatie wordt ontvangen een grote rol. Een voorbeeld hiervan is een informatieve website over communicatietechnologische toepassingen. Voor scholieren zal deze er anders uitzien dan voor ict-architecten. In deze cursus richten we ons alleen op communicatietechnologie voor het transporteren van informatie. De informatie zelf blijft buiten beschouwing.

1.3 ONTVANGER EN BESTEMMING VOLGENS HET ALGEMENE  
COMMUNICATIEMODEL

We bekijken in deze paragraaf in meer detail hoe het proces verloopt aan de ontvangstkant. Vanaf het kanaal naar de bestemming verloopt het proces van overdragen in vier stappen en bij elke stap kan het een en ander misgaan.

Vier stappen

- De ontvanger moet het bericht *aannemen*.
- De ontvanger moet het bericht *uitpakken*, dat wil zeggen: de verpakking scheiden van de informatie.
- De bestemming moet de tekens waarmee de informatie is vastgelegd, kunnen *herkennen*. Als de bestemming dit kan, is er sprake van een gegeven.
- De bestemming moet, gegeven de context waarin deze zich bevindt, de informatie *waarderen*: in welke mate neemt de geïnformeerde toe. We zullen deze vier stappen kort bespreken.

*Aannemen van bericht*

Als het bericht de ontvanger langs het kanaal heeft bereikt, kan de ontvanger vervolgens het bericht wel of niet aannemen. Het niet aannemen van een bericht kan bedoeld en onbedoeld plaatsvinden. Een voorbeeld van bedoeld niet aannemen zien we bij e-mail. Mailboxen bieden functionaliteit om ongewenste mail te weigeren; de mail wordt direct weggegooid. Onbedoeld niet aannemen vindt plaats wanneer de mailbox te vol is: de mail kan niet in de mailbox geplaatst worden.

Voorbeeld (vervolg)

In ons voorbeeld, het sturen van een brief, is de kans klein dat persoon B de envelop niet aanneemt. Twee mogelijke oorzaken van niet aannemen zijn:

- de envelop raakt per ongeluk tussen reclamemateriaal en verdwijnt daarmee bij het oud papier
- persoon B is overleden, waardoor de brief niet bezorgd kan worden.

*Uitpakken van informatie*

Om de informatie uit het bericht te kunnen halen, moet de ontvanger in staat zijn de informatie van de verpakking te ontdoen. De ontvanger moet dus minstens beide van elkaar kunnen onderscheiden. De informatie wordt vervolgens aan de bestemming overgedragen.

Voorbeeld (vervolg)

Stel dat persoon B nog nooit een envelop heeft gezien, dan zal deze in eerste instantie waarschijnlijk niet goed weten wat ermee aan te vangen.

*Herkennen van tekens*

De tekens, die de informatie weergeven, moeten worden herkend door de bestemming. Het kunnen herkennen wordt bepaald door de bekendheid met de taal en de afgesproken regels. Als de bestemming de taal niet kent of er andere betekenissen aan toekent, dan kan de bedoelde informatie niet uit het bericht gehaald worden. Als de ontvanger de taal wel herkent en er betekenis aan kan geven (semantiek en pragmatiek), is er sprake van een *gegeven*.

Gegeven: Een feit of een begrip uit de werkelijkheid in een vorm die geschikt is voor communicatie, interpretatie en verwerking tot informatie door mens en/of machine.

Voorbeeld (vervolg)

Als persoon B de Nederlandse taal onvoldoende beheerst, is die niet in staat om de letters en woorden te herkennen en de inhoud van de brief te interpreteren.

*Waarderen van informatie*

Als laatste waardeert de bestemming de door de bron verzonden informatie. Aan de hand van de context waarin de bestemming zich

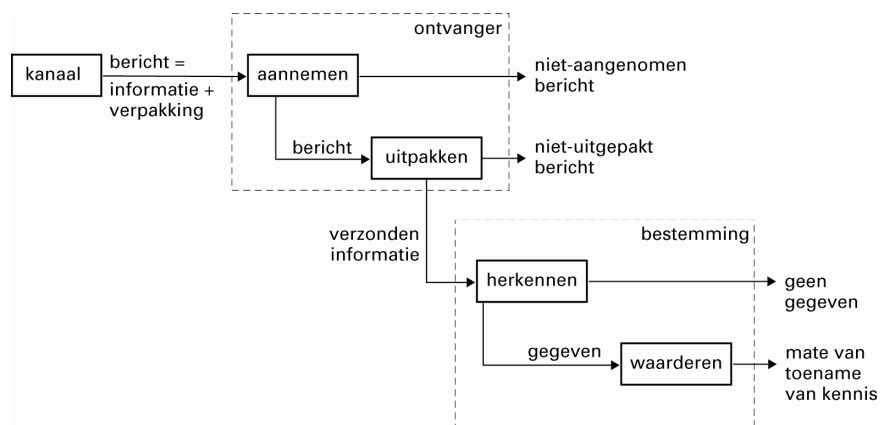


bevindt, wordt bepaald in welke mate er sprake is van *informatie*, dat wil zeggen: in welke mate de onzekerheid afneemt.

Voorbeeld  
(vervolg)

Als persoon B al wist dat de afspraak doorgaat (bijvoorbeeld van een ander vernomen), is het slechts een bevestiging van wat B al wist: de mate van onzekerheid neemt nauwelijks af. Komt de informatie 'De afspraak op 1 april met Maria gaat door!' geheel onverwachts, dan neemt de onzekerheid van B af.

In figuur 6.4 zijn de stappen van het overdrachtsproces van kanaal naar de bestemming nog eens samengevat.



FIGUUR 6.4 Overdrachtsproces van kanaal naar bestemming

Te zien is dat als een bericht langs een kanaal een ontvanger bereikt, de ontvanger het bericht wel of niet aanneemt. De tekens die de eigenlijke informatie vormen, worden ontdaan van de verpakking. Als de tekens in het bericht herkend worden door de bestemming, dat wil zeggen: de bestemming heeft kennis van de taal en de betekenis hiervan, dan is er bij de bestemming sprake van een gegeven. Vervolgens is het aan de bestemming om te bepalen in welke mate de kennis toeneemt. Zoals wij al bij figuur 6.2 aangaven zijn de ontvanger en de bestemming in het geval van briefpost verenigd in één persoon.

OPGAVE 6.4

Probeer op basis van eigen ervaring aan te geven wat er mis kan gaan bij de vier stappen (aannemen, uitpakken, herkennen en waarderen) bij het ontvangen van een e-mailbericht met een bijlage die gemaakt is in Word. Ga ervan uit dat de e-mail door een voor u onbekend persoon is verzonden.

## 2 Signalen

Fysiek object als drager van informatie

Bij het versturen van informatie door middel van een brief wordt gebruikgemaakt van een fysiek object als drager. Buiten deze vorm vindt er op vele andere manieren overdracht van informatie plaats, waarbij er géén sprake is van een fysiek object als drager. We spreken dan over signalen. Een eenvoudig voorbeeld is als u uw hand opsteekt als stopteken voor iemand die achteruit rijdt: de informatie bereikt de automobilist door middel van lichtstralen. In volledige duisternis zou deze informatie niet aankomen. Wat signalen zijn, hoe ze ontstaan en hoe ze van de ene in de andere soort overgezet kunnen worden, zijn de onderwerpen van deze paragraaf.

Signaal

In de macrofysische wereld, de wereld zoals wij die om ons heen ervaren, vindt veel overdracht van informatie middels signalen plaats. U ziet een object, bijvoorbeeld een plant, doordat een deel van het licht dat op de plant straalt, niet door de plant wordt geabsorbeerd, maar wordt gereflecteerd. U hoort een auto die langs rijdt, door het geluid van de motor en het geruis dat de banden tegen het wegdek produceren. Bij deze vormen van informatieoverdracht is er sprake van een fysisch verschijnsel als drager en niet (zoals bij de brief) een door onze zintuigen direct herkenbaar fysiek object. We definiëren een *signaal* als een informatiedragend fysisch verschijnsel.

Moduleren

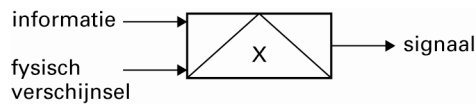
Om informatie in de vorm van een signaal te transporteren, moet een fysisch verschijnsel gemoduleerd worden. *Moduleren* is het fysische verschijnsel zodanig beïnvloeden dat de gewenste informatie als variatie van het fysische verschijnsel kan worden waargenomen.

Voorbeelden

Een voorbeeld is spraak: door onze stembanden te gebruiken, brengen we de lucht in onze mondholte in trilling. Het fysische verschijnsel is hier variatie in druk. Het moduleren is het in trilling brengen van de lucht, waardoor wisselingen in luchtdruk ontstaan. De informatie zit in de trillingen (drukveranderingen) van de lucht. Deze trillingen planten zich voort in de lucht als drukgolven. Deze drukgolven bereiken onze oren. In de oren brengen deze drukvariëaties trilhaartjes tot trilling. De zenuwen en hersenen zorgen ervoor dat dit als geluid ervaren wordt. Er is hier dus sprake van een geluidssignaal.

Een ander voorbeeld is informatieoverdracht door middel van licht met behulp van een lamp. Het fysische verschijnsel is hier licht (elektromagnetische golven van verschillende frequenties). Door bijvoorbeeld de lamp aan en uit te schakelen, moduleren we het licht op de meest eenvoudige manier: er wordt licht uitgezonden door de lamp of er wordt geen licht uitgezonden. Op deze manier kunnen we informatie overdragen door bijvoorbeeld te seinen met morsecode (alfabet). Maar het zou ook nog veel geavanceerder kunnen door niet alleen aan en uit te kiezen, maar ook variatie in intensiteit of zelfs variatie in kleur. Zo zal de waarneming van de weerkaatsing van kleuren en intensiteit van het zonlicht op een plant ons vervolgens tot de volgende informatie middels geluid kunnen verleiden: 'Kijk, wat een mooie plant staat daar'.

In figuur 6.5 is dit vormen van een signaal door modulatie van een fysisch verschijnsel volgens bepaalde informatie symbolisch weergegeven.



FIGUUR 6.5 Het moduleren van een signaal

*Modulator*

In figuur 6.5 is X het systeem dat het signaal samenstelt uit het fysische verschijnsel en de informatie. We noemen dit een *modulator*.

In het voorbeeld van stemgeluid bestaat X uit onder andere de stembanden en bijbehorende spieren. In het geval van het lichtsignaal is X de schakelaar waarmee de lamp aan- en uitgeschakeld wordt.

*Medium*

Het signaal moet passen bij het *medium* waardoor het zich voortplant. Als het medium een glasvezel is, dan moet de informatie omgezet worden in een lichtsignaal. Met koperdraden lukt dit uiteraard niet en moet de informatie worden omgezet in een elektrisch signaal. Het soort medium dat wordt gebruikt, bepaalt dus welke signaalsoort toegepast kan worden.

OPGAVE 6.5

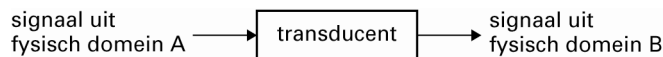
Probeer enkele voorbeelden van medium-signaal-combinaties te geven. Laat u daarbij inspireren door communicatieapparatuur als vaste en mobiele telefonie, afstandsbedieningen en dergelijke.

In het algemeen is het signaal dat de bron afgeeft, niet geschikt voor het medium dat bij communicatie over lange afstanden wordt gebruikt.

Kunt u dit aan de hand van een alledaags voorbeeld illustreren?

*Transducent of omzetter*

Denk bijvoorbeeld aan het spreken door een telefoon. Om het geluidssignaal (luchtdrukvariaties) waarin de informatie is vevat, geschikt te maken voor bijvoorbeeld het medium koperdraad, dient het omgezet te worden in een elektrisch signaal (elektrische variaties). Hiervoor wordt gebruikgemaakt van *omzeters*, de zogenaamde *transducenten* (zie figuur 6.6). Een voorbeeld daarvan is de microfoon in de telefoon waarmee het geluidssignaal wordt omgezet in een elektrisch signaal.



FIGUUR 6.6 Schema transducent

Een transducent zet de informatie om van het ene naar het andere fysische domein door de signalen uit die domeinen op elkaar af te beelden. De omzetting dient zodanig te geschieden dat de informatie, verpakt in het fysische verschijnsel, zoveel mogelijk behouden blijft. Er kan door vervorming van het signaal een deel van de informatie verloren gaan.

We geven nog enkele voorbeelden waarbij een signaal wordt omgezet van het ene naar het andere fysische domein met behulp van een transducent.

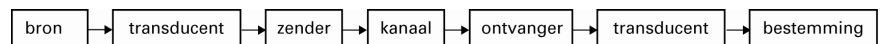
Voorbeelden van transducenten

- Onze ogen werken als transducenten. Het lichtsignaal (elektromagnetisch domein) dat in de ogen op het netvlies valt, wordt middels kleine orgaantjes (de kegeltjes en staafjes) omgezet in elektrische signalen (elektrisch domein) die via zenuwen bepaalde gebieden in de hersenen prikkelen. Die prikkeling ervaren wij als zien.
- Onze oren werken als transducenten. Het geluid (luchtdrukvariaties) dat via de oren opgevangen wordt, wordt via een ingenieus systeem van botjes, vloeistof en haartjes omgezet in trillingen van die haartjes (mechanisch domein). De trilling van die haartjes wordt weer omgezet in elektrische signalen (elektrisch domein) die via de zenuwen bepaalde gebieden van de hersenen prikkelen. Die prikkeling ervaren wij als horen.
- In een digitale (video)camera worden lichtsignalen (elektromagnetisch domein) omgezet in elektrische signalen (elektrisch domein), waarmee de beeldinformatie verzonden en opgeslagen kan worden. Deze omzetting, ook wel het foto-elektronisch effect genoemd, vindt plaats in een fotocel.
- Als laatste noemen we nog de LED (light emitting diode) waarmee elektrische signalen omgezet kunnen worden in lichtsignalen die vervolgens getransporteerd kunnen worden door een glasvezel. Een fotocel aan de andere kant van de glasvezel is dan weer in staat om het lichtsignaal om te zetten in een elektrisch signaal. LED's worden veel toegepast in de communicatietechnologie, waarbij informatie door middel van lichtsignalen door glasvezels worden getransporteerd.

#### OPGAVE 6.6

Bedenk zelf nog enkele voorbeelden uit uw dagelijkse praktijk waarbij signaalomzetting plaatsvindt.

De plaats van de transducent in het communicatiemodel is in ieder geval na de bron en meestal voor de terugvertaling ook voor de bestemming (zie figuur 6.7).



FIGUUR 6.7 De transducent geplaatst in het communicatiemodel

Behalve bij de bron en de bestemming worden signalen in communicatienetwerken veelvuldig omgezet van het ene naar het andere fysische domein. Dat heeft alles te maken met de technische eigenschappen en kostenaspecten van signaal-medium-combinaties.

#### Voorbeeld

Bij een telefoongesprek over het huidige telefoonnet neemt de informatie diverse signaalvormen aan: vanaf de stembanden is de informatie verpakt in luchttrillingen. Door de microfoon in de telefoon wordt de informatie omgezet in een elektrisch signaal dat over de koperdraden naar de telefooncentrale wordt getransporteerd. Het gaat daarbij meestal om een afstand van maximaal twee kilometer. Bij mobiele telefonie wordt het elektrisch signaal omgezet in een signaal dat door de atmosfeer naar een antenne wordt getransporteerd. Het netwerk tussen de centrales, waarbij de afstanden groot zijn, bestaat uit glasvezels en straalzenders. Hiertoe worden de elektrische signalen omgezet in licht- en radiosignalen. Glasvezeltechniek en radioverbindingen zijn geschikt voor het overbruggen van grote

afstanden en waren tot voor kort pas rendabel bij intensief gebruik. Nu de prijzen van deze technologieën dalen, worden glasvezels en radioverbindingen steeds vaker ingezet, ook bij minder intensief gebruik en korte afstanden.

Voordat het signaal de bestemming bereikt, wordt het weer omgezet in een elektrisch signaal. Bij de bestemming wordt het elektrische signaal door de luidspreker in de telefoon weer omgezet in luchtrillingen in de vorm van interpreteerbaar stemgeluid.

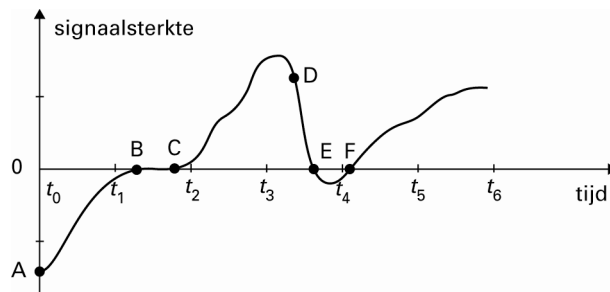
### 3 Continue en discrete signalen

In de vorige paragraaf zijn we ingegaan op het fysische domein waarin een signaal zich bevindt, en de omzetting van het ene naar het andere fysische domein door middel van transducenten. Een ander aspect van een signaal is of het continu of discreet van vorm is.

Eerst beschrijven we globaal wat continue en discrete signalen zijn, waarna we vervolgens in twee aparte paragrafen dieper ingaan op beide vormen. Centraal staat daarbij de vraag *hoe* de informatie in een signaal is ondergebracht. In de laatste paragraaf laten we dit hele proces van informatie in een signaal onderbrengen nog eens zien.

Signaalsterkte of amplitude

Figuur 6.8 geeft een voorbeeld van een continu signaal in grafiekvorm. In deze grafiek wordt *de signaalsterkte* (de *amplitude*) als functie van de tijd weergegeven. Langs de horizontale as (de x-as) staat dan de tijd en langs de verticale as (de y-as) de signaalsterkte.



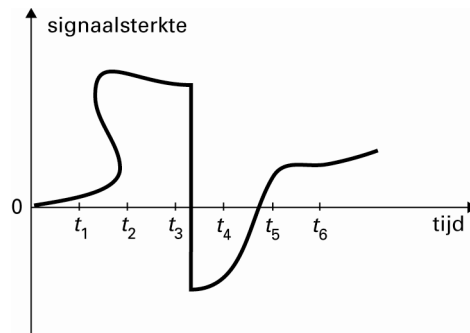
FIGUUR 6.8 Grafiek van een continu signaal

Equidistant

Het signaal in figuur 6.8 zou een temperatuurverloop kunnen voorstellen. In de grafiek neemt de tijd van links naar rechts toe. Dat betekent dat punt E later optreedt dan punt D, en punt D later dan punt C, enzovoorts. Op de tijdas staan de tijdstippen  $t_0$  tot en met  $t_6$ . Deze tijdstippen hebben een gelijke afstand tot elkaar: ze zijn *equidistant*. Als een signaal aanwezig is, heeft het op elk moment precies één waarde. (NB: wiskundig gezien is een continu signaal een functie.)

#### OPGAVE 6.7

Wat is er allemaal mis met het praktisch onmogelijke continue signaal uit figuur 6.9?



FIGUUR 6.9 Continu signaal?

*Tijdscontinu*

*Amplitudecontinu*

Het wel of niet continu zijn, geldt zowel voor het tijdsaspect van een signaal als voor de amplitude van een signaal. Als een signaal gedefinieerd is voor alle tijdstippen die behoren tot een bepaald tijdsinterval, dan spreekt men van een op dat interval *tijdscontinu* signaal. Als de signaalgrootte (amplitude) alle waarden in een bepaald interval kan aannemen, spreekt men van een *amplitudecontinu* signaal. Het signaal in figuur 6.8 is zowel tijdscontinu als amplitudecontinu, want op elk tijdstip binnen het tijdsinterval  $t_0$  t/m  $t_6$  heeft het signaal een signaalwaarde, terwijl binnen bepaalde grenzen ook alle signaalwaarden mogelijk zijn.

*Analoog signaal*

Vrijwel alle signalen die ontstaan tijdens macroscopische fysische processen, zoals bijvoorbeeld het trillen van een snaar, zijn zowel continu in tijd als in amplitude. Geluidssignalen bijvoorbeeld kennen oneindig veel combinaties van geluidssterktes en toonhoogten, lichtsignalen kennen oneindig veel kleuren en lichtintensiteiten. Continue signalen die in samenhang verlopen met dergelijke processen, noemen we *analoge signalen*.

*Discreet signaal*

Drie soorten discrete signalen

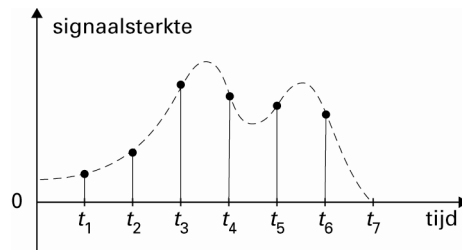
Een traditioneel apparaat als de kwikthermometer geeft een analog signaal af. De lengte van de kwikkolom heeft altijd (tijdscontinu) een bepaalde afmeting (amplitudecontinu).

Naast continue signalen zijn er *discrete signalen*. Een signaal kan zowel in tijd als in amplitude discreet zijn. Hiermee bestaan er drie soorten discrete signalen:

- een tijdsdiscreet en amplitudecontinu signaal
- een tijdscontinu en amplitudediscreet signaal
- een tijdsdiscreet en amplitudediscreet signaal.

*Tijdsdiscreet en amplitudecontinu signaal*

Als eerste kijken we naar een tijdsdiscreet en amplitudecontinu signaal (zie figuur 6.10). Zo'n signaal heeft op een eindig aantal tijdstippen een waarde uit een continu bereik. In figuur 6.10 zijn deze waarden voor de signaalsterkte weergegeven door de stippen.



FIGUUR 6.10 Een tijdsdiscreet en amplitudecontinu signaal

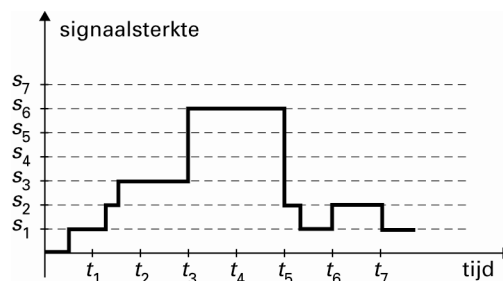
Bemonsteren

Voorbeelden van zulke signalen komen we tegen bij signalen waarvan slechts op vaste tijdstippen de waarde bepaald wordt. Bijvoorbeeld de hoogte van waterstand op elk heel uur gemeten. Of de temperatuur van een proces elke seconde gemeten. We noemen dit op bepaalde tijdstippen vastleggen van een waarde ook wel *bemonsteren* van het continue signaal. Na bemonstering beschikken we over het signaal dat discreet is in tijd, maar continu is in amplitude, want het kan elke willekeurige waarde hebben, binnen bepaalde grenzen.

Een voorbeeld van zo'n signaal komen we tegen bij de omzetting van tijds- en amplitudecontinue naar tijds- en amplitudediscrete signalen: de zogenaamde *analoog-naar-digitaalomzetting*. Een stap tijdens dit omzettingsproces is het bemonsteren van het continue signaal (de gestippelde lijn in figuur 6.10), waarbij op vaste tijdstippen de amplitude van het signaal wordt vastgesteld. Na bemonstering beschikken we over een signaal dat discreet is in tijd, maar continu is in amplitude: het zogenaamde '*sampled data signal*'. Na deze stap wordt bij een analoog-naar-digitaalomzetting het signaal ook in amplitude discreet gemaakt. Dit zal hierna behandeld worden.

Tijdscontinu en amplitudediscreet signaal

In plaats van de tijd kunnen we ook alleen de amplitude discretiseren: slechts een eindig aantal waarden is mogelijk binnen een bepaald interval. Dit signaaltype komt bijvoorbeeld in de procestechniek voor: bijvoorbeeld de stand van een klep, waarbij het aantal standen van de klep beperkt is, maar wel op elk moment kan veranderen. In een grafiek zou dit er uit kunnen zien als in figuur 6.11. De signaalsterkte kan alleen de waarden  $s_0, s_1, \dots, s_7$  aannemen. Tusseliggende waarden zijn niet mogelijk.



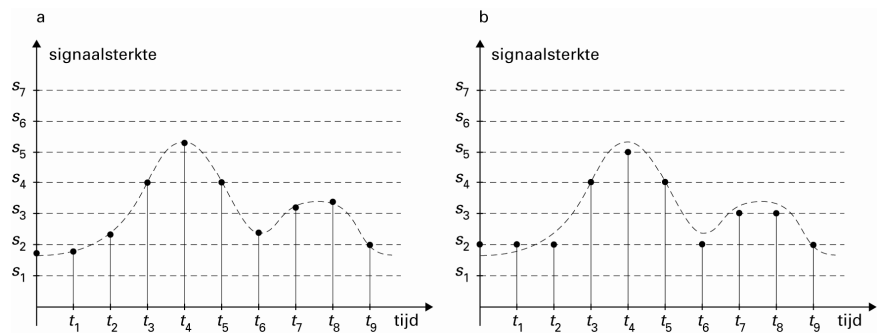
FIGUUR 6.11 Een tijdscontinu en amplitudediscreet signaal

Een ander voorbeeld is de digitale koortsthermometer met aflezing in tiende graden. Als de temperatuur van 37,1 °C naar 37,3 °C stijgt, dan is er een moment waarop de tussentemperatuur van 37,2 °C wordt gerepresenteerd. Waarden tussen de 37,1 °C en de 37,2 °C worden echter

Tijds- en  
amplitudediscreet  
signaal

niet gerepresenteerd. Men spreekt in dit geval van een digitale koortsthermometer, omdat de temperatuur in cijfers wordt weergegeven op een display. Volgens de definitie die we hierna geven over digitale signalen, is de benaming ‘digitaal’ echter niet helemaal terecht!

Als laatste kan een signaal zowel tijds- als amplitudediscreet zijn. Zoals eerder is gezegd, kan dit een signaal zijn na een *bijna* volledige analoog-naar-digitaalomzetting. Het woord ‘bijna’ maken we nu duidelijk. De eerste stap uit het proces waarbij analoge in digitale signalen worden omgezet, levert het ‘sampled data signal’ op (zie figuur 6.12a). Dit signaal wordt vervolgens ook in amplitude discreet gemaakt: het signaal mag in amplitude een beperkt aantal waarden aannemen. We gaan, zoals figuur 6.12a aangeeft, uit van acht gelijkmatig verdeelde signaalwaarden ( $s_0$  t/m  $s_7$ ). Aan elke continue signaalwaarde wordt de dichtstbijzijnde discrete signaalwaarde toegekend, zodat het tijdsdiscrete en amplitudediscrete signaal er uitziet zoals in figuur 6.12b.



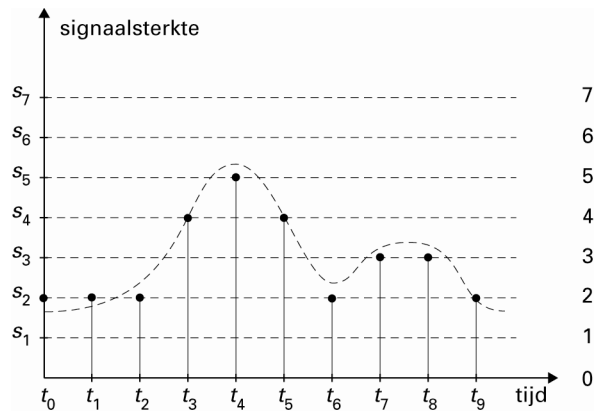
FIGUUR 6.12 a Het ‘sampled data signal’  
b Het tijds- en amplitudediscrete signaal

Als voorbeeld nemen we nogmaals de temperatuur, maar nu niet afgelezen op een ‘digitale’ koortsthermometer, maar zoals die wordt weergegeven op teletekst. Op teletekst wordt elke twee uur een nieuw overzicht gegeven van de actuele temperatuur op diverse plaatsen in Nederland. Omdat de temperatuur op discrete momenten wordt gesampled, kan de temperatuur bijvoorbeeld in Maastricht van 23,3 °C naar 25,2 °C ‘springen’.

Digitaliseren

Een tijdsdiscreet en amplitudediscreet signaal is echter nog geen digitaal signaal. De laatste stap in een volledige analoog-naar-digitaalomzetting is het toekennen van een geheel getal aan elke signaalwaarde. Deze laatste stap wordt *digitaliseren* genoemd. Aan elke signaalwaarde wordt nu een getal toegekend. In de praktijk wordt hiervoor meestal een positief getal genomen. In figuur 6.13 is deze toekenning van getallen aan de rechterkant weergegeven. Het digitale signaal representeert hiermee, in volgorde van tijd, de getallen 2, 2, 2, 4, 5, 4, 2, 3, 3 en 2.





FIGUUR 6.13 Digitaliseren van een signaal

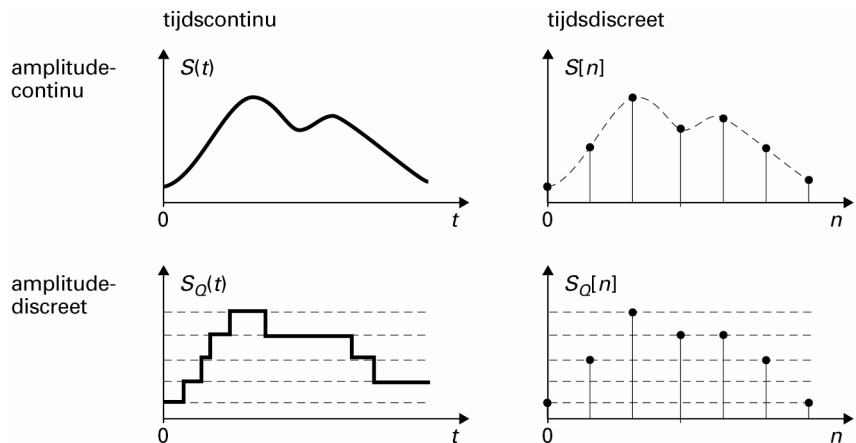
Het woord 'digitaal' komt van het Latijnse woord digitus, dat vinger betekent. Digitaal betekent eigenlijk 'op de vingers betrekking hebbend'. Vandaar is het 'op de vingers tellend' geworden, om vervolgens de betekenis 'numeriek' (uitgedrukt in cijfers) te krijgen. Zo geeft een digitale thermometer de temperatuur door middel van een eindige set getallen weer.

Leestekst

De termen 'analoog/digitaal' en 'continu/discreet' komen voort uit verschillende vakgebieden. De termen analoog en digitaal worden vooral gebruikt binnen de vakgebieden elektrotechniek en fysica. De termen continu en discreet komen voort uit de wiskunde. Communicatietechnologie als vakgebied gebruikt veel van de resultaten uit de elektrotechniek, fysica en wiskunde. Als zodanig worden de termen naast elkaar, maar ook door elkaar gebruikt.

Samenvatting

Langs de tijdsas kan zowel een continue variabele  $t$  staan, die elke willekeurige reële waarde kan aannemen, als een discrete variabele  $n$  (een geheel getal) overeenkomend met  $n$  maal een gekozen tijdsinterval. Daarnaast kunnen we onderscheid maken tussen signalen met een continue amplitude, die elke waarde (tussen twee uitersten) kan aannemen, en signalen met een discrete amplitude, die slechts een begrensd aantal verschillende waarden kan aannemen. Op basis hiervan onderscheiden we vier typen signalen die we schematisch in figuur 6.14 nog eens weergeven.



FIGUUR 6.14 Vier typen signalen

Geven we een signaal met continue amplitude aan met  $S$  en een signaal met discrete amplitude met  $S_Q$ , dan zijn de vier soorten signalen:  $S(t)$ ,  $S[n]$ ,  $S_Q(t)$  en  $S_Q[n]$ . Deze notatie wordt onder andere in de Nederlandse literatuur gebruikt. Andere notaties zijn er echter ook.

De tijdscontinue en tijdsdiscrete signalen zijn vroeger altijd als twee gescheiden werelden behandeld. Dat veranderde in 1946, toen Shannon zijn beroemde bemonsteringstheorie introduceerde. Daaruit bleek dat elk tijds- en amplitudecontinu signaal  $S(t)$ , onder bepaalde voorwaarden, zonder merkbaar verlies van informatie voorgesteld kan worden als een reeks van monsters  $S_Q[n]$ . Hier komen we in de afsluitende leereenheid 7 op terug.

Hoewel digitale signalen meer en meer worden toegepast, zijn analoge signalen zeker niet onbelangrijk geworden: de macrofysische wereld, de wereld zoals wij die om ons heen ervaren, brengt immers alleen continue signalen voort. Gelet op kwaliteits- en kostenaspecten echter, zijn digitale signalen voor transport en verwerking meestal beter geschikt. Het detecteren en corrigeren van fouten is in het algemeen eenvoudiger en gedigitaliseerde informatie kan op efficiënte wijze opgeslagen worden.

OPGAVE 6.8

Welke soorten signalen kent u nu en hoe zijn ze in te delen?

In de volgende twee paragrafen gaan we dieper in op het beschrijven van continue signalen en tijds- en amplitudediscrete signalen.

3.1 CONTINUE SIGNALLEN

Nu we weten welke vier soorten signalen er zijn, gaan we in op hoe deze signalen beschreven kunnen worden en vragen we ons af hoe de informatie hierin kan worden ondergebracht.

De continue signalen bestuderen we aan de hand van een voorbeeld. In gedachten gooien we een steen in het water en zien vervolgens een golfpatroon aan het wateroppervlak. Hierbij hebben we een medium, het water, en een signaal, de golven, waarmee we informatie kunnen overbrengen. Geen golven zou 'alles oké' kunnen betekenen. Gooien we

een steen in het water, dan krijgen we golven, wat 'er dreigt gevaar' zou kunnen betekenen.

OPGAVE 6.9

- a Welke tekens worden in dit voorbeeld gebruikt?
- b Kunt u een voorbeeld geven van een regel die tijdens deze methode van communicatie gebruikt moet worden?

De golven aan het wateroppervlak zijn zowel tijds- als amplitudecontinu. Vraag is hoe de informatie (gevaar) overgebracht wordt door deze watergolven.

Om te begrijpen hoe de informatie wordt overgebracht, stellen we het water voor als een stapeling van kleine waterdeeltjes. Gooien we een steen in het water, dan drukt de steen de waterdeeltjes onder zich naar beneden. De bewegingsenergie van de vallende steen wordt overgedragen op de waterdeeltjes, die daarmee in verticale richting beginnen te *trillen*. Zie hiervoor figuur 6.15, waarin de pijlen de bewegingsrichting van een waterdeeltje weergeven.

Overdragen van energie



FIGUUR 6.15 Een verticale trilling van een waterdeeltje

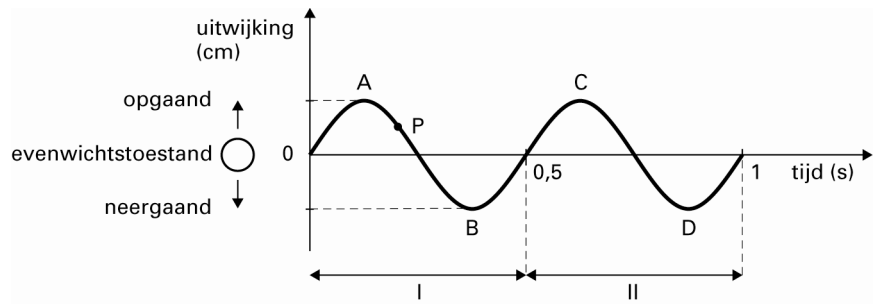
Aan de hand van dit voorbeeld kunnen we nu uitleggen wat trillingen en golven zijn en op welke wijze informatie wordt getransporteerd. Met deze kennis zijn we ook in staat te begrijpen hoe informatie door middel van bijvoorbeeld licht, geluidsgolven of elektrische golven wordt getransporteerd.

Drie begrippen staan hierbij centraal, te weten de amplitude, fase en frequentie van trillingen en golven. Deze begrippen hebben we in leereenheid 7 hard nodig, waar we de bandbreedte van een signaal en een kanaal en het modulatieproces gaan bekijken.

*Trillingen*

Kijken we nog eens naar figuur 6.15, dan zien we dat het waterdeeltje uit een evenwichtstoestand raakt en begint te trillen, dat wil zeggen: het deeltje beweegt periodiek naar beneden en naar boven. Als we deze beweging uitzetten tegen de tijd, verkrijgen we een *uitwijking-tijd-diagram* zoals getoond in figuur 6.16.

Uitwijking-tijd-diagram



FIGUUR 6.16 Een trilling als functie van de tijd (het uitwijking-tijd-diagram)

Voorbeeld

Om het verschil tussen een trilling en een uitwijking-tijd-diagram te begrijpen, kunt u het volgende doen. Houd een pen op een stuk papier en beweeg de pen in het horizontale vlak heen en weer. U krijgt dan alleen een lijn op het papier te zien. De punt van de pen is te beschouwen als een deeltje dat een trilling uitvoert. Pak vervolgens met uw andere hand het papier vast en trek het papier, terwijl u nog steeds de pen heen en weer beweegt, langzaam loodrecht op de beweging van de pen naar links weg. U verkrijgt dan iets dat lijkt op figuur 6.16. Er is hier sprake van slechts één trillend deeltje (de penpunt) en de figuur geeft de uitwijking van dit deeltje als functie van de tijd weer.

Bij een trilling is sprake van een heen- en weergaande, of op- en neergaande, beweging om een evenwichtstoestand. In figuur 6.16 is de evenwichtstoestand aangegeven door de horizontale lijn (de tijd-as). De beweging herhaalt zich steeds in opeenvolgende even grote tijdsduren. Anders gezegd: de beweging is *periodiek*.

Periodiek

Trilling

Definitie trilling

Een *trilling* is een periodieke beweging om een evenwichtstoestand.

Omkeerpunt  
Trillingstijd of periode ( $T$ )

Wanneer het waterdeeltje een volledige op- en neergaande beweging heeft uitgevoerd, zeggen we dat dit deeltje één hele trilling heeft uitgevoerd. In figuur 6.16 heeft het deeltje twee trillingen uitgevoerd (I en II). De punten A, B, C en D zijn de *omkeerpunten*.

De tijdsduur waarin één trilling wordt uitgevoerd, wordt de *trillingstijd* ofwel de *periode* genoemd. Het symbool hiervoor is  $T$ .

In figuur 6.16 is de trillingstijd 0,5 seconde. In 0,5 seconde wordt één hele trilling uitgevoerd. We zeggen dan dat de frequentie 2 hertz bedraagt, ofwel 2 hele trillingen per seconde. In symbolen:  $f = 2 \text{ Hz}$ .

Frequentie ( $f$ )

Uit dit voorbeeld zien we dat *frequentie* en *trillingstijd* het omgekeerde van elkaar zijn. Er geldt dus

$$f = 1/T$$

Samenvatting

Samenvattend

- 1 De trillingstijd of periode ( $T$ ) is de tijdsduur waarin één (volledige) trilling wordt uitgevoerd.
- 2 De frequentie ( $f$ ) is het aantal trillingen dat per seconde wordt uitgevoerd. De frequentie wordt uitgedrukt in hertz (Hz).
- 3 Tussen de frequentie en de trillingstijd bestaat het verband:  $f = 1/T$ .

*Uitwijking ( $u(t)$ )*  
*Amplitude ( $A$ )*

Kijkend naar figuur 6.16 kunnen we een trilling ook als volgt karakteriseren. Punt P geeft op een zeker tijdstip de plaats aan van het in verticale richting trillende deeltje. De afstand van de evenwichtstoestand tot het punt P wordt de *uitwijking* van het deeltje genoemd. We geven dit weer met de letter  $u$ . De uitwijking is een functie van de tijd, dus we noteren:  $u(t)$ . De uitwijking kan positief (naar boven) en negatief (naar beneden) ten opzichte van de evenwichtstoestand zijn. De maximale uitwijking noemen we de *amplitude*. We geven dit weer met de letter  $A$ , waaraan uitsluitend positieve waarden worden toegekend. Als de trilling varieert tussen  $-2$  en  $+2$  cm ten opzichte van de evenwichtstoestand, dan is de amplitude  $A = |u_{\text{maximaal}}| = 2$  cm.

*Fase ( $\varphi$ )*

Als laatste noemen we de *fase* van een trillend deeltje. De fase van een trillend deeltje geeft aan in welk stadium van de periodieke beweging het deeltje zich bevindt. Stel dat een waterdeeltje op tijdstip  $t = 0$  s eerst in positieve richting begint te trillen. In *positieve richting* is bij afspraak naar boven. Na 5 seconden vragen we ons af in welk stadium het deeltje van de periodieke beweging is. Zonder extra gegevens kunnen we daar niets over zeggen. Is echter de trillingstijd  $T$  bekend (stel  $T = 4$  s), dan is uit te rekenen hoeveel hele trillingen het deeltje vanaf  $t = 0$  s heeft uitgevoerd, namelijk  $5/4 = 1\frac{1}{4}$  trilling. Nu weten we dat het deeltje zich in de hoogste uiterste stand bevindt (ga dat na!). Het getal  $1\frac{1}{4}$  noemen we de fase van een trillend deeltje en geven we aan met het symbool  $\varphi$  (spreek uit: fi). De fase is afhankelijk van de tijd die een deeltje nodig heeft voor het doorlopen van een volledige trilling ( $T$ ) en de tijd die het deeltje trilt ( $t$ ). Trilt hetzelfde deeltje zeven seconden in plaats van 5 seconden, dan is de fase  $\varphi = 7/4$ . Het bevindt zich dan in de uiterste laagste stand (ga dat na).

Samenvatting

Samenvattend

- 1 De uitwijking  $u(t)$  is de afstand tot de evenwichtstoestand op tijdstip  $t$ . De uitwijking kan positief of negatief zijn.
- 2 De amplitude  $A$  is de maximale uitwijking, met  $A = |u_{\text{max}}|$ .
- 3 De fase van een trillend deeltje met trillingstijd  $T$  is op tijdstip  $t$  gelijk aan  $\varphi = t/T$ .

*Golven*

Belangrijk is te beseffen dat de 'golf' uit figuur 6.16 misschien wel lijkt op de golf die we zien als we een steen in het water gooien, maar principieel op een andere manier is ontstaan. In figuur 6.16, een uitwijking-tijd-diagram, is de golf de beweging in verticale richting van slechts één deeltje uitgezet tegen de tijd. Bij de golf in het water is het de beweging van vele deeltjes. Als de golf in het water zich in horizontale richting niet zou voortplanten, dan zouden we alleen op de plaats waar de steen het water raakt, de waterdeeltjes zien trillen. In feite staat in figuur 6.16 vele malen dezelfde gebeurtenis.

In de vijver zien wij daarentegen vele gebeurtenissen, het trillen van veel deeltjes tegelijkertijd. Terwijl waterdeeltjes op de ene plaats omhoog gaan, gaan ze op een andere plaats omlaag. Het totaal van al die bewegingen vormt een golfverschijnsel.

Voorbeeld

Een voorbeeld van een golf kennen we uit de sportwereld: 'de wave', waarbij supporters die op de tribune zitten, een golfpatroon laten ontstaan door zelf als 'verticaal trillend deeltje' op te treden. De

supporters in één verticale rij, van boven naar beneden op de tribune, staan gelijktijdig juichend op. Vervolgens staan steeds iets later de directe burens van deze supporters op. Deze burens voeren dus steeds iets later dezelfde trilling uit, waardoor het bekende golfpatroon ontstaat. De trilling wordt, als het ware, doorgegeven aan de buur. Op het moment dat een persoon net weer zit, zijn ondertussen al verschillende personen bezig met opstaan en weer gaan zitten.

De watergolf ontstaat op dezelfde manier. Een in verticale richting trillend waterdeeltje neemt door de onderlinge zwakke binding (adhesie) een naburig waterdeeltje mee in de beweging. Door de zwakke binding, vergelijkbaar met een elastiekje, komt het naburige waterdeeltje iets later op gang. Zo beginnen steeds de buurdeeltjes, een fractie later, ook te trillen, waardoor het golfpatroon in horizontale richting aan het wateroppervlak ontstaat. Er zijn dus veel deeltjes tegelijk bezig in een steeds in fase iets verschoven trilling.

*Golf*

Definitie golf

Een *golf* is het voortplanten van een trilling door een medium.

Ook golven kunnen we, net als trillingen, precies karakteriseren. We noemen hier twee karakteristieken: de golflengte en het faseverschil.

*Golflengte ( $\lambda$ )*

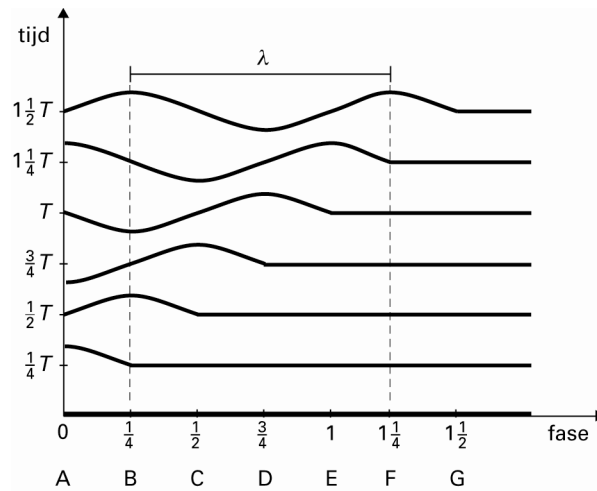
De *golflengte* is de afstand tussen twee verschillende trillende deeltjes waarvan het verschil in fase 1 is. Met andere woorden: als deeltje P precies één volledige trillingsperiode meer afgelegd heeft dan deeltje Q, is de afstand tussen deeltje P en Q één golflengte. De golflengte wordt vaak weergegeven met het symbool  $\lambda$  (spreek uit: la(m)bda).

Denk hierbij aan een koord dat met één uiteinde vastzit en waarvan u het andere uiteinde in trilling brengt.

In figuur 6.17 stellen de horizontale lijnen hetzelfde koord voor, alleen een moment later in de tijd. Deeltje A, het linker uiteinde van het koord, begint op  $t = 0$  te trillen. Het duurt  $\frac{1}{4}$  trillingstijd voordat deeltje B gaat trillen, een  $\frac{1}{2}$  trillingstijd voordat deeltje C gaat trillen, enzovoorts. Na één trillingstijd ( $T$ ) gaat deeltje E meetrillen. Deeltjes A en E hebben dan hetzelfde stadium in de trillingsbeweging: ze gaan beide gelijk omhoog en naar beneden, ze trillen in fase. De golflengte is de afstand tussen deze twee deeltjes. Te zien is dat tussen twee trillende deeltjes die op één golflengte afstand van elkaar liggen, het verschil in fase steeds precies 1 is.

1 nano =  $10^{-9}$

In het geval van 'de wave' gaat het om meters, bij ons voorbeeld waarbij een steen in het water wordt gegooid om watergolven met een golflengte van centimeters en in het geval van lichtgolven om nanometers.



FIGUUR 6.17 Het begrip golflengte grafisch weergegeven

Golfsnelheid of voortplantingssnelheid ( $v$ )

De golflengte hangt af van de *golfsnelheid* waarmee de trilling zich voortplant door het medium en de trillingstijd. De golfsnelheid wordt ook wel de *voortplantingssnelheid* genoemd. Geven we de golfsnelheid aan met  $v$ , dan geldt dat  $\lambda = v \cdot T$ .

Laten we uitgaan van een verticale trilling met  $T = 2$  s (elke 2 seconde wordt er één verticale trilling uitgevoerd) en een golfsnelheid van 3 cm/s naar rechts (de trilling wordt met een snelheid van 3 cm/s naar rechts doorgegeven). Na 2 seconden is er precies een hele trillingsbeweging uitgevoerd. In deze 2 seconden heeft de trilling elke seconde 3 cm naar rechts afgelegd: totaal dus 6 cm. De golflengte ( $\lambda$ ) is daarom gelijk aan 6 cm.

Naarmate de trillende deeltjes de trilling moeizamer door kunnen geven, vertraagt dat de golfsnelheid. De golfsnelheid is afhankelijk van de fysische eigenschappen van het medium waarin een golf zich voortplant. Daardoor is ook de golflengte, bij gelijkblijvende trillingstijd, afhankelijk van het medium. Het moeizame doorgeven (verlies van bewegingsenergie) veroorzaakt ook snellere uitdemping van de trilling, de golf komt dan minder ver.

We veronderstellen even geen demping en vervolgen ons voorbeeld: stel de golfsnelheid is niet 3 cm/s maar 2 cm/s. Dan is de golflengte gelijk aan 4 cm. Vergroten we daarentegen de trillingstijd, het duurt langer voordat een hele trillingsbeweging is uitgevoerd, dan neemt de golflengte ook toe. Stel de trillingstijd is 3 in plaats van 2 seconden. De golflengte wordt daarmee 3 s maal 3 cm/s is 9 cm.

Faseverschil ( $\Delta\varphi$ )

Nu gaan we in op de tweede karakteristiek van een golf: het *faseverschil* tussen twee trillende deeltjes in een golf.

De fase van één trillend deeltje ( $\varphi = t/T$ ) geeft aan hoeveel trillingen een deeltje al heeft uitgevoerd sinds het begon te trillen ( $t = 0$ ). Als een deeltje 10 s aan het trillen is ( $t = 10$  s) en de trillingstijd  $T$  is 4 s, dan heeft dat deeltje  $10/4 = 2,5$  trilling uitgevoerd.

Hiermee kunnen we twee afzonderlijke deeltjes in een golf met elkaar vergelijken. We hebben het dan over het faseverschil tussen twee trillende deeltjes: hoeveel trillingen heeft het ene meer uitgevoerd dan het andere of anders geformuleerd, hoeveel ligt het ene deeltje in fase

voor ten opzichte van het andere deeltje. We weten uit de definitie van golflengte dat deze overeen komt met een afstand tussen twee deeltjes die een faseverschil 1 hebben. Is de afstand twee golflengtes, dan is het faseverschil twee, enzovoorts. Is de afstand een halve golflengte, dan is daarmee het faseverschil 0,5, dat wil zeggen dat het ene deeltje een halve trilling minder ver is dan het andere deeltje. Noemen we de afstand tussen twee deeltjes  $s$ , dan geldt voor het faseverschil:  $\Delta\varphi = s/\lambda$ .

Voorbeeld

We geven nog een voorbeeld. De afstand tussen twee trillende deeltjes A en B is 12 cm. De golf verplaatst zich van A naar B. De golflengte is gelijk aan 5 cm. Daarmee is het faseverschil

$$\Delta\varphi = \frac{s}{\lambda} = \frac{12}{5} = 2\frac{2}{5}$$

Deeltje A ligt daarmee 2,4 trillingen voor op deeltje B.

Samenvatting

Samenvattend

- De *golflengte* komt overeen met de afstand tussen twee verschillende trillende deeltjes waarvan het verschil in fase 1 is. Met andere woorden: als deeltje P precies één volledige trillingsperiode ( $T$ ) vooroploopt op deeltje Q, dan is de afstand tussen deeltje P en Q één golflengte. De golflengte wordt vaak weergegeven met het symbool  $\lambda$ .
- De golflengte hangt af van de *golfsnelheid* waarmee de trilling zich voortplant door het medium en de trillingstijd. Geven we de golfsnelheid aan met  $v$ , dan geldt dat  $\lambda = v \cdot T$ .
- Noemen we de afstand tussen twee trillende deeltjes  $s$ , dan geldt voor het *faseverschil* ( $\Delta\varphi$ ) tussen deze twee deeltjes:  $\Delta\varphi = s/\lambda$ .

OPGAVE 6.10

Leg in eigen bewoordingen uit wat het verschil is tussen een trilling en een golf.

Terug naar de vraag: 'hoe is informatie ondergebracht in een signaal?'

*Hoe informatie in een signaal is ondergebracht*

Nu we weten wat trillingen en golven zijn, kunnen we ons afvragen hoe de informatie die we willen overdragen, namelijk 'gevaar', ondergebracht is in de watergolven. De informatie wordt gerepresenteerd door de trillende waterdeeltjes (de trilling). De golf ontstaat doordat de trillingenergie van deeltje op deeltje wordt doorgegeven: het voortplanten van trilling door het water. De golf is in dit geval het transporteren van de informatie in de vorm van een trilling van het medium. Het golvende water noemen we het signaal. De trilling is de informatie. Dit geldt algemeen: ook bijvoorbeeld bij geluids- en lichtsignalen bevat de trilling de informatie en verzorgt de golf het transport.

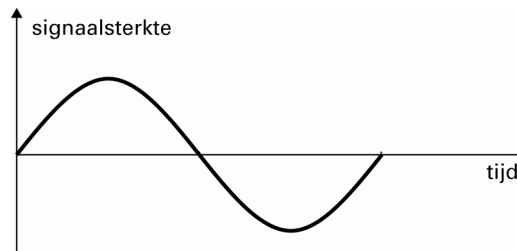
*De sinusfunctie*

We gaan nu een trillingsvorm wat nader beschouwen. Het bewegen van de pen boven het papier was redelijk willekeurig. De snelheid omhoog neemt toe tot een bepaalde hoogte en neemt daarna weer af, keert van richting om en neemt weer toe en weer af tot aan het onderste punt en keert daar weer om van richting, enzovoorts. Een bijzondere trillingsvorm is de *sinusvormige trilling*. Bij de sinusvormige trilling is precies wiskundig vastgelegd welke beweging het trillende deeltje

*Sinusvormige trilling*

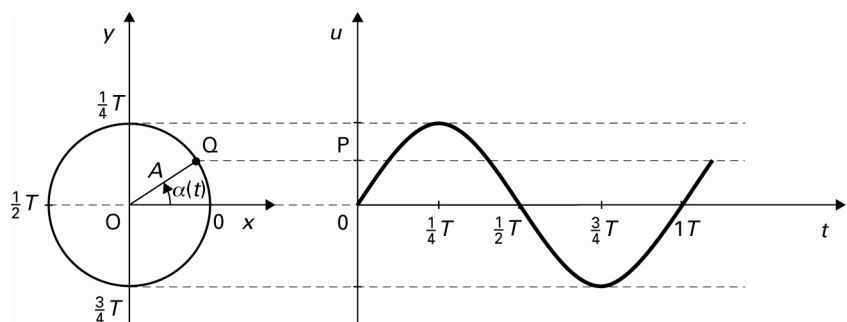


maakt. Het is dus een speciaal geval van de algemene trilling zoals we die hiervoor besproken hebben. Het is wel een vorm van trilling die fysisch gezien ook echt voorkomt. Denk bijvoorbeeld aan een massa die aan een veer hangt en uit evenwicht gebracht wordt. Al trillend zal deze massa geleidelijk aan weer tot rust komen. De trilling die deze massa uitvoert is sinusvormig. Figuur 6.18 geeft een voorbeeld van een sinusvormige golf ten gevolge van een sinusvormige trilling.



FIGUUR 6.18 De sinusvormige golf

Een sinusvormige trilling levert als functie van de tijd een *vloeiende* curve. We zullen nu deze trilling wiskundig beschrijven aan de hand van een vast punt Q op een wiel dat met constante hoeksnelheid tegen de richting van de klok in ronddraait (zie figuur 6.19). We beschouwen een trilling vanuit een vaste plaats, namelijk de oorsprong O in de x-y grafiek in figuur 6.19 dat overeenkomt met het middelpunt van het wiel. We maken een projectie van punt Q op de y-as. De projectie van punt Q op de y-as noemen we punt P. Punt P trilt dan periodiek in verticale richting en is afgeleid van een cirkelvormige beweging. Eenmaal ronddraaien komt overeen met een periode. Om te bepalen hoe de projectie van punt Q zich als functie van de tijd gedraagt, beschouwen we de afstand  $u(t)$  tussen punt P en de oorsprong O van de x-y grafiek. Lijnstuk OQ (met lengte  $A$  dat overeenkomt met de straal van het wiel) is de verbinding van het middelpunt met punt Q en  $\alpha(t)$  is de hoek tussen de x-as en OQ. De afstand  $u$  als functie van de tijd  $t$  is weergegeven in het rechterdeel van figuur 6.19.



FIGUUR 6.19 De constructie van een sinusvormige golf

Op de hoekfrequentie komen we straks terug.

Op tijdstip  $t = 0$  heeft OQ een hoek  $\alpha(0)$  met de x-as. Op  $t = 0$  geldt  $u(0) = A \sin \alpha(0)$ . Het wiel laten we vervolgens met constante hoeksnelheid  $\omega$  tegen de klok in draaien en beschouwen  $u(t)$ . Na  $t$  seconden geldt:

$$u(t) = A \sin(\alpha(t) + \alpha(0))$$

Omdat het wiel draait met een constante hoeksnelheid  $\omega$  uitgedrukt in rad/s, geldt:  $\alpha(t) = \omega t$ . Dit is vergelijkbaar met  $s(t) = vt$ , waarbij  $s(t)$  de afgelegde weg in  $t$  seconde en  $v$  een constante lineaire snelheid in m/s. De constante beginwaarde  $\alpha(0)$  noemen we de fasehoek  $\varphi_0$ . Ingevuld bij de vergelijking voor  $u(t)$  levert dit:

$$u(t) = A \sin(\omega t + \varphi_0)$$

Om deze trilling volledig te beschrijven, hebben we naast de sinusfunctie (uit de wiskunde) slechts drie eigenschappen nodig die we hiervoor al geïntroduceerd hebben: de *amplitude*, de *frequentie* en de *fase*.

Amplitude  $A$

– De *amplitude* ( $A$ ) is de maximaal mogelijke uitwijking en is een constante.

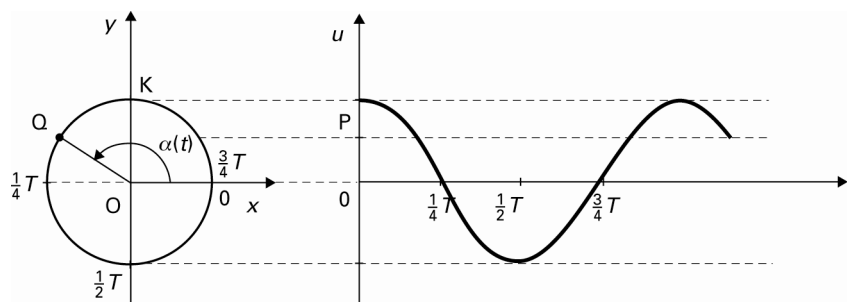
Hoekfrequentie  $\omega$

– De *hoekfrequentie* ( $\omega$ ) wordt uitgedrukt in radialen per seconde (rad/s). Een volle omwenteling beslaat  $2\pi$  radialen of 360 graden. Het verband tussen de gewone frequentie  $f$  (omwentelingen/seconde) en de hoekfrequentie  $\omega$  (rad/s) is dus  $\omega = 2\pi \cdot f$ . De hoekfrequentie wordt vooral gebruikt bij de sinusvormige trillingen, omdat die afgeleid zijn van rotaties. De dimensie van de hoekfrequentie  $\omega$  is formeel ‘per seconde’, hetzelfde geldt voor de frequentie  $f$ . Ze verschillen echter een factor  $2\pi$  in waarde. Beide mogen worden weergegeven in de eenheid Hz, wat formeel ook gelijk is aan ‘per seconde’. Draait het wiel één keer rond (360 graden =  $2\pi$  radialen) in 1 seconde ( $T = 1$  s), dan is de hoekfrequentie  $2\pi$  Hz en de frequentie is dan 1 Hz. Draait het wiel 90 graden (90 graden =  $\pi/2$  radialen = 0,25 omwenteling) in 2 s, dan is de hoekfrequentie  $\omega = (\pi/2)/2 = \frac{1}{4} \pi$  Hz en de frequentie  $f = 0,25/2 = \frac{1}{8}$  Hz.

Fasehoek  $\varphi$ , of de fase

– De *fasehoek* ( $\varphi_0$ ) geeft aan op welk punt Q lag toen de beweging begon ( $t = 0$  s ofwel):  $\alpha(0)$ . Omdat we een rotatie beschouwen, spreken we formeel over een fasehoek, maar dit wordt ook vaak kortweg de fase genoemd.

Als Q in figuur 6.20 begint bij 0, dan geldt  $\varphi_0 = 0$  graden. Begint deze bij punt K, dan geldt  $\varphi_0 = 90$  graden, enzovoorts. Figuur 6.20 toont een sinusgolf met een initiële fasehoek van 90 graden, Q is het punt waar het wiel tot stilstand is gekomen.



FIGUUR 6.20 Een sinusvormige golf met een fasehoek van 90 graden

OPGAVE 6.11

Van een sinusvormige functie  $y(t)$  is bekend dat de frequentie 250 Hz en de amplitude 3 cm bedraagt.

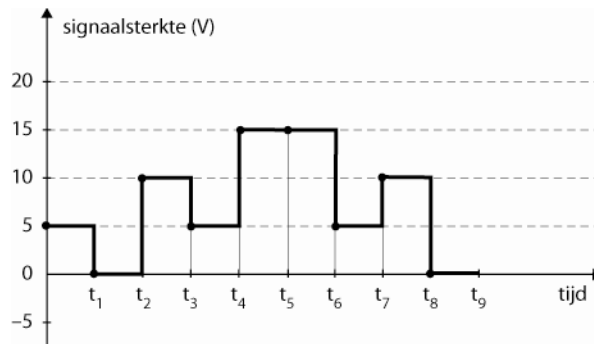
- Bereken de periode  $T$  en de hoekfrequentie  $\omega$  (rad/s).
- Geef een wiskundige formulering van  $y(t)$ .

- c Teken  $y(t)$  op het tijdsinterval dat loopt van 0 t/m  $12 \cdot 10^{-3}$  s.
- d Geef de wiskundige formulering van  $y(t)$  met initiële fasehoek 90 graden.
- e Teken  $y(t)$  op het tijdsinterval dat loopt van 0 t/m  $12 \cdot 10^{-3}$  s met initiële fasehoek 90 graden.

3.2 DISCRETE EN DIGITALE SIGNALLEN

We hebben gezien dat er drie soorten discrete signalen zijn. Van deze discrete signalen bespreken we hier de signalen die zowel in tijd als in amplitude discreet zijn. Figuur 6.21 geeft hiervan een voorbeeld, waarin de signaalsterkte in volt is weergegeven.

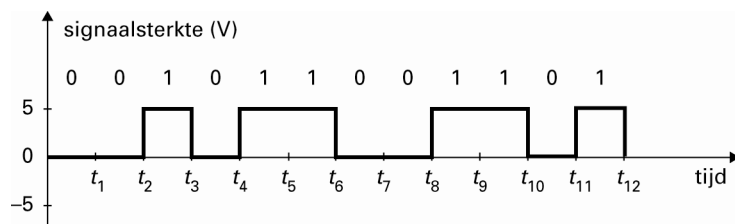
De stippen in de figuur geven de signaalsterkte aan op elk van de momenten. Bij voorbeeld op tijdstip  $t_0$  is de signaalsterkte 5 volt en deze wordt vanaf  $t_0$  tot  $t_1$  vastgehouden. Op  $t_1$  is de signaalsterkte 0 volt en deze wordt tot  $t_2$  vastgehouden.



FIGUUR 6.21 Een tijds- en amplitudediscreet signaal

*Binair signaal*

Een speciaal soort tijds- en amplitudediscreet signaal is het *binair signaal*, waarvan in figuur 6.22 een voorbeeld is gegeven. Bij een binair signaal zijn slechts twee signaalwaarden mogelijk. Aan de hand van het binaire signaal bespreken we enkele eigenschappen van de tijds- en amplitudediscrete signalen.



FIGUUR 6.22 Een binair signaal

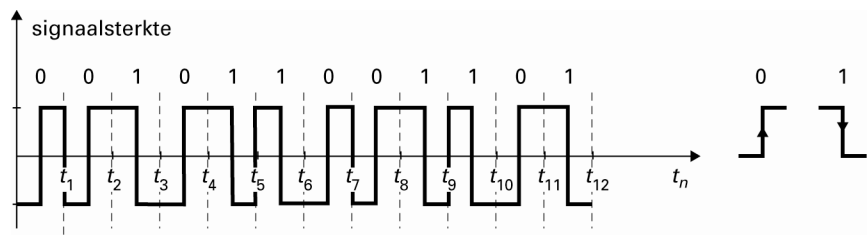
Het signaal in figuur 6.22 is discreet in amplitude, het kan een beperkt aantal waarden aannemen én het is discreet in de tijd, alleen op *equidistante* tijdstippen kan het signaal van waarde veranderen. Het bijzondere aan dit signaal is dat de amplitude slechts twee waarden kan aannemen. In dit voorbeeld alleen 0 en 5 volt.

*Signaalelement*

De tekens die gebruikt worden, bijvoorbeeld '0' en '1', beschrijven de mogelijke *signaalelementen* van een binair signaal. Een signaalelement is

Manchestercode

een elementair (ondeelbaar) signaal met een vast verloop in de tijd. Signaalelementen in een signaal worden zodanig vastgesteld dat een signaal uit ten minste twee verschillende signaalelementen bestaat. In ons voorbeeld van figuur 6.22 worden de signaalelementen gevormd door de constante signaalwaarden tussen de tijdstippen waarop het signaal kan veranderen (0 en 5 volt). Een ander voorbeeld is de zogenaamde 'Manchestercode', waarbij een '0' wordt voorgesteld door een signaalverandering van 'nul naar een', en een '1' door een signaalverandering van 'een naar nul'. Zie figuur 6.23 voor een voorbeeld van deze code.



FIGUUR 6.23 Voorbeeld manchestercode

OPGAVE 6.12

Waarom bestaat een zinvol signaal uit minstens twee signaalelementen?

De tekens die bij de overdracht van informatie worden gebruikt, worden gekoppeld aan de signaalelementen en deze combinatie mag vrij gekozen worden tussen bron en bestemming. Als er slechts twee tekens gebruikt worden (zeg '0' en '1'), dan kunnen deze direct aan de signaalelementen gekoppeld worden: bijvoorbeeld 0 volt staat voor een '0' en 5 volt staat voor een '1'. Andersom mag natuurlijk ook.

Houden we de eerste toewijzing aan, dan stelt het binaire signaal in figuur 6.22 de reeks '0', '0', '1', '0', '1', '1', '0', '0', '1', '1', '0' en '1' voor.

Bit

Afkorting van binary digit

Bij een binair signaal kan elk signaalelement slechts één van twee waarden aannemen. Als aan de signaalelementen een eigen teken wordt toegekend, bijvoorbeeld '0' en '1', dan noemen we zo'n teken een *bit*. Dit is de afkorting van 'binary digit' (tweetallig cijfer) of ook wel 'binary information ticket' (informatiekaartje met twee mogelijkheden).

Woord

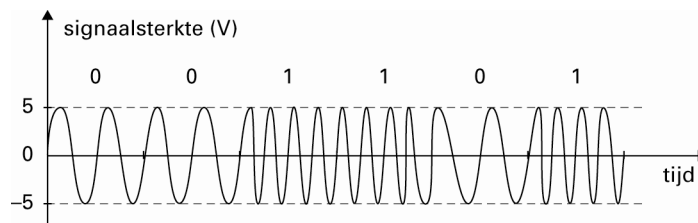
Wanneer er meer tekens gebruikt worden, zoals het alfabet dat uit 26 letters (tekens) bestaat, hebben we aan één bit per teken niet voldoende. Door groepjes bits samen te nemen, kunnen meer tekens voorgesteld worden. Zo'n groepje bits noemen we een *woord*. Nemen we bijvoorbeeld twee bits samen, dan kunnen er vier tekens mee voorgesteld worden: '00', '01', '10' en '11', die zouden kunnen staan voor de eerste vier letters uit het alfabet (a, b, c en d). Met 3 bits kunnen acht tekens voorgesteld worden: '000', '001', '010', '011', '100', '101', '110' en '111'. In de praktijk wordt veel gewerkt met groepjes van acht bits. Dit noemen we een *byte*. Algemeen kunnen met  $n$  bits  $2^n$  tekens voorgesteld worden. Met 8 bits zijn dat dus  $2^8 = 256$  tekens. De bekende ASCII-code, waarmee alle tekens van een toetsenbord weergegeven kunnen worden, werkt met zeven bits. In de praktijk wordt echter meestal met acht bits gewerkt, waarbij de achtste bit voor foutdetectie kan worden gebruikt.

Byte

1 byte = 8 bits

*Digitaal signaal*

Met de term '*digitaal signaal*' duiden we op een groep van signalen die getallen representeert. Een mogelijk digitaal signaal is het binaire signaal uit figuur 6.22. Door aan elk signaalelement een bepaald getal te koppelen, draagt een binair signaal getallen over. Digitale signalen kunnen behalve door tijds- en amplitudediscrete signalen ook door middel van tijdsdiscrete en amplitudecontinue signalen overgedragen worden. Een voorbeeld daarvan is weergegeven in figuur 6.24. Een serie nullen en enen wordt overgedragen door een amplitudecontinu signaal, waarbij de frequentie varieert. Is de frequentie laag, dan is er sprake van een '0', is de frequentie hoog, dan is er sprake van een '1'. Wel is het zo dat alleen op equidistante tijdstippen de frequentie kan veranderen. Naast de frequentie kan ook de fase of, zoals bij het binaire signaal, de amplitude veranderd worden. We noemen dergelijke signalen frequentie-, fase- en amplitudegemoduleerde signalen. Wat de getallen bij een digitaal signaal precies voorstellen, moet worden afgesproken. Het kunnen meetwaarden zijn, maar ook, zoals we net zagen, alfanumerieke tekens. De betekenis moet tussen bron en bestemming van tevoren worden afgesproken.



FIGUUR 6.24 Een amplitudecontinu signaal als digitaal signaal

OPGAVE 6.13

Omschrijf met eigen woorden het verschil tussen een discreet signaal en een digitaal signaal. Hoe zijn deze aan elkaar gerelateerd?

OPGAVE 6.14

Kijk nog eens naar de algemene vorm van de sinusfunctie.

- Door welke variabelen wordt de sinusfunctie vastgelegd?
- Op welke manieren kan dan een rij enen en nullen worden gemoduleerd op een sinusfunctie?
- Probeer een voorbeeld te geven van elke manier aan de hand van de bitrij: 1, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 0.

4 **Nogmaals informatie en signalen**

In deze paragraaf wordt het onderbrengen van informatie in een signaal samengevat.

We bekijken, met de kennis uit voorgaande paragrafen, nog eens hoe informatie wordt ondergebracht in een signaal. Hierbij introduceren we alvast onderwerpen die in volgende leereenheden uitgebreider worden behandeld: coderen en moduleren.

We hebben gezien dat informatie weergegeven kan worden door middel van tekens. De Nederlandse schrijftaal bestaat bijvoorbeeld uit 26 kleine letters, 26 hoofdletters, 10 getallen en nog een aantal bijzondere tekens. Vandaag de dag wordt, bij het verwerken, opslaan en uitwisselen van informatie door middel van computers en communicatietechnologie, veelal gewerkt met de 'bit' als informatie-eenheid (0 en 1). Door groepjes van acht bits te nemen, zijn we in staat om alle tekens weer te geven. Dit

proces, het koppelen van tekens aan in dit geval nullen en enen, noemen we coderen.

Coderen

Algemeen heeft *coderen* tot doel: het bereiken van een betere aanpassing van de over te dragen informatie aan de eigenschappen en beperkingen van het transport- en verwerkingssysteem. We noemen een viertal vormen van coderen.

– Het coderen van informatie, het representeren van informatie door tekens uit het alfabet, zoals ASCII-code en spraak. In het communicatiemodel wordt dit uitgevoerd door de bron.

Broncodering

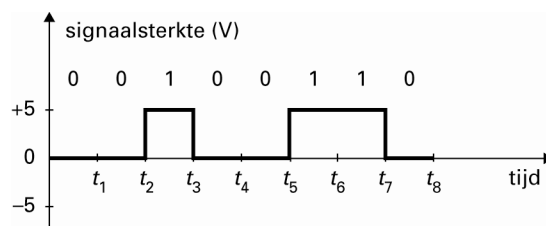
– *Broncodering* kan uit twee stappen bestaan. De eerste stap is het omzetten van een eventueel analoog bronsignaal naar een digitaal signaal, ook wel *analoog-digitaalomzetting* genoemd. Deze eerste stap kan overgeslagen worden wanneer het signaal al digitaal is, of wanneer met een analoog signaal verdergewerkt wordt. De tweede stap is *compressie*, waarbij overtollige informatie wordt verwijderd, zodat de hoeveelheid benodigde tekens waarmee de informatie wordt overgezonden, wordt gereduceerd. Broncodering wordt uitgevoerd door de zender.

Kanaalcodering

– *Kanaalcodering*. Hierbij wordt extra informatie toegevoegd aan de informatie die wordt verzonden, waardoor eventuele fouten die tijdens het verzenden ontstaan, kunnen worden gedetecteerd en eventueel worden gecorrigeerd. Ook kanaalcodering wordt uitgevoerd door de zender.

– Als laatste vorm noemen we hier nog *encryptie*, het versleutelen van informatie zodanig dat derden deze niet meer kunnen interpreteren. Op encryptie gaan we in deze cursus niet in.

Nadat de informatie is gecodeerd, in de vorm van bijvoorbeeld bytes, wordt de informatie ondergebracht in een signaal dat door het kanaal wordt verstuurd. Laten we een eenvoudige vorm hiervan bekijken. De letter 'a' stellen we voor als het volgende rijtje bits: 00100110. Bron en bestemming (of beter zender en ontvanger) zijn verbonden door middel van een koperdraad waarover een spanning staat van 5 volt. Door middel van een schakelaar kunnen we de spanning eraf halen (er loopt geen stroom), of erop zetten (er loopt wel een stroom). Door nu op equidistante tijdstippen de schakelaar aan of uit te zetten, verkrijgen we het volgende binaire signaal (zie figuur 6.25).



FIGUUR 6.25 De letter 'a' als binair signaal

De informatie, de letter 'a', wordt hier middels het rijtje nullen en enen ondergebracht in een 'blokvormig' signaal. Elk signaal, ook blokvormig, kunnen we opgebouwd denken uit een optelsom van sinusvormige signalen, elk met een eigen frequentie, fase en amplitude. De informatie is dus als trillingen in het signaal aanwezig en wordt getransporteerd door een elektrische stroom die zich als een golf langs de koperdraad verplaatst.

## Moduleren

Dit proces waarin de informatie, al dan niet eerst gecodeerd als nullen en enen, wordt ondergebracht in een signaal, heet moduleren en wordt uitgevoerd door een modulator in de zender. Moduleren is ook een vorm van coderen. De ontvanger moet, om de (eventueel gecodeerde) informatie er weer uit te halen, het signaal demoduleren en decoderen.

### OPGAVE 6.15

Kijk nog eens naar figuur 6.5 (de modulator). Stel, we willen de letter 'a' versturen door middel van een binair elektrisch signaal, waarbij een '1' wordt voorgesteld door +5 volt en een '0' door 0 volt. De letter 'a' representeren we door de volgende binaire code: 00100110. Probeer in een schema aan te geven wat de broninformatie is, wanneer codering plaatsvindt, welke vorm van energie wordt gebruikt en hoe het signaal er dan uitziet. Bron- en kanaalcodering hoeft u niet in het schema op te nemen.

### SAMENVATTING

In deze leereenheid zijn eerst de stappen besproken die algemeen doorlopen worden tijdens het overdragen van informatie. Elke stap wordt uitgevoerd door één van de elementen uit het communicatiemodel van Shannon. De bron bepaalt welke informatie wordt overgedragen naar de bestemming en legt deze informatie vast door tekens uit een alfabet te combineren tot een taaluiting. De zender stelt een bericht samen. Extra informatie wordt toegevoegd om ervoor te zorgen dat het bericht bij de bestemming in goede staat en op tijd aankomt. Hiervoor gebruikt de zender tekens uit een aparte tekenvoorraad en overeengekomen afspraken. Het bericht wordt langs een kanaal verzonden naar de bestemming. Aan een kanaal kennen we vier aspecten toe: de fysieke weg die het bericht aflegt, of er een- of tweerichtingsverkeer mogelijk is, het aantal bronnen en bestemmingen dat bij de informatieoverdracht betrokken is en de kwaliteit van informatieoverdracht. De ontvanger neemt het bericht aan en haalt de informatie uit het bericht. De bestemming leest de tekens waarmee de informatie is vastgelegd en bepaalt in welke mate er sprake is van informatie.

In de rest van deze leereenheid zijn de signalen bestudeerd. Een signaal is een informatiedragend fysisch verschijnsel. Door middel van het proces moduleren wordt informatie in een signaal ondergebracht, dat wil zeggen, het fysische verschijnsel wordt zodanig beïnvloed dat de gewenste informatie als variatie van het fysische verschijnsel kan worden waargenomen. Met behulp van een transducent kan een signaal van het ene naar het andere fysische domein worden omgezet.

We maken onderscheid tussen continue en discrete signalen. Er zijn drie soorten discrete signalen, te weten: het tijdsdiscrete en amplitudecontinue signaal, het tijdscontinue en amplitudediscrete signaal en het tijds- en amplitudediscrete signaal. Een digitaal signaal geeft een rij getallen weer.

Vervolgens zijn we dieper ingegaan op de continue en discrete signalen en vroegen ons daarbij af hoe informatie is ondergebracht in een signaal. We maakten onderscheid tussen een trilling en een golf. Een trilling is een periodieke heen- en weergaande, of op- en neergaande, beweging om een evenwichtstoestand. Een trilling wordt beschreven door haar frequentie, amplitude en fase. Een golf is het voortplanten van een

trilling door een medium. Een golf hebben we beschreven door de golflengte, de golfsnelheid en het faseverschil tussen twee trillende deeltjes. De informatie die wordt overgedragen, wordt gerepresenteerd door de trillende deeltjes. De golf is het voortplanten van de trilling door een medium. Een sinusvormige trilling is een speciaal geval van de algemene trilling en kan wiskundig geheel beschreven worden. De sinusfunctie ligt vast door de amplitude, de hoekfrequentie en de fase. Vervolgens hebben we de tijds- en amplitudediscrete signalen bekeken en speciaal het binaire signaal.

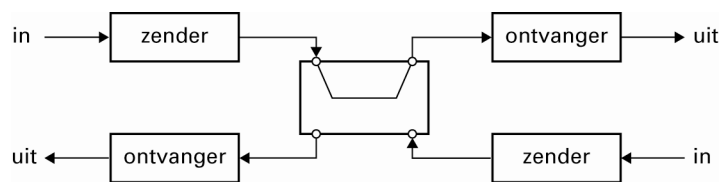
Afsluitend hebben we het gehele proces waarin informatie wordt ondergebracht in een signaal, nog eens samengevat en enkele onderwerpen uit volgende leereenheden geïntroduceerd.



TERUGKOPPELING

1 **Uitwerking van de opgaven**

- 6.1 Voorbeelden van talen uit de dagelijkse praktijk zijn:
- gebaren en mimiek: de handdruk, het schouderophalen, een grimas; de regels die hierbij horen, zijn impliciet en veelal cultuurafhankelijk
  - op veel artikelen is een streepjescode aanwezig; de tekenset en bijbehorende regels liggen hierbij heel precies vast
  - verkeersborden en -lichten: verkeerslichten, verkeersborden en strepen op het wegdek; de tekenset en bijbehorende regels liggen hierbij vast in wet- en instructieboeken
  - rivierbakens: boeien en lichtsignalen; de tekenset en bijbehorende regels liggen hierbij vast in wet- en handboeken.
- 6.2 Zie figuur 6.26. Twee schakelaars aan de beide uiteinden van het kanaal (bij de zender en bij de ontvanger) zorgen ervoor dat bron en bestemming afwisselend kunnen zenden en ontvangen. De twee schakelaars gaan tegelijkertijd om: een bericht kan of 'van links naar rechts' of 'van rechts naar links' getransporteerd worden. Tegelijkertijd zenden en ontvangen is niet mogelijk.



FIGUUR 6.26 Half-duplexverbinding

- 6.3 Simplex (informatie stroomt slechts één kant op): een klok of display waarop de tijd wordt getoond, een verkeersbord, tv-toren die televisie-uitzendingen uitstraalt, informatieborden op stations en vliegvelden. Half duplex (informatie kan, *na elkaar*, twee kanten op stromen): de conversatie middels een 'walkie-talkie' of een apparaat dat op basis van een aanvraag statusinformatie stuurt, semafoon, marifoon, de installatie van een softwarepakket. Merk op dat bij deze vorm van duplexverbinding vooraf moet zijn afgesproken wie op welk moment mag zenden. Full duplex (informatie kan *gelijktijdig* twee kanten op stromen): standaard telefonie.
- 6.4 We noemen de volgende mogelijkheden:
- bij het zien van de onbekende naam gooit u de mail meteen weg
  - de mail opent u wel, maar u klikt de bijlage niet aan
  - u hebt een andere Word-versie en kunt daardoor de bijlage niet lezen
  - de mail en/of bijlage zijn in een voor u onbekende taal geschreven
  - uw ontvangstbak (postbus) is vol en weigert nieuwe mail.
- 6.5 Enkele voorbeelden zijn:
- koperdraad - elektrische signalen
  - atmosfeer of (bijna) vacuüm - radiosignalen
  - atmosfeer of (bijna) vacuüm - infraroodsignalen
  - glasvezel - lichtsignalen

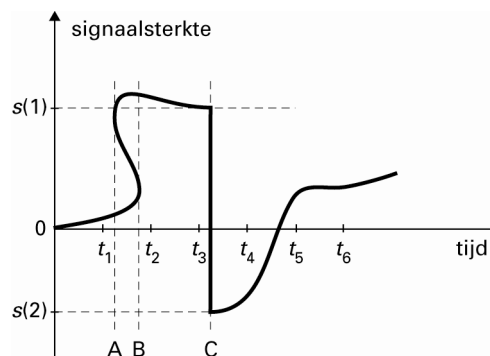
Radio- en infraroodsignalen (eigenlijk alle elektromagnetische signalen) vormen een uitzondering op de regel dat een medium nodig is. Zoals is aangegeven, planten deze zich ook voort door een vacuüm.

NB: radio-, infrarood- en lichtsignalen behoren tot de elektromagnetische signalen, ook wel EM-signalen

6.6 Enkele voorbeelden zijn de volgende.

- In de televisie wordt door het fosfor in de beeldbuis elektrische signalen omgezet in lichtsignalen.
  - Door een luidspreker worden elektrische signalen omgezet in geluidssignalen.
  - In een droogtrommel en oven wordt door een elektrische thermometer warmte omgezet in een elektrisch signaal.
  - In de airbag van een auto zit een transducent die vertraging (negatieve versnelling) omzet in een elektrisch signaal. Andere voorbeelden van transducenten in auto's zijn regenwaarnemers, en remkrachtopnemers als onderdeel van het antiblokkeersysteem ABS.
- We kunnen deze lijst enorm uitbreiden. In bijna alle apparatuur waar we gebruik van maken, worden signalen omgezet van het ene naar het andere fysische domein.

6.7 Met dit signaal is veel mis (zie figuur 6.27).



FIGUUR 6.27 Continu signaal?

In het interval A-B heeft het analoge signaal op elk tijdstip twee, dan wel drie waarden, terwijl maar precies één waarde is toegestaan. Op tijdstip C verandert het signaal van waarde  $s(1)$  naar  $s(2)$ , of anders gezegd, het signaal heeft op dat moment veel waarden tegelijkertijd. Daar het continue analoge signaal op elk moment precies één waarde moet hebben, is dit niet mogelijk. Fysisch is een oneindig snelle verandering ook niet mogelijk.

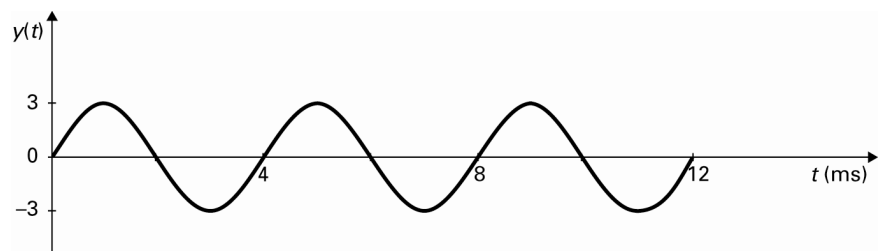
6.8 We kunnen signalen indelen naar fysisch domein. Voorbeelden zijn dan: elektrische signalen, radiosignalen en infraroodsignalen. Daarnaast kunnen we onderscheid maken naar vorm:

- tijds- en amplitudecontinue signalen
- tijdsdiscrete en amplitudecontinue signalen
- tijdscontinue en amplitudediscrete signalen
- tijds- en amplitudediscrete signalen.

Als laatste maken we onderscheid tussen analoge en digitale signalen. Een analoog signaal is een continu signaal en is een analogon van een

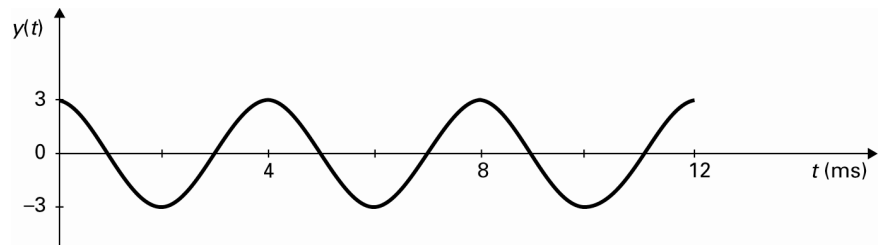
(macroscopisch) fysisch proces. Digitale signalen representeren een rij getallen. In paragraaf 3.2 zullen we zien dat het signaal zelf 'tijdsdiscreet en amplitudediscreet' of 'tijdsdiscreet en amplitudecontinu' kan zijn.

- 6.9 a De tekens zijn: de aan- en afwezigheid van golven.  
 b Een voorbeeld van een regel is, dat niet kort na elkaar twee of meer stenen in het water gegooid mogen worden. De informatie 'een tweede gevaar dreigt' komt dan niet over.
- 6.10 Een trilling is een periodieke beweging van één deeltje om een evenwichtstoestand. Een golf is het verplaatsen van de trillingsenergie door een medium van deeltje op deeltje. Een golf kan alleen ontstaan als meerdere deeltjes periodiek trillen.
- 6.11 a Voor de periode  $T$  geldt:  $T = 1/250 \text{ Hz} = 0,004 \text{ s} = 4 \text{ ms}$ . De hoekfrequentie  $\omega$  is gelijk aan:  $\omega = 2\pi f = 2\pi 250 \text{ Hz} = 1571 \text{ rad/s}$ .  
 b Een mogelijke wiskundige formulering is:  $y(t) = 3\sin(2\pi 250t) = 3\sin(500\pi t)$ .  
 c Zie figuur 6.28.



FIGUUR 6.28 Functie  $y(t)$

- d 90 graden is gelijk aan  $0,5\pi$  radialen. Invullen levert:  
 $y(t) = 3\sin(500\pi t + 0,5\pi)$ .  
 e Op  $t = 0 \text{ s}$  is de uitwijking gelijk aan op  $y(0) = 3\sin(500\pi 0 + 0,5\pi) = 3\sin(0,5\pi)$ . Door de fasehoek is de grafiek van de functie naar links geschoven (zie figuur 6.30). We kunnen dit ook inzien door naar figuur 6.20 te kijken. De lijn OQ maakt op  $t = 0 \text{ s}$  een hoek van 90 graden met de x-as.



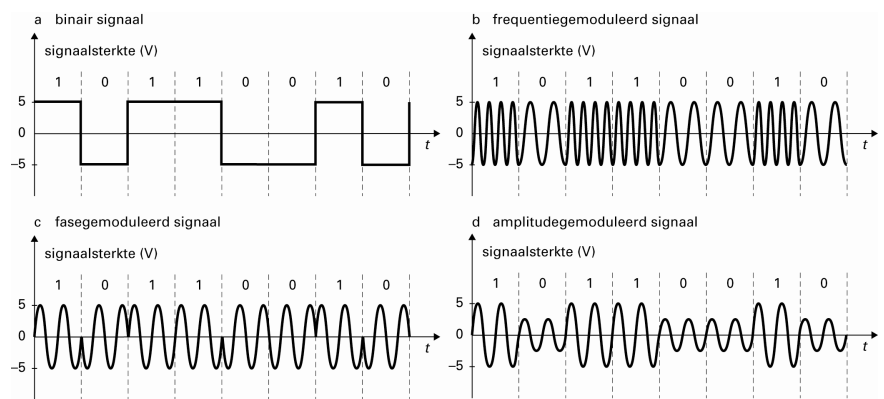
FIGUUR 6.29 Functie  $y(t)$  met fasehoek 90 graden

- 6.12 Als een signaal uit slechts één signaalelement zou bestaan, is het signaal in z'n totaliteit het signaalelement. Met andere woorden: het signaal kan dan niet veranderen en daardoor ook geen informatie overdragen.
- 6.13 Er zijn drie soorten discrete signalen:  
 – tijdsdiscreet en amplitudecontinu

- tijdscontinu en amplitudediscreet
- tijdsdiscreet en amplitudediscreet.

Digitale signalen zijn signalen die getallen overdragen. Een digitaal signaal ontstaat uit een tijdsdiscreet signaal door getallen toe te kennen aan de signaalelementen. Bij een tijds- en amplitudediscreet signaal worden de signaalelementen gevormd door de mogelijke amplitudes. Bij een tijdsdiscreet en amplitudecontinu signaal worden de signaalelementen gevormd door de mogelijke frequenties of fasen.

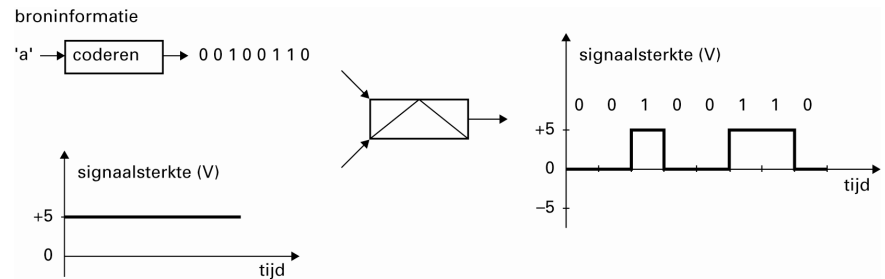
- 6.14 a Amplitude, frequentie en fase.  
 b Door de amplitude, frequentie of de fase te veranderen volgens de rij enen en nullen.  
 c Figuur 6.30 geeft een voorbeeld.



FIGUUR 6.30 Drie moduleringen van binair signaal

- Figuur a geeft een binair signaal weer: een '0' is gekoppeld aan -5 volt en een '1' aan +5 volt.
  - Figuur b geeft een frequentiegemoduleerd signaal weer: een '0' komt overeen met een lage frequentie en een '1' met een hoge frequentie. De amplitude en fase van het signaal blijven constant.
  - Figuur c geeft een fasegemoduleerd signaal weer: bij elke tekenwisseling is de fase van het signaal met 180 graden verschoven. De amplitude en frequentie van het signaal blijven constant.
  - Figuur d geeft een amplitudegemoduleerd signaal weer: een '0' komt overeen met amplitude 2 volt en een '1' met amplitude 5 volt. De frequentie en fase van het signaal blijven constant.
- Andere uitwerkingen zijn natuurlijk ook mogelijk.

6.15 Zie figuur 6.31.



FIGUUR 6.31 Lijncodering

Bijlage

## Het decimale en binaire talstelsel

In deze bijlage richten we ons op het representeren van gehele getallen. Eerst kijken we naar de algemene vorm waarin getallen worden geschreven. Dit doen we aan de hand van onze gewone schrijfwijze: het stelsel met grondtal 10, ofwel het tientallig stelsel. Vervolgens kijken we naar het tweetallig stelsel, ofwel het binaire stelsel. Als laatste gaan we in op het omrekenen van het ene naar het andere stelsel.

### Het decimale talstelsel

Het *decimale* getal 632 stelt het getal voor dat gelijk is aan ‘zesmaal honderd’ plus ‘driemaal 10’ plus ‘tweemaal één’. We weten dit omdat we de afspraken kennen die bij het decimale talstelsel zijn gemaakt. Indien verwarring met andere talstelsels kan ontstaan, geven we het getal 632 weer als

$$632_{\text{DEC}}$$

De afspraken voor het decimale talstelsel zijn:

- elk cijfer levert een bijdrage die gelijk is aan de waarde ervan maal het gewicht, dat een macht is van het *grondtal* 10
- elk *cijfer* behoort tot {0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9}
- het bij het cijfer behorende gewicht wordt bepaald door de *positie* van het cijfer in het getal, waarbij het rechtercijfer het gewicht  $10^0 (= 1)$  krijgt, het cijfer links daarvan  $10^1$ , enzovoorts.

Op grond hiervan kunnen we het getal  $632_{\text{DEC}}$  schrijven als:

$$632_{\text{DEC}} = 6 \times 10^2 + 3 \times 10^1 + 2 \times 10^0$$

Een getal kan op slechts één manier in het decimale stelsel worden weergegeven. Dit hangt samen met het feit dat het gewicht van een cijfer 1 groter is dan het grootste getal dat met de cijfers kan worden weergegeven die er rechts van staan.

Voor decimale getallen met een fractie (bijvoorbeeld 632,431) gelden overigens overeenkomstige regels, werkend naar rechts gerekend vanaf de komma.

### Het binaire talstelsel

Het *binaire* talstelsel heeft grondtal 2, kent als cijfers de 0 en de 1 en gewichten die een macht van twee zijn. In het binaire stelsel spreken we meestal niet van cijfers, maar van bits.

Voorbeeld

$$N_{\text{BIN}} = 100101 = 1 \times 2^5 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^0 = 37_{\text{DEC}}$$

Algemeen geldt het volgende: het  $i$ -de cijfer van rechts krijgt een gewicht toegekend dat gelijk is aan  $2^{i-1}$ . Het binaire getal

$$N_{\text{BIN}} = a_{n-1}a_{n-2}\dots a_1a_0$$

stelt het getal voor dat gelijk is aan

$$N_{\text{BIN}} = a_{n-1} \times 2^{n-1} + a_{n-2} \times 2^{n-2} + \dots + a_1 \times 2^1 + a_0 \times 2^0$$

Ook in het binaire talstelsel kunnen we een getal op slechts één manier weergeven.

### Omzetting 'decimaal naar binair' en 'binair naar decimaal'

Als voorbeeld van een omzetting van een decimaal naar een binair getal nemen we de omzetting van het getal  $47_{\text{DEC}}$  naar de binaire representatie. Er geldt dat  $2^6 > 47 \geq 2^5$ , zodat voor de binaire representatie tenminste zes binaire cijferplaatsen nodig zijn. De bits hebben de volgende gewichten:

bit	$a_5$	$a_4$	$a_3$	$a_2$	$a_1$	$a_0$
gewicht	32	16	8	4	2	1

Van het getal  $47_{\text{DEC}}$  kunnen we  $2^5 = 32$  aftrekken, dus  $a_5 = 1$ . De rest is dan  $47 - 32 = 15$ . Hiervan kan 16 niet meer worden afgetrokken, dus  $a_4 = 0$ . Wel kan van 15 het getal 8 worden afgetrokken, zodat  $a_3 = 1$ . Het restant is 7, te schrijven als  $4 + 2 + 1$ , zodat  $a_2 = a_1 = a_0 = 1$ . De binaire representatie is daarmee:

$$47_{\text{DEC}} = 101111_{\text{BIN}}$$

Voor berekeningen met de hand voldoet de geschetste methode. Een andere procedure die eenvoudig is te programmeren, berust op het herhaald delen met rest door 2.

$$\begin{array}{ll}
 47 : 2 = 23 + \text{rest } 1 & \rightarrow a_0 = 1 \\
 23 : 2 = 11 + \text{rest } 1 & \rightarrow a_1 = 1 \\
 11 : 2 = 5 + \text{rest } 1 & \rightarrow a_2 = 1 \\
 5 : 2 = 2 + \text{rest } 1 & \rightarrow a_3 = 1 \\
 2 : 2 = 1 + \text{rest } 0 & \rightarrow a_4 = 0 \\
 1 : 2 = 0 + \text{rest } 1 & \rightarrow a_5 = 1
 \end{array}
 \quad 47_{\text{DEC}} = 101111_{\text{BIN}}$$

De omzetting van *binair naar decimaal* kan geschieden door optelling van de gewichten waarvoor het corresponderende binaire cijfer de waarde 1 heeft. Als voorbeeld de omzetting van  $1011001_{\text{BIN}}$  naar de decimale representatie:

$$\begin{aligned}
 1011001_{\text{BIN}} &= 1 \times 2^6 + 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^0 \\
 &= 64 + 16 + 8 + 1 = 89_{\text{DEC}}
 \end{aligned}$$

### Opmerkingen

De toevoeging DEC en BIN bij getalrepresentatie laat men meestal weg indien uit de context duidelijk blijkt in welk talstelsel wordt gewerkt. Bij gebruik van verschillende talstelsels in één tekst, verdient het aanbeveling de toevoeging DEC en BIN systematisch te hanteren.

Twee andere bekende talstelsels, waarbij overeenkomstige rekenregels gelden, zijn:

- het octale stelsel met grondtal 8; de cijfers behoren tot {0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7}
- het hexadecimale stelsel met grondtal 16; de cijfers behoren tot {0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F}. Hierbij geldt dat  $A = 10_{\text{DEC}}$ ,  $B = 11_{\text{DEC}}$ ,  $C = 12_{\text{DEC}}$ ,  $D = 13_{\text{DEC}}$ ,  $E = 14_{\text{DEC}}$  en  $F = 15_{\text{DEC}}$ .