

# Sensors & Interfacing

Tuur Vanhoutte

15 maart 2020

# Inhoudsopgave

<b>1 Communicatie</b>	<b>1</b>
1.1 Datacommunicatie in IoT . . . . .	1
1.1.1 De 3 lagen . . . . .	1
1.2 Data . . . . .	1
1.3 Communicatie . . . . .	1
1.4 Communicatieafspraken . . . . .	2
1.5 Encoding/Decoding . . . . .	2
1.6 Signalen . . . . .	2
1.7 Communicatiemedia . . . . .	2
1.7.1 Eigenschappen van media . . . . .	3
1.7.2 Afspraken . . . . .	3
1.7.3 Standaardiseren van . . . . .	3
<b>2 Analoog vs digitaal</b>	<b>4</b>
2.1 Toestanden . . . . .	4
2.1.1 Bepaalde toestand . . . . .	4
2.1.2 Digitale toestanden . . . . .	4
2.1.3 Analoge toestanden . . . . .	4
2.2 Signalen . . . . .	5
<b>3 Analoge signalen</b>	<b>5</b>
3.1 Omzetten van analoge signalen . . . . .	5
3.1.1 Transducer . . . . .	5
3.1.2 Sensoren en Actuatoren . . . . .	5
3.2 Analoge communicatie . . . . .	6
3.3 Analoog signaal . . . . .	6
3.3.1 Eigenschappen . . . . .	6
3.3.2 Wisselspanning - Eigenschappen . . . . .	6
3.3.3 Periodieke signalen . . . . .	7
3.3.4 Tijdsdomein en frequentiedomein . . . . .	8
<b>4 Digitale signalen</b>	<b>8</b>
4.1 Eigenschappen . . . . .	8
4.2 Duty Cycle . . . . .	9
4.3 Flanken (edge) . . . . .	9
4.4 Weergave digitale signalen . . . . .	10
<b>5 AD conversie</b>	<b>10</b>
5.1 Analoog naar digitaal . . . . .	10
5.1.1 Voorbeeld A . . . . .	11
5.1.2 Voorbeeld B . . . . .	11
5.2 Eigenschappen . . . . .	11
5.2.1 Quantisatiefouten . . . . .	11
5.2.2 Sample Rate / sample frequentie . . . . .	12
5.2.3 Aliasing . . . . .	13
5.2.4 Oversampling . . . . .	13
5.3 Implementatie en types . . . . .	14
5.3.1 Flash ADC . . . . .	14
5.3.2 Successive approximation ADC . . . . .	15

<b>6</b>	<b>Digitaal naar analog conversie</b>	<b>16</b>
6.1	Simpele DAC . . . . .	16
6.2	Simpele DAC met PWM . . . . .	17
6.3	Andere types . . . . .	17
6.4	Extra info over AD/DA conversie: . . . . .	18
<b>7</b>	<b>Modulatie</b>	<b>18</b>
7.1	Demodulatie . . . . .	18
7.2	Modem . . . . .	19
7.3	Waarom? . . . . .	19
7.4	Hoe? . . . . .	19
7.5	Draaggolf . . . . .	19
7.5.1	Parameters van een draaggolf . . . . .	20
7.6	Simpele modulatie . . . . .	20
7.7	Amplitude modulatie (=AM) . . . . .	20
7.7.1	Overmodulatie . . . . .	21
7.7.2	AM bandbreedte . . . . .	22
7.7.3	SSB modulatie (USB/LSB) . . . . .	23
7.7.4	ASK Modulatie . . . . .	24
7.8	Frequentie modulatie (=FM) . . . . .	25
7.8.1	FSK modulatie . . . . .	26
7.8.2	FM Modulatie . . . . .	26
7.8.3	Fase modulatie . . . . .	27
7.8.4	PSK modulatie . . . . .	27
7.8.5	Phase Shift Modulatie . . . . .	28
7.8.6	QAM modulatie . . . . .	28
7.8.7	Bandbreedte / vermogen . . . . .	29
7.8.8	Waarom Narrow-band? . . . . .	30
<b>8</b>	<b>RF-spectrum</b>	<b>31</b>
8.1	Beschikbare bandbreedte . . . . .	31
8.2	Licenties en licentievrije banden . . . . .	32
8.3	ISM banden . . . . .	32
8.4	Interferentie . . . . .	32
8.4.1	Co-channel interferentie . . . . .	32
8.4.2	Signaalseparatie . . . . .	33
8.4.3	Interferentie van naburige kanalen . . . . .	33
8.4.4	Interferentie van andere toestellen . . . . .	33
8.5	Meten van interferentie . . . . .	34
8.6	Golflengte . . . . .	34
8.6.1	Rekenvoorbeeld . . . . .	35
8.7	Antennesysteem . . . . .	35
8.7.1	De dipool antenne . . . . .	35
8.7.2	Polarisatie van antennes . . . . .	36
8.7.3	Directionaliteit van antennes . . . . .	36
8.7.4	Stralingspatroon van antennes . . . . .	37
8.7.5	Gain van een antenne . . . . .	37
8.8	Propagatie van RF-signalen . . . . .	38
8.8.1	Path loss . . . . .	39
8.8.2	Signaalverzwakking / path loss . . . . .	39
8.8.3	Dynamic Rate Shifting (DRS) . . . . .	40
8.8.4	Reflectie . . . . .	40

8.8.5	Absorptie . . . . .	41
8.8.6	Doordringbaarheid . . . . .	41
8.8.7	Scattering . . . . .	42
8.8.8	Refractie . . . . .	42
8.8.9	Diffractie . . . . .	43
8.8.10	Fresnel zones . . . . .	43
8.8.11	Propagatie van RF-signalen . . . . .	44
8.8.12	MIMO . . . . .	45
8.8.13	Multiplexing . . . . .	45

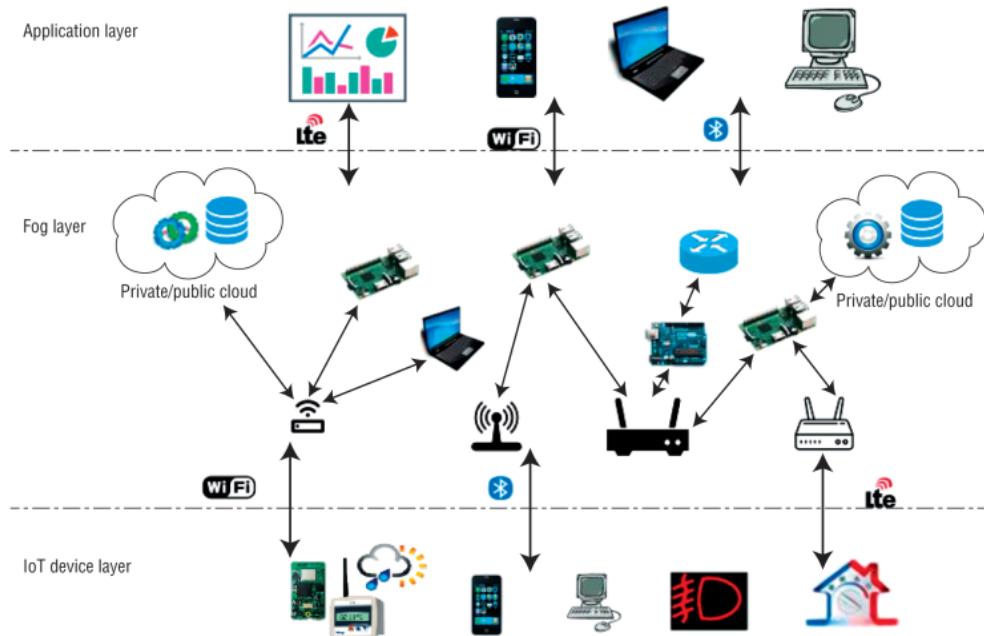
# 1 Communicatie

## 1.1 Datacommunicatie in IoT

### 1.1.1 De 3 lagen

1. Application Layer
2. Fog layer
3. IoT Device Layer

# Datacommunicatie in IoT



Figuur 1: Datacommunicatie in IoT

## 1.2 Data

- "Pre-informatie"
- Gegevens waaruit informatie kan worden gewonnen
- Stelt een bepaalde toestand voor
- <https://en.wikipedia.org/wiki/Data>

## 1.3 Communicatie

= Overbrengen van informatie tussen deelnemers

- Boodschap
- Signaal
- Medium

#### 1.4 Communicatieafspraken

- Coderen van informatie (encoding)
- Voorbeelden:
  - morse-code
  - Ascii-codering
    - \* Codering voor alle gebruikte symbolen in symbolen
    - \* Codering in 7 of 8 bit
    - \* 1 byte = 1 teken
  - ...

#### 1.5 Encoding/Decoding

3 stappen:

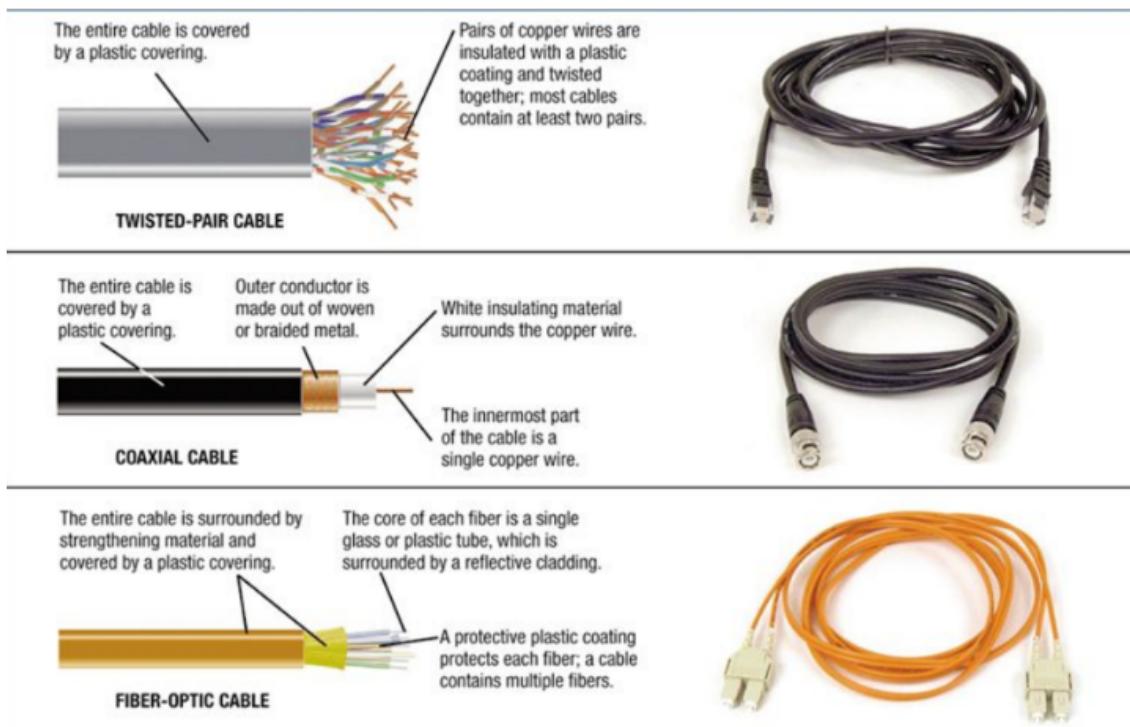
1. Codifying
2. Sending the message
3. Decodifying

#### 1.6 Signalen

- Licht
- Geluid
- Elektriciteit
- ...

#### 1.7 Communicatiemedia

- Twisted-Pair cable
- Coaxial cable
- Fiber-Optic cable



Figuur 2: Soorten kabels

### 1.7.1 Eigenschappen van media

- Vatbaarheid voor interferentie
- Overbrugbare afstand
- Praktisch
- Kostprijs
- ...

### 1.7.2 Afspraken

- Protocol
- Standaarden
- IEEE
- EIA (NEDA/ECA) ⇒ ECIA

### 1.7.3 Standaardiseren van ...

- Type media en zijn specificaties
- Het gebruikte signaal en zijn toleranties
- De elektrische interferentie

- De gebruikte codering
- Foutcorrectiecodes
- Protocol
- De gebruikte connector
- ...

## 2 Analoog vs digitaal

- **Digitaal:** Discrete waarden
- **Analoog:** Continue waarden

### 2.1 Toestanden

#### 2.1.1 Bepaalde toestand

- Temperatuur
- Licht aan/uit
- Afstand
- Tijd
- ...

#### 2.1.2 Digitale toestanden

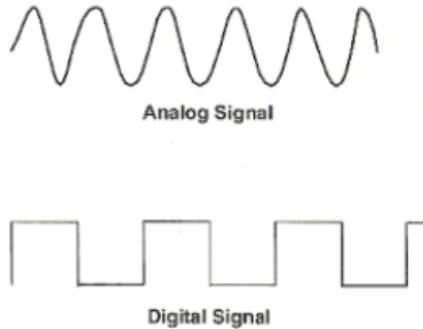
- Licht aan/uit
- Deur open/dicht
- Keuze van versnelling N - 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - R
- Ruitenwisser interval uit - interval - traag - snel
- ...

#### 2.1.3 Analoge toestanden

- Tijd (!)
- Temperatuur
- Luchtdruk
- Luchtvochtigheid
- Afstand
- ...

## 2.2 Signalen

- Analoog signaal
- Digitaal signaal



Figuur 3: Analoog vs digitaal signaal

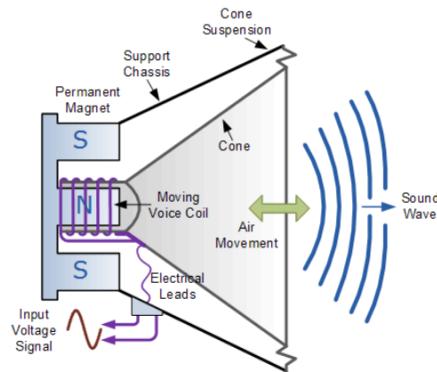
## 3 Analoge signalen

### 3.1 Omzetten van analoge signalen

#### 3.1.1 Transducer

Omzetten van een analoog signaal naar een ander analoog signaal.

**Voorbeeld:** elektrisch signaal omzetten naar een geluidsignaal via een luidspreker (=de transducer)

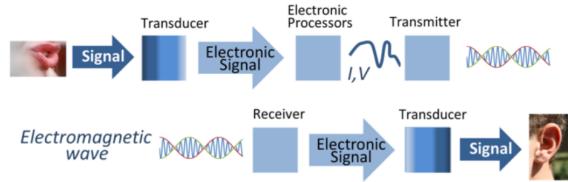


Figuur 4: Luidspreker

#### 3.1.2 Sensoren en Actuatoren

- Sensor ⇒ meten van een fysieke eigenschap
- Actuator ⇒ beïnvloeden van een fysieke parameter ⇒ transducers

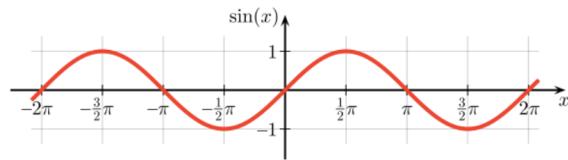
## 3.2 Analoge communicatie



Figuur 5: Analoge communicatie

## 3.3 Analoog signaal

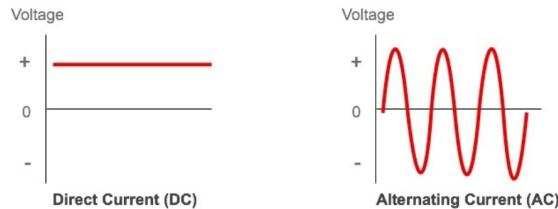
Sinusgolf als meest elementaire signaal



Figuur 6: Sinusgolf

### 3.3.1 Eigenschappen

- DC vs AC
- Polariteit blijft gelijk bij (pulserende) DC
- Polariteit verandert bij AC



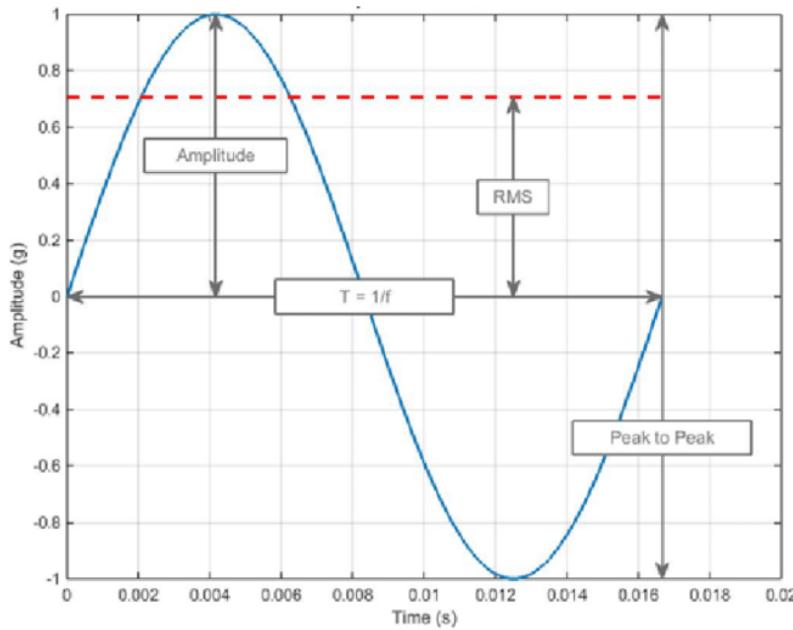
Figuur 7: DC vs AC

### 3.3.2 Wisselspanning - Eigenschappen

- RMS = Root Mean Square (= kwadratisch gemiddelde) = effectieve waarde (in geval van sinus)
  1. Som van alle kwadrateen (= square)
  2. Die som delen door het aantal waardes (= mean)
  3. Neem de vierkantwortel van dat getal

– Wordt vaak gebruikt in de elektriciteit om het gemiddelde vermogen te vinden
- Frequentie

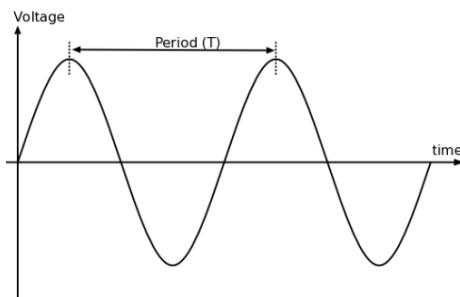
- Periode
- Amplitude
- Peak of top-to-top waarde



Figuur 8: Eigenschappen wisselspanning

### 3.3.3 Periodieke signalen

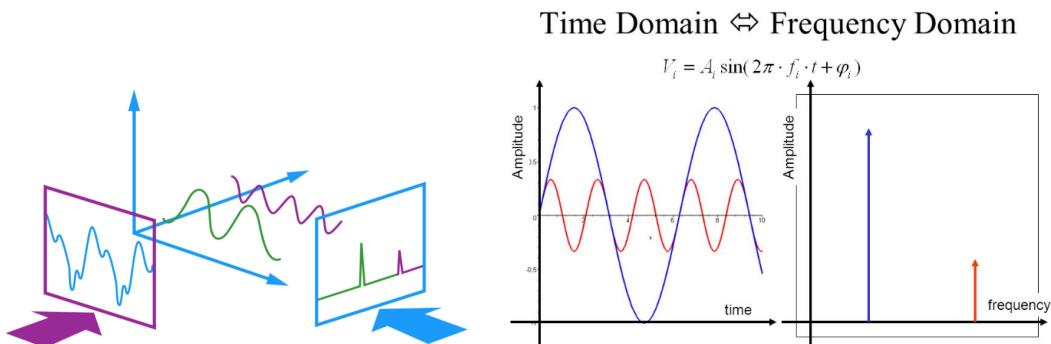
- 1 herhaling = 1 periode
- Periode ( $T$ ) = tijdsduur (in s)
- Frequentie ( $f$ ) = aantal periodes per seconde (in Hz)
- $F = \frac{1}{T} \Leftrightarrow T = \frac{1}{F}$



Figuur 9: Sinusgolf met periode  $T$

### 3.3.4 Tijdsdomein en frequentiedomein

- Tijdsdomein: met een oscilloscoop
- Frequentiedomein: met spectraalanalyse



Figuur 10: Tijdsdomein vs Frequentiedomein

## 4 Digitale signalen

= Aan/uit

### 4.1 Eigenschappen

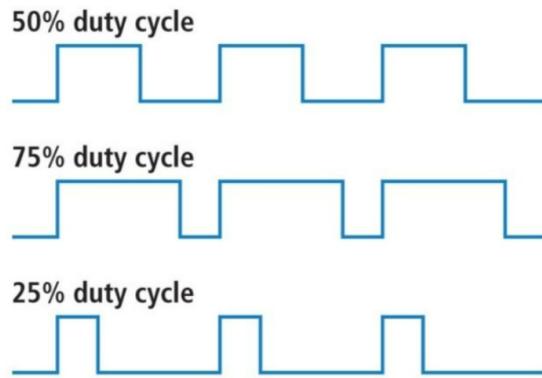
- Amplitude: Piek- of top-waarde, RMS-waarde
- Periode / frequentie
- Pulsbreedte
- Duty-cycle



Figuur 11: Eigenschappen digitaal signaal

## 4.2 Duty Cycle

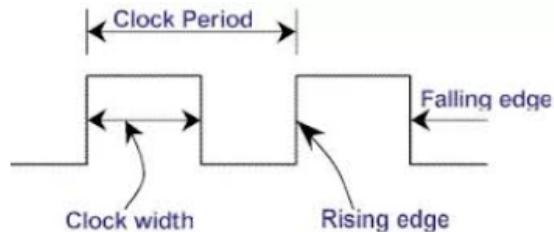
= Hoeveel procent van de tijd staat het signaal aan?



Figuur 12: Duty cycles

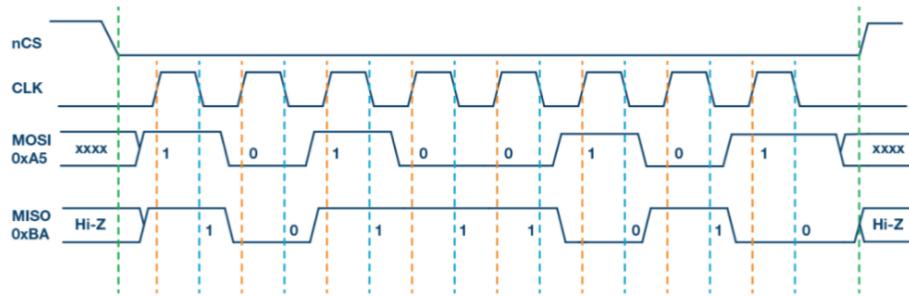
## 4.3 Flanken (edge)

- Stijgende flank
- Dalende flank
- Belangrijk bij kloksignalen



Figuur 13: Flanken

## 4.4 Weergave digitale signalen



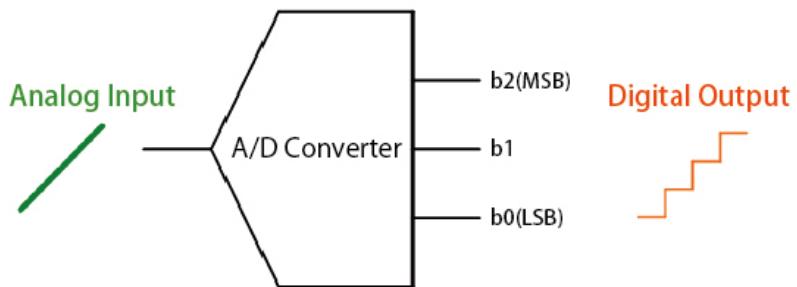
Figuur 14: Weergave digitale signalen

## 5 AD conversie



Figuur 15: Analoog naar digitaal (AD converter)

### 5.1 Analoog naar digitaal



Figuur 16: Analoog naar digitaal conversie

- **Range** = verschil tussen laagste en hoogste waarde
- **Resolutie** = aantal stappen of stapgrootte in bits
- **Belangrijk gevolg:**
  - beide parameters bepalen de exactheid en de afwijkingen

### 5.1.1 Voorbeeld A

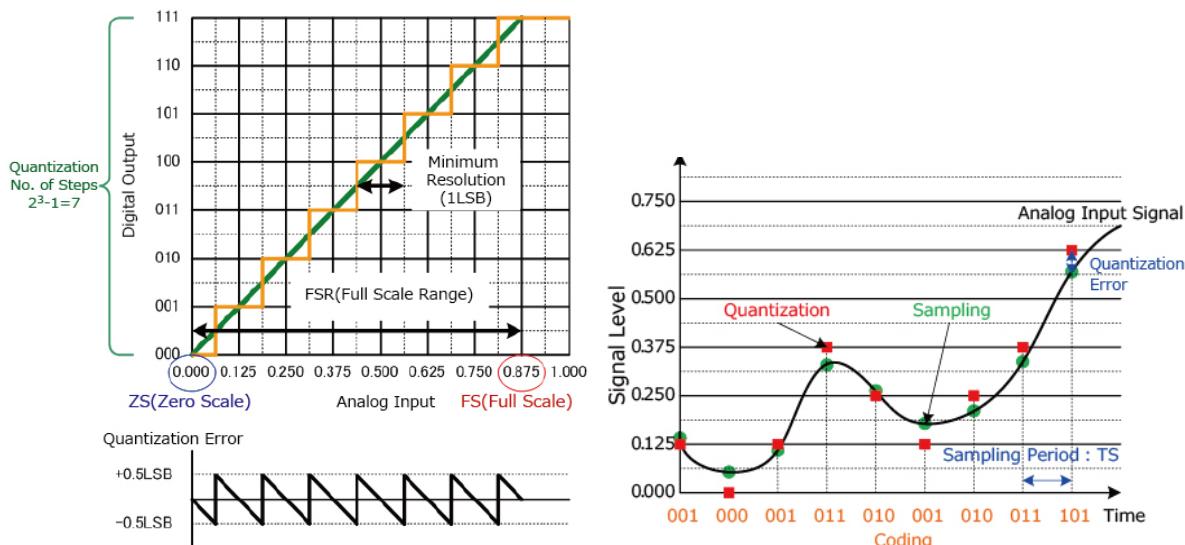
- Range = 2V - 2.5V
- Resolutie = 8bits
- Dus aantal discrete stappen =  $2^8 = 256 \Rightarrow 256 - 1 = 255$
- Stapgrootte (LSB) =  $\frac{\text{range}}{255} = \frac{2.5V - 2V}{255} = \frac{0.5V}{255} = 0.00196..V/\text{stap}$
- ofwel  $\approx 2mV/\text{stap}$

### 5.1.2 Voorbeeld B

- Range = 0V - 12V
- Resolutie = 12bits
- Dus aantal discrete stappen =  $2^{12} = 4096 \Rightarrow 4096 - 1 = 4095$
- Stapgrootte (LSB) =  $\frac{\text{range}}{4095} = \frac{12V - 0V}{4095} = \frac{12V}{4095} = 0.0029304..V/\text{stap}$
- ofwel  $\approx 3mV/\text{stap}$

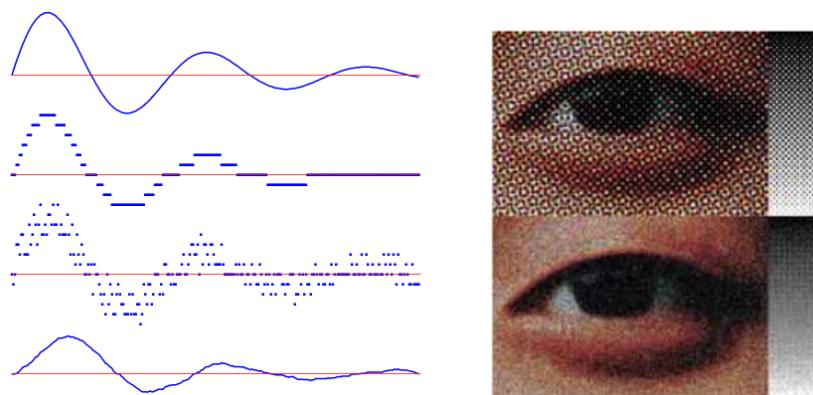
## 5.2 Eigenschappen

### 5.2.1 Quantisatiefouten



Figuur 17: Quantisatiefouten door AD conversie

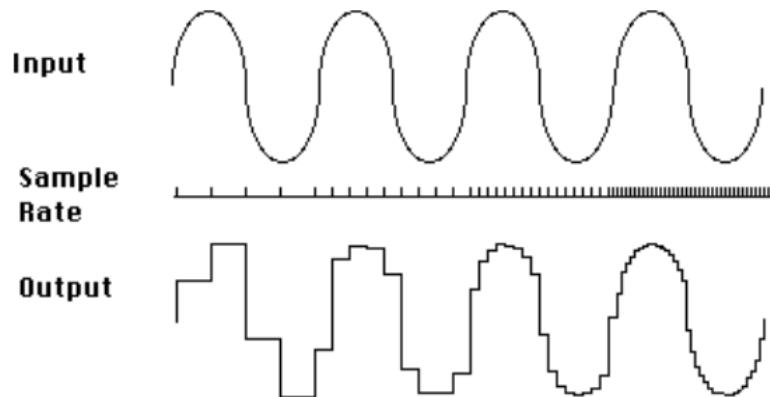
- Verzorzaakt quantisatieruis
- Quantisatiefouten → dithering
- = vooraf (witte) ruis toevoegen aan signaal



Figuur 18: Dithering

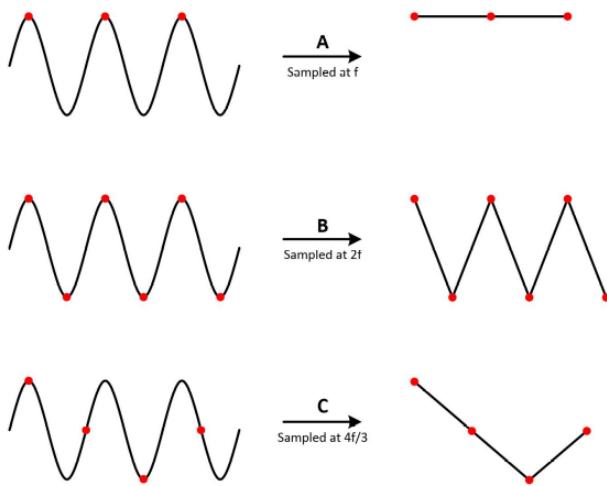
### 5.2.2 Sample Rate / sample frequentie

= aantal conversies per seconde



Figuur 19: Sample rate

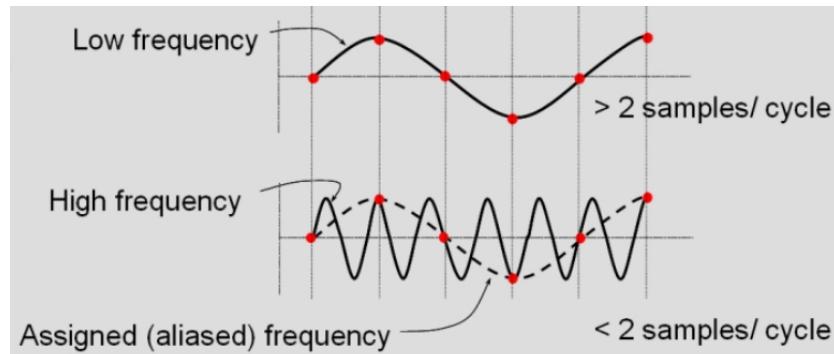
- **Nyquist rate** = Minimale sample rate = 2x de frequentie van het signaal
- Voorbeelden:
  - HiFi Audio CD: 44.1kHz sample rate
  - Oude telefoon toestellen: 8kHz sample rate
  - HD-DVD Audio: 192kHz



Figuur 20: Minimale sample rate

### 5.2.3 Aliasing

- = High Frequency signaal als Low Frequency 'spooksignaal' detecteren
  - Treedt op bij onvoldoende hoge sample rate
  - Anti-Aliasing filter (low-pass filter) beperkt signaal onder nyquist frequentie



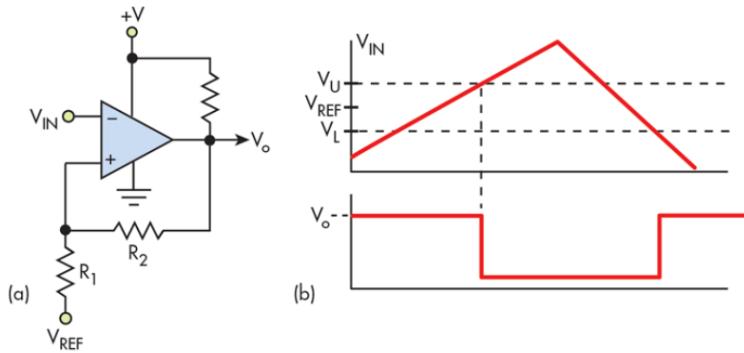
Figuur 21: Anti-aliasing filter

### 5.2.4 Oversampling

- Sampelen met veelvoud van nyquist frequentie
- Kan worden gebruikt om de resolutie op te voeren
- Kan worden gebruikt om digitaal (DSP) te filteren
- Verhoogt het effectieve aantal bits van de ADC
  - Voorbeeld: 20bit ADC met 256x OS = 24bit effectieve resolutie
- Undersampling → specifiek gebruik bij mixers

### 5.3 Implementatie en types

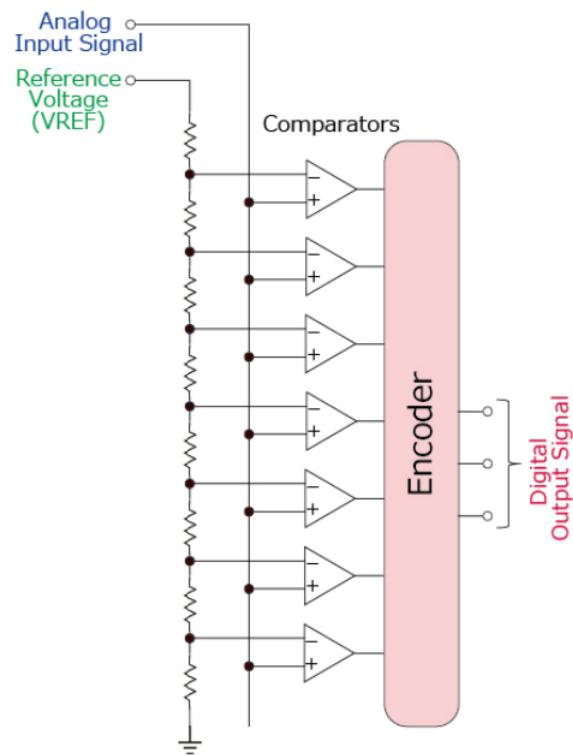
- De comparator
- Bekijken als 1-bit ADC



Figuur 22: Comparator

#### 5.3.1 Flash ADC

- Comparator per 'level'
- Zeer snel = directe omzetting
- Complex & High power
- Lagere resoluties

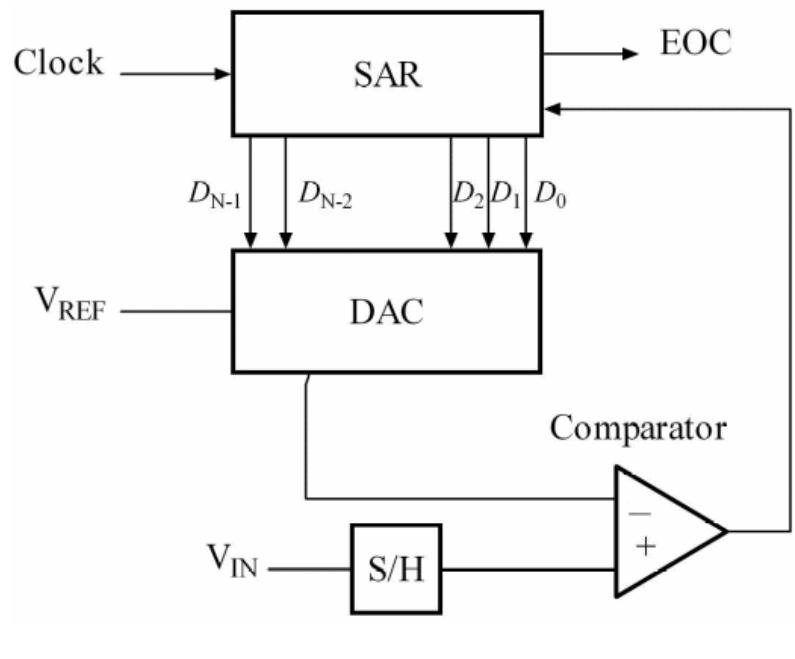


Flash-Type A/D Converter Circuit Diagram

Figuur 23: Flash ADC

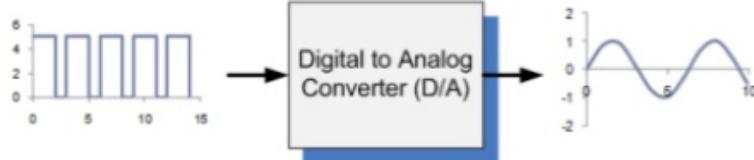
### 5.3.2 Successive approximation ADC

- Gebruikt 1 comparator
- Vergelijkt een opgewekte spanning met het signaal
- Hoge resolutie mogelijk
- Trager
- Relatief goedkoop



Figuur 24: Successive approximation ADC

## 6 Digitaal naar analoog conversie

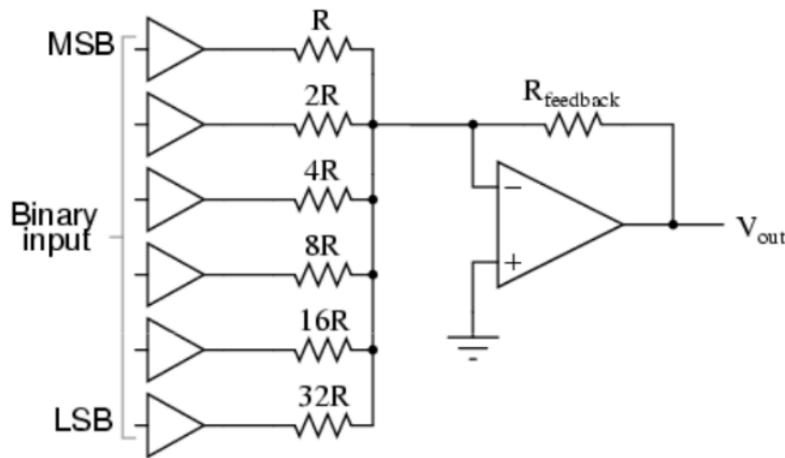


Figuur 25: Digitaal naar analoog (DA converter)

- Omzetten digitale naar analoge waarde
- Range
- Resolutie
- Samplefrequentie

### 6.1 Simple DAC

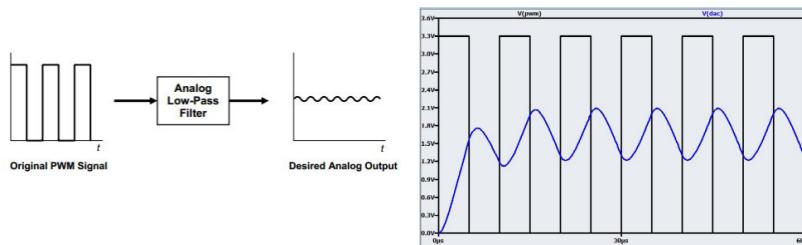
- Binair  $\Rightarrow$  analoge waarde
- Voorbeeld: weerstandsnetwerk



Figuur 26: Weerstandsnetwerk

## 6.2 Simpele DAC met PWM

- PWM == digitaal signaal
- Door variatie van duty-cycle kan de gemiddelde waarde worden gevarieerd
- Door filteren kan de blokgolf worden omgezet in een variabele analoge waarde



Figuur 27: DAC met PWM

## 6.3 Andere types

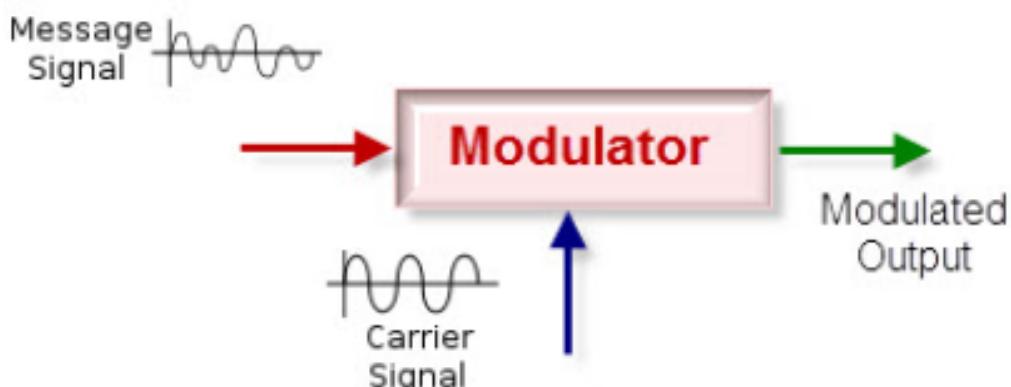
- $\Sigma\Delta$  (sigma delta) = herhaaldelijk downsampelen
- $I^2S$  DAC
- Nog zeer veel andere overwegingen:
  - THD (Harmonische vervorming)
  - Faseruis
  - ...

#### 6.4 Extra info over AD/DA conversie:

- [https://en.wikipedia.org/wiki/Digital-to-analog\\_converter](https://en.wikipedia.org/wiki/Digital-to-analog_converter)
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Analog-to-digital\\_converter](https://en.wikipedia.org/wiki/Analog-to-digital_converter)
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Nyquist%E2%80%93Shannon\\_sampling\\_theorem](https://en.wikipedia.org/wiki/Nyquist%E2%80%93Shannon_sampling_theorem)
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Nyquist\\_rate](https://en.wikipedia.org/wiki/Nyquist_rate)
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Pulse-width\\_modulation](https://en.wikipedia.org/wiki/Pulse-width_modulation)
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Delta-sigma\\_modulation](https://en.wikipedia.org/wiki/Delta-sigma_modulation)

## 7 Modulatie

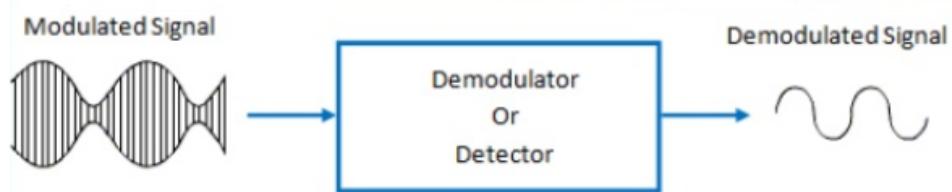
- Informatie toevoegen aan een draaggolf
- Door de variatie van minstens een van de eigenschappen van deze draaggolf



Figuur 28: Modulatie

### 7.1 Demodulatie

= Het terugwinnen van de informatie uit de gemoduleerde draaggolf



Figuur 29: Demodulatie

## 7.2 Modem

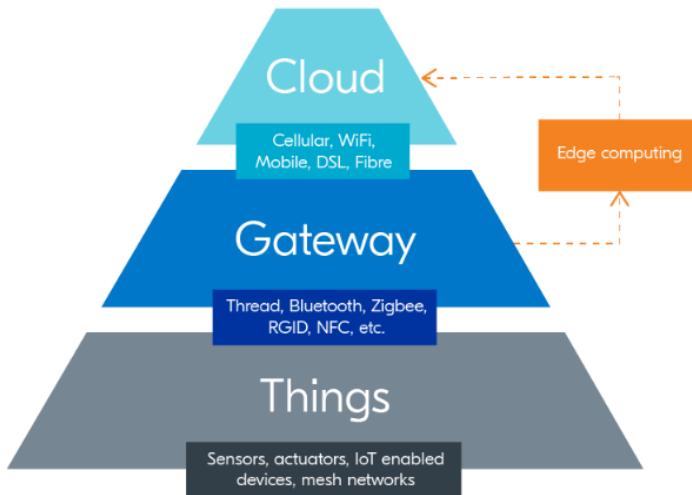
= Modulator + Demodulator



Figuur 30: Modem

## 7.3 Waarom?

- Interconnectie van IoT devices
- Vaak draadloos



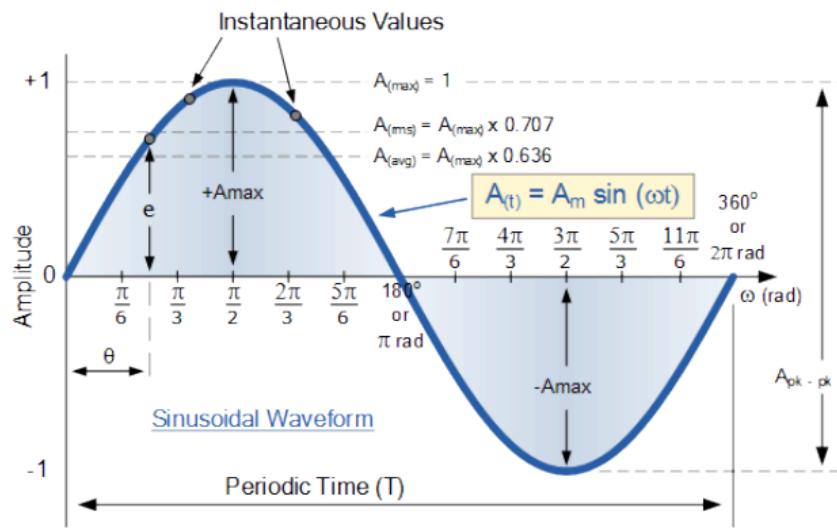
Figuur 31: Interconnectie van devices

## 7.4 Hoe?

- Draaggolf of carrier
- Signaal met een zekere (hogere) frequentie

## 7.5 Draaggolf

= carrier



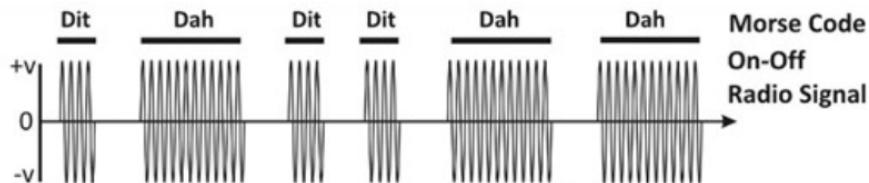
Figuur 32: Draaggolf

### 7.5.1 Parameters van een draaggolf

- Amplitude
- Frequentie / Periode

## 7.6 Simpele modulatie

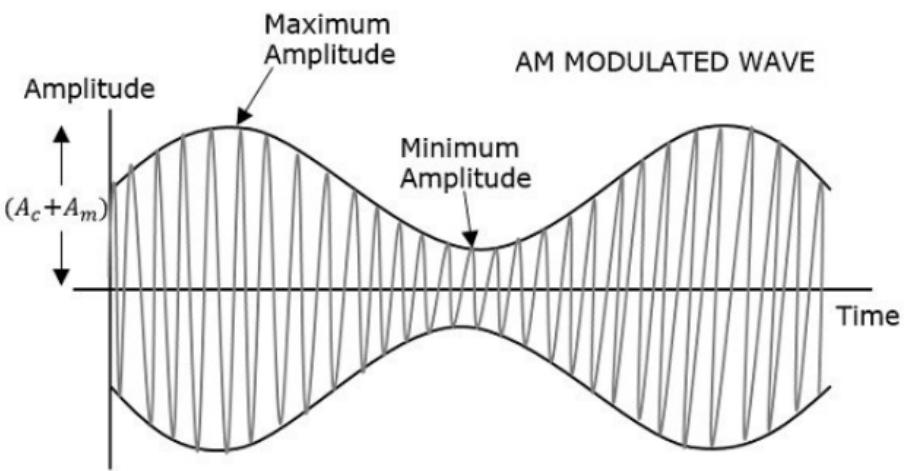
- Aan/uit schakelen van de draaggolf
- CW = continuous wave
- Bv: Morse code



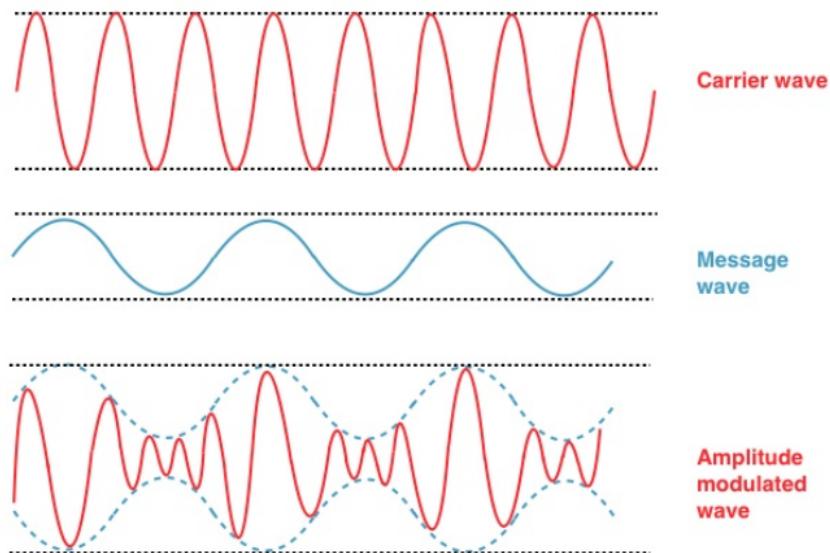
Figuur 33: Morse code

## 7.7 Amplitude modulatie (=AM)

- Aanpassen van de amplitude v/d draaggolf



Figuur 34: Amplitudemodulatie (1)

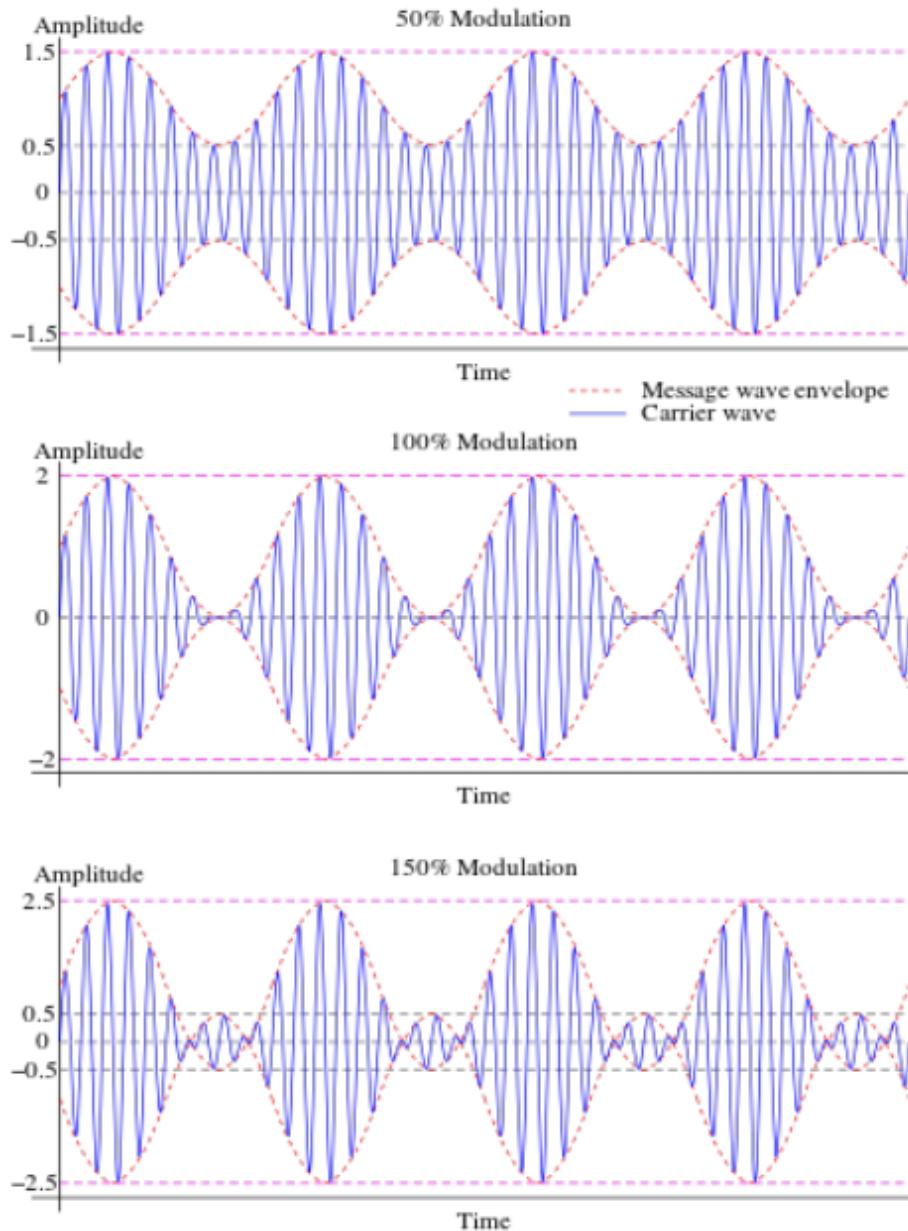


Figuur 35: Amplitudemodulatie (2)

- Radio LW/MW/SW AM
- Typisch gebruikt op 'lagere' HF banden: 100kHz - 60MHz

### 7.7.1 Overmodulatie

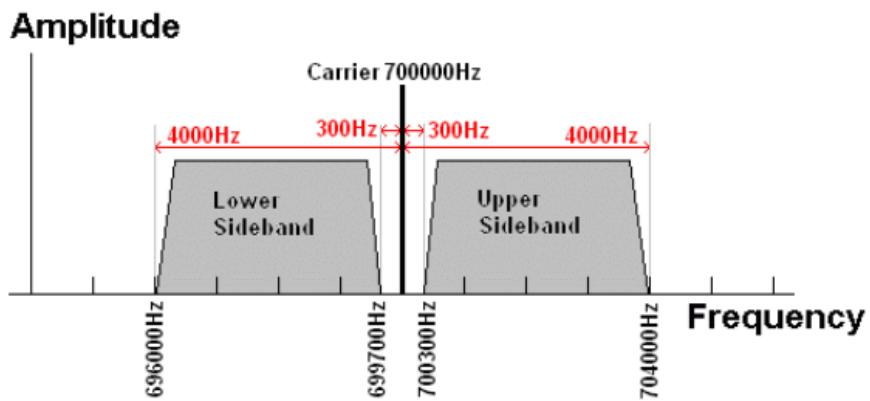
- Modulatiediepte (modulatie index)



Figuur 36: Overmodulatie

### 7.7.2 AM bandbreedte

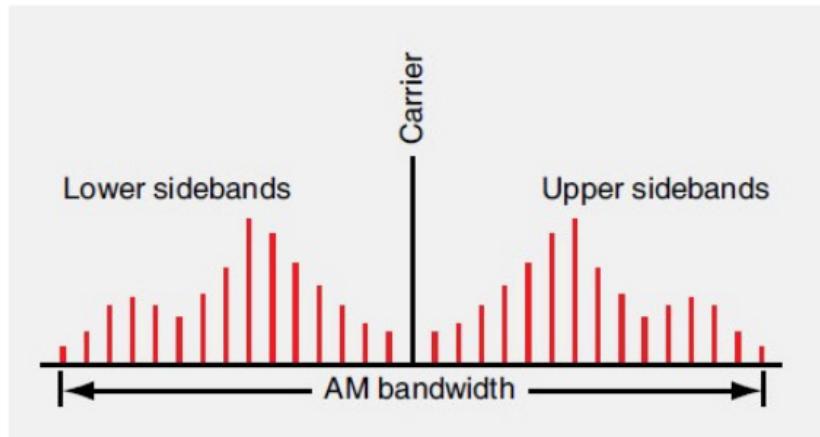
- Bandbreedte van een AM signaal:
  - Centerfrequentie = draaggolffrequentie
  - 2x frequentie van gemoduleerd signaal in totaal



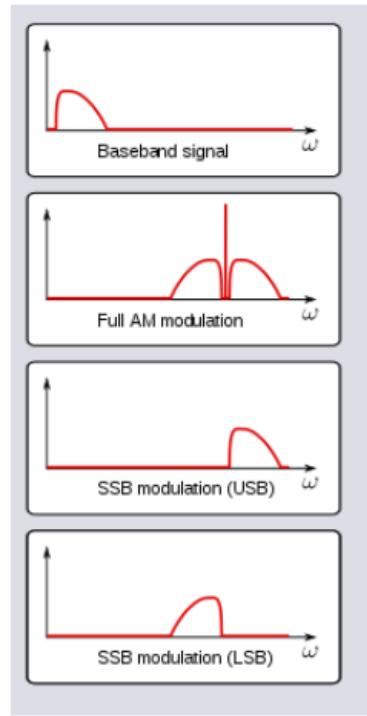
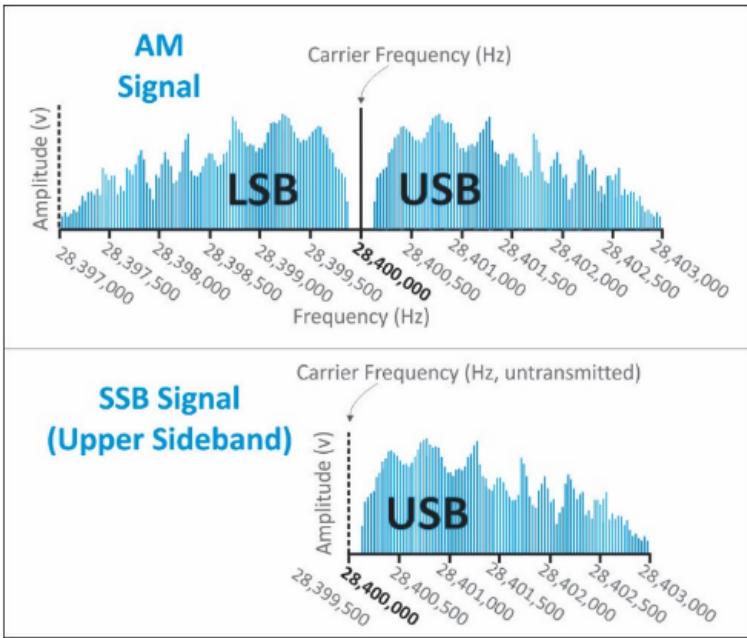
Figuur 37: AM bandbreedte

#### 7.7.3 SSB modulatie (USB/LSB)

- Alle informatie zit in elke sideband (zijband) bij AM
- Carrier + 1 sideband wegfilteren = reductie van de bandbreedte
- Efficienter gebruik van het spectrum
- Moeilijk om goed te demoduleren



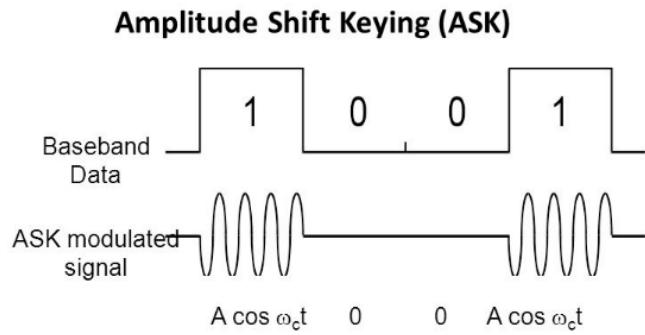
Figuur 38: Zijbanden AM band



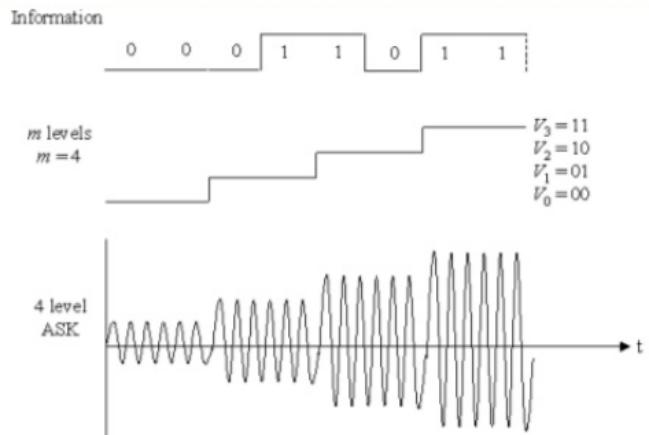
Figuur 39: SSB Modulatie: we zenden alleen 1 van de zijbanden

#### 7.7.4 ASK Modulatie

- Amplitude shift keying
- Vorm van AM-modulatie voor digitale signalen
- Mogelijk met meerdere signaalniveaus
- 4-level ASK



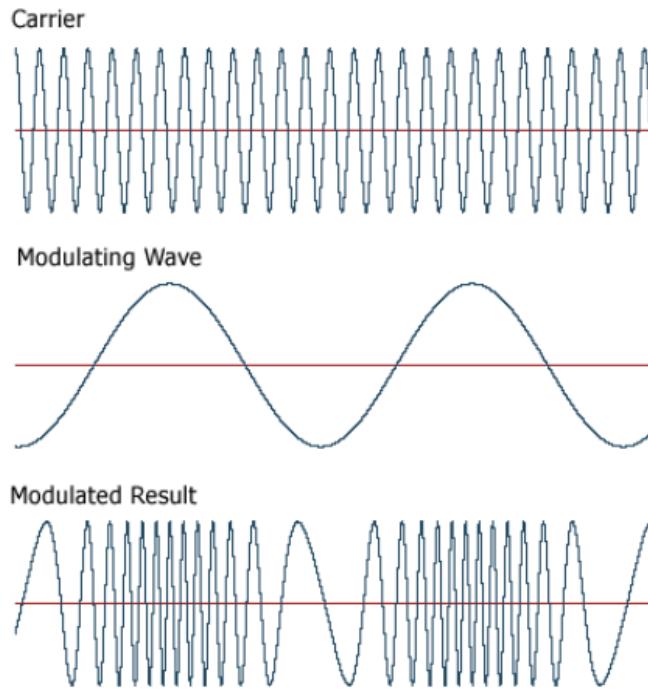
Figuur 40: ASK



Figuur 41: 4 level ASK

## 7.8 Frequentie modulatie (=FM)

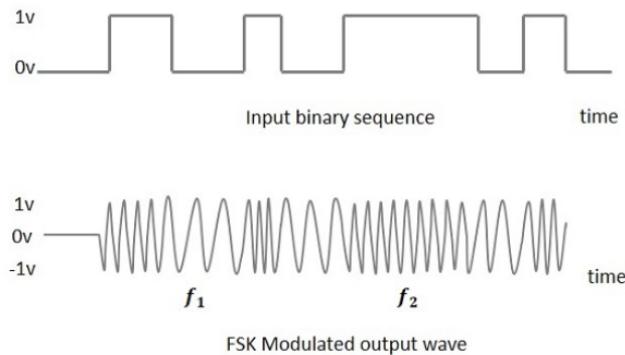
- Variatie in de frequentie van de draaggolf
- FM radio 88MHz - 108MHz
- VHF Maritieme radio
- UHF PMR Radios



Figuur 42: Frequentie modulatie

#### 7.8.1 FSK modulatie

- Frequency Shift Keying
- Vorm van FM
- Wisselen tussen 2 of meer frequenties

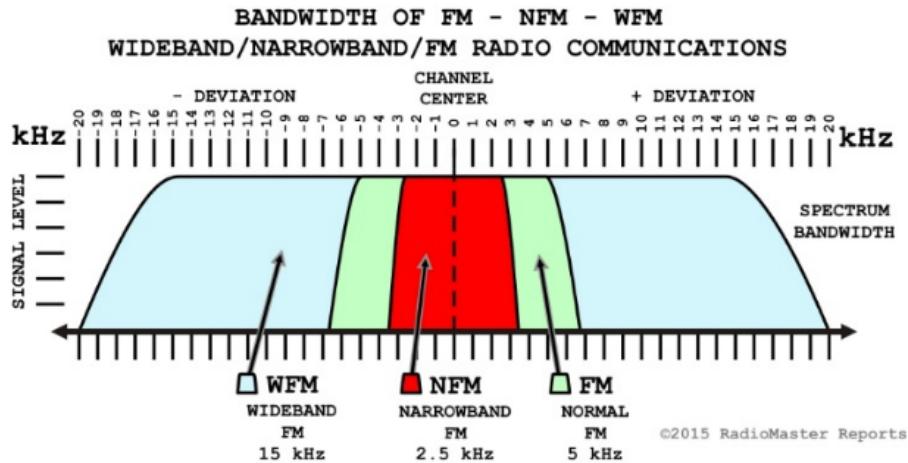


Figuur 43: FSK

#### 7.8.2 FM Modulatie

- Carrier is altijd op 100% amplitude aanwezig tijdens transmissie

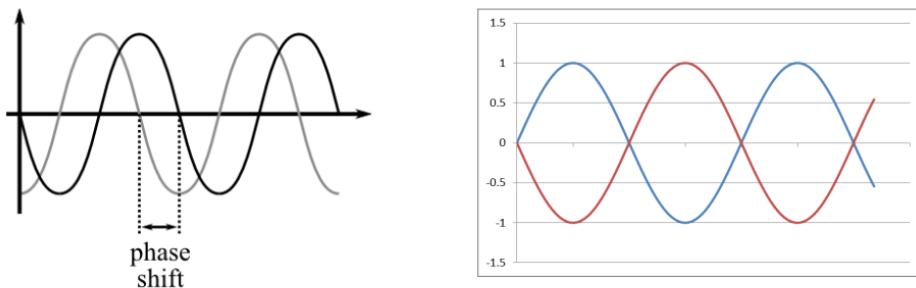
- Minder ruis, betere kwaliteit voor audio dan AM
- Hogere bandbreedte  $\Rightarrow$  Meer stroomverbruik
- WFM (Wide FM), NFM (Narrow FM), FM



Figuur 44: Bandbreedte FM - NFM - WFM

### 7.8.3 Fase modulatie

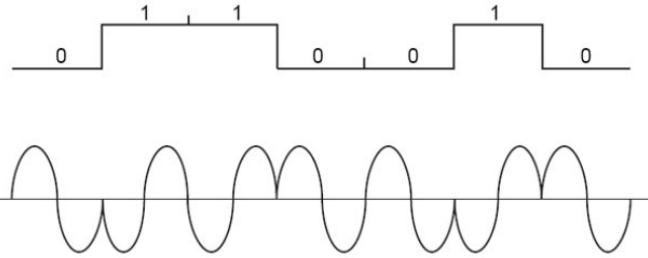
- Faseverschuiving van een signaal



Figuur 45: Faseverschuiving

### 7.8.4 PSK modulatie

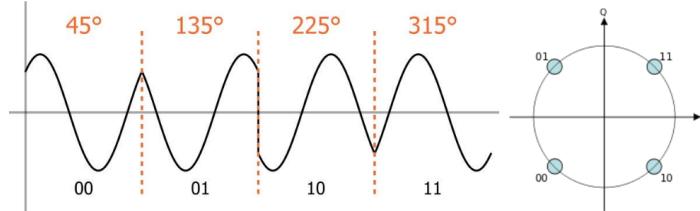
- Phase shift keying
- Bij wisselen van bit  $\Rightarrow$  fase omkeren



Figuur 46: Fasemodulatie

#### 7.8.5 Phase Shift Modulatie

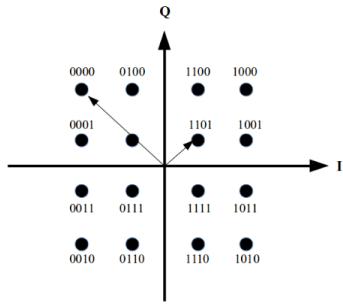
- BPSK  $\Rightarrow$  Binary PSK = 2 fase
- QPSK  $\Rightarrow$  Quadrature PSK = 4 fase



Figuur 47

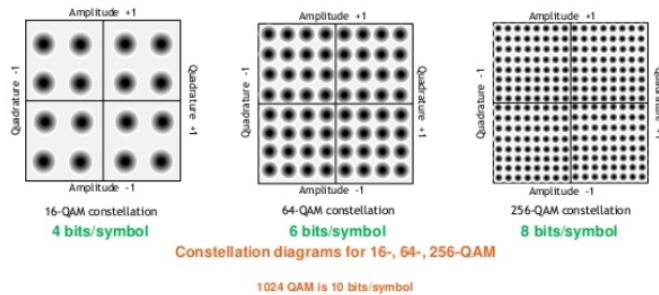
#### 7.8.6 QAM modulatie

- Quadrature amplitude modulatie
- Informatie zit ...
  - de amplitude (zoals bij ASK)
  - de fase (zoals bij PSK)
- Meerdere symbolen
  - 4-QAM
  - 16-QAM
  - 64-QAM
  - ...



Figuur 48: QAM modulatie

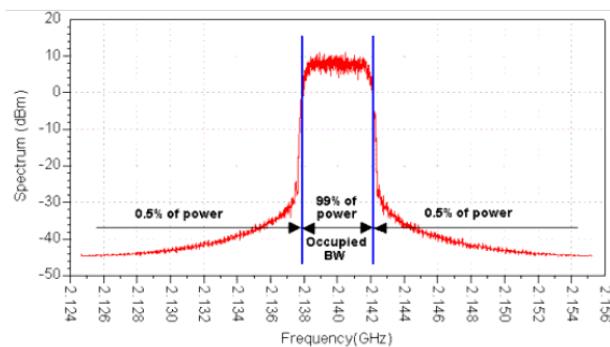
- DAB+  $\Rightarrow$  4/16/64 - QAM
- Hogere transmissiesnelheid
- Gevoeliger voor fouten



Figuur 49: 16-, 64-, 256-QAM

### 7.8.7 Bandbreedte / vermogen

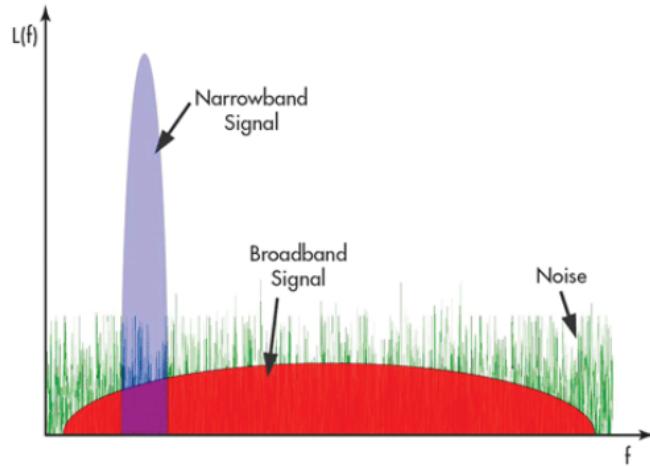
- Meer bandbreedte = hogere snelheid
- Meer bandbreedte = hoger vermogen nodig



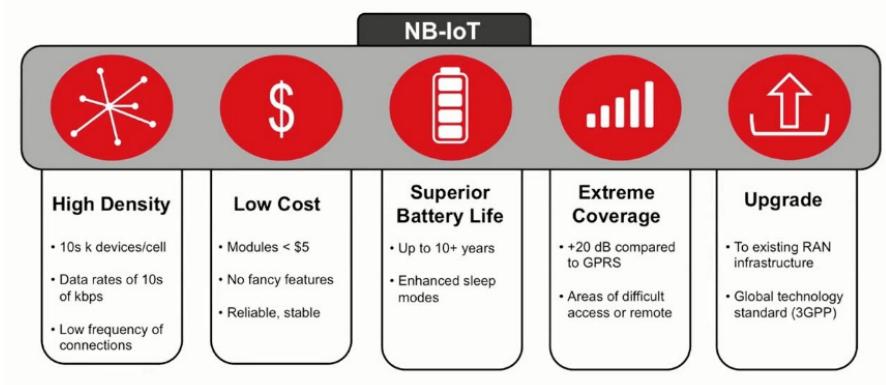
Figuur 50

### 7.8.8 Waarom Narrow-band?

- Oppervlakte van het signaal = Power
- Bij smalbandige signalen  $\Rightarrow$  betere SNR (signaal-naar-ruis) verhouding bij hetzelfde vermogen
- Om met een klein vermogen heel grote afstanden overbruggen
- Zeer traag



Figuur 51: Waarom Narrow-band: narrow-band kan makkelijker boven ruisniveau

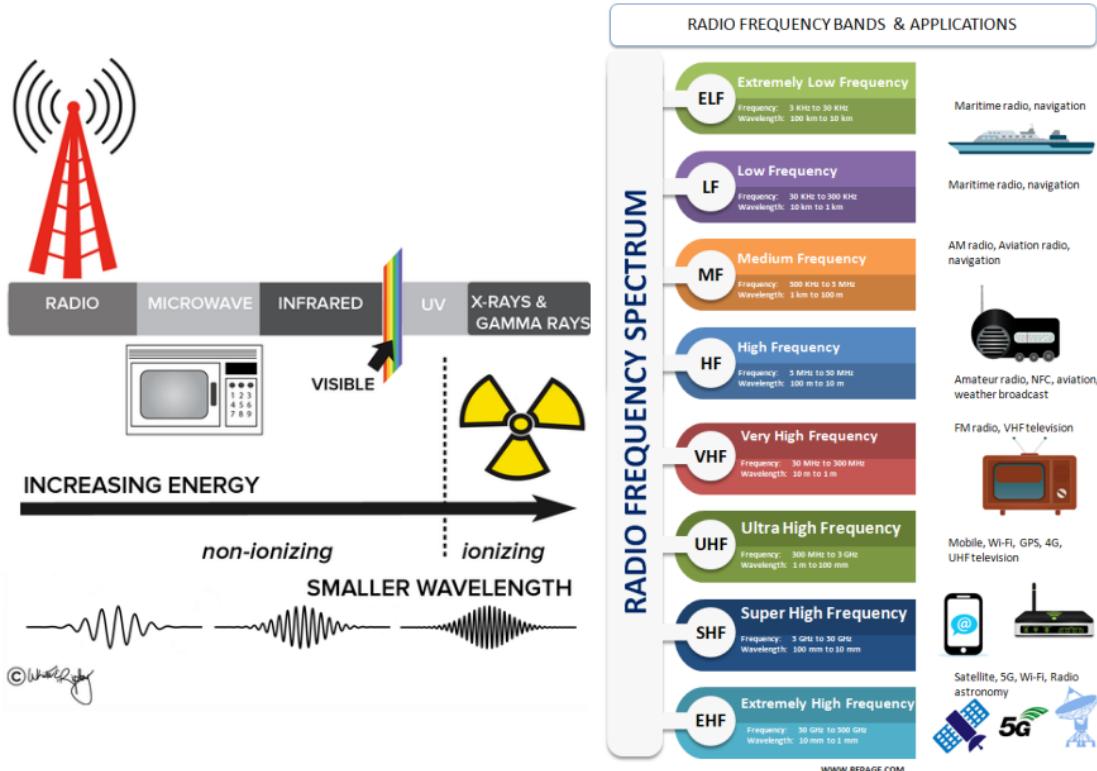


Figuur 52: Voorbeeld: NB-IoT



Figuur 53: Voorbeeld: Telefoonmodem (<https://www.youtube.com/watch?v=ckc6XSSh52w>)

## 8 RF-spectrum



Figuur 54: Radiogolven op het spectrum

### 8.1 Beschikbare bandbreedte

- In de hogere frequentiebanden is meer bandbreedte beschikbaar
- Voorbeeld:
  - 2.4GHz WiFi: 20MHz bandbreedte
  - 5GHZ 802.11ac WiFi: 80MHz bandbreedte
  - 1 WiFi kanaal  $\in$  volledige AM-radio LW + MW + SW band

- Meer bandbreedte = mogelijk hogere datarates

Number of Streams	Bitrate	Channel Width		
		20 MHz	40 MHz	80 MHz
1 stream	87 Mbps	200 Mbps	433 Mbps	
2 streams	173 Mbps	400 Mbps	866 Mbps	
3 streams	289 Mbps	600 Mbps	1300 Mbps	

Figuur 55: Impact van hogere bandbreedtes op datarates

## 8.2 Licenties en licentievrije banden

- Beheer van het spectrum
- In Belgie door het BIPT
- In de VS door het FCC
- Harmonisatie in Europa / VS / Azië
- <https://www.bipt.be/nl/operatoren/radio/frequentiebeheer/frequentieplan/tabel>

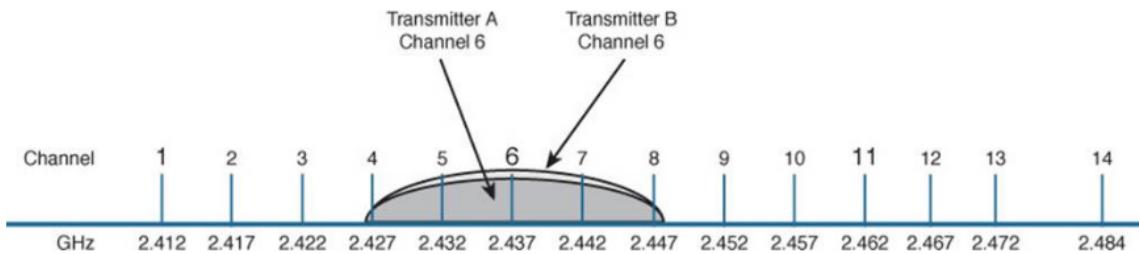
## 8.3 ISM banden

- = Industrial / Scientific / Medical - Band
- Geen vergunning nodig voor gebruik
- Is aan strikte voorwaarden verbonden
  - Maximaal vermogen
  - Maximale transmissietijd
  - Maximale periodiciteit van transmissies
  - Maximale bandbreedte
  - ...
- Specifieke banden zijn hiervoor vrijgegeven

## 8.4 Interferentie

### 8.4.1 Co-channel interferentie

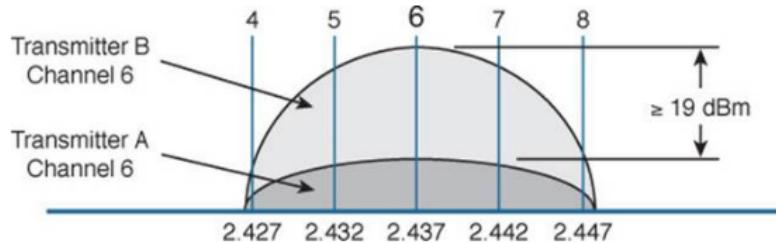
Wat als meerdere systemen dezelfde band gebruiken?



Figuur 56: Co-channel Interferentie

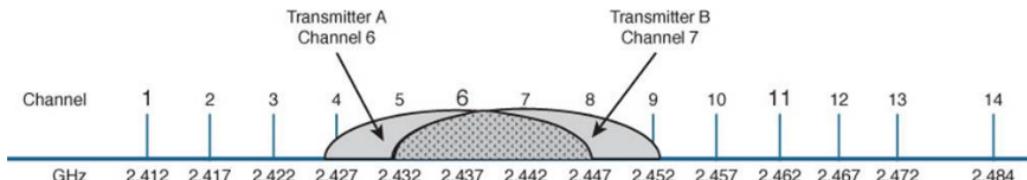
#### 8.4.2 Signaalseparatie

- Minimaal verschil is afhankelijk van modulatietype
- Voorbeeld:
  - BPSK > 10dB
  - 256-QAM > 40dB



Figuur 57: Signaalseparatie

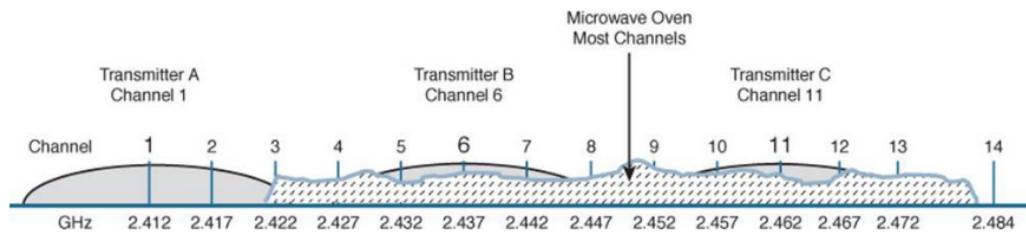
#### 8.4.3 Interferentie van naburige kanalen



Figuur 58: Interferentie van naburige kanalen

#### 8.4.4 Interferentie van andere toestellen

- Ruis / atmosferische storingen
- SNR  $\Rightarrow$  Signaal / Ruis verhouding



Figuur 59: Interferentie van andere toestellen

## 8.5 Meten van interferentie

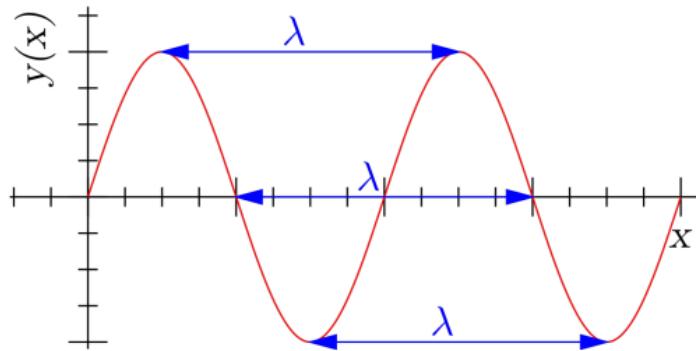
- Meten van WiFi kanalen kan met software
- Software is niet in staat niet-WiFi signalen te meten
- Kan worden gemeten met een spectrum analyzer



Figuur 60: Meten van interferentie

## 8.6 Golflengte

- Golflengte in meter is een andere wijze om de frequentie weer te geven
- Relevant bij antennes en transmissielijnen
- $\lambda = \frac{c}{f}$
- $c$  = lichtsnelheid = 299 792 458 m/s



Figuur 61: Golflengte  $\lambda$

### 8.6.1 Rekenvoorbeeld

Frequentie van 102.1 MHz

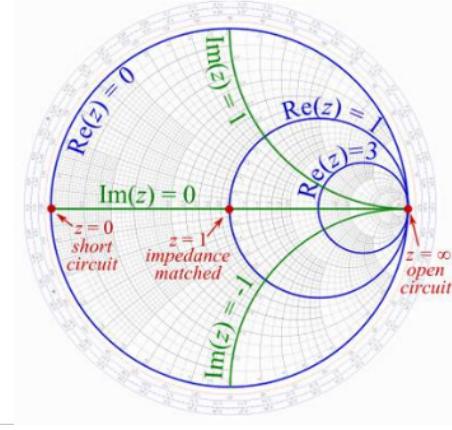
- $\lambda = \frac{299\ 792\ 458 \text{ m/s}}{102.1 \text{ MHz}} = 2.936 \dots \text{ m}$

”De 70 cm band”:

- $f = \frac{(299\ 792\ 458)}{\lambda} = \frac{(299\ 792\ 458)}{0.7 \text{ m}} = 428\ 274\ 940 \text{ Hz} = 430 \text{ MHz}$

## 8.7 Antennesysteem

- Een antenne stuurt / ontvangt zoveel mogelijk van de RF-energie op de gewenste frequentie
- $\Rightarrow$  resonantie van het antennesysteem op de gewenste frequentie
- Formaat van de antenne is vaak beperkende factor

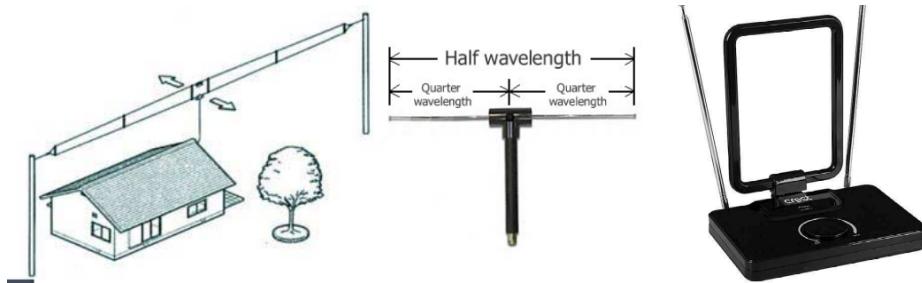


Figuur 62

### 8.7.1 De dipool antenne

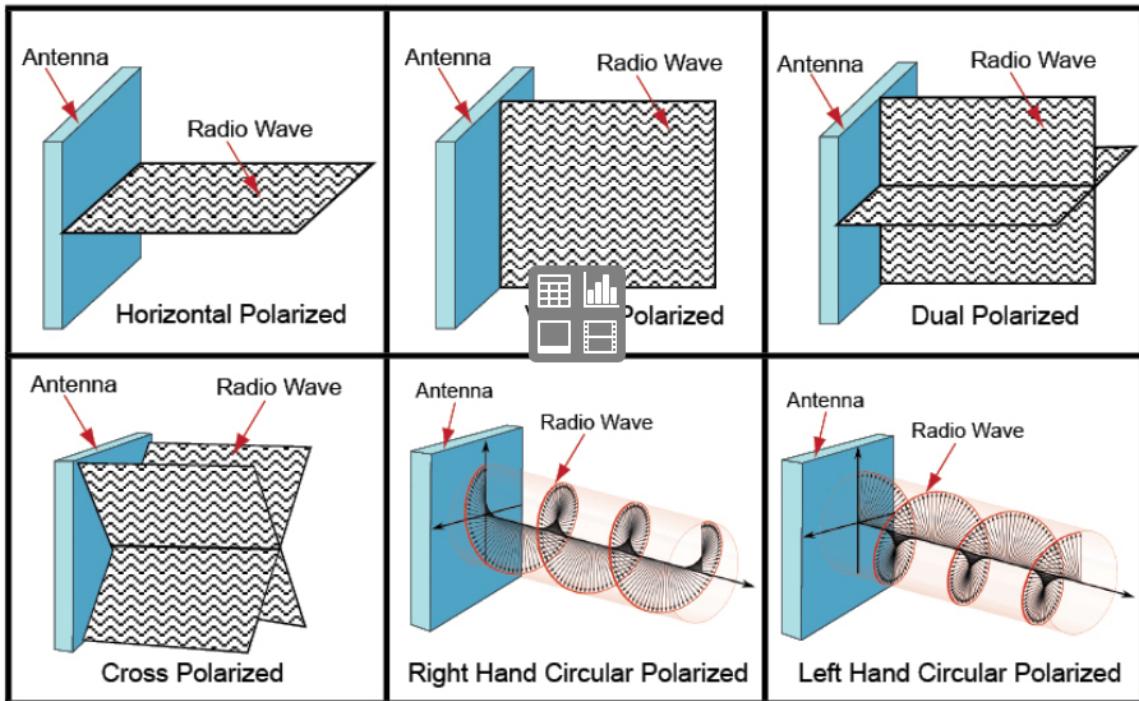
- Zeer eenvoudig

- $\frac{1}{2}\lambda$  groot
- Vaak toegepast
- Kan worden 'opgeplooid'



Figuur 63: Dipool antenne

#### 8.7.2 Polarisatie van antennes

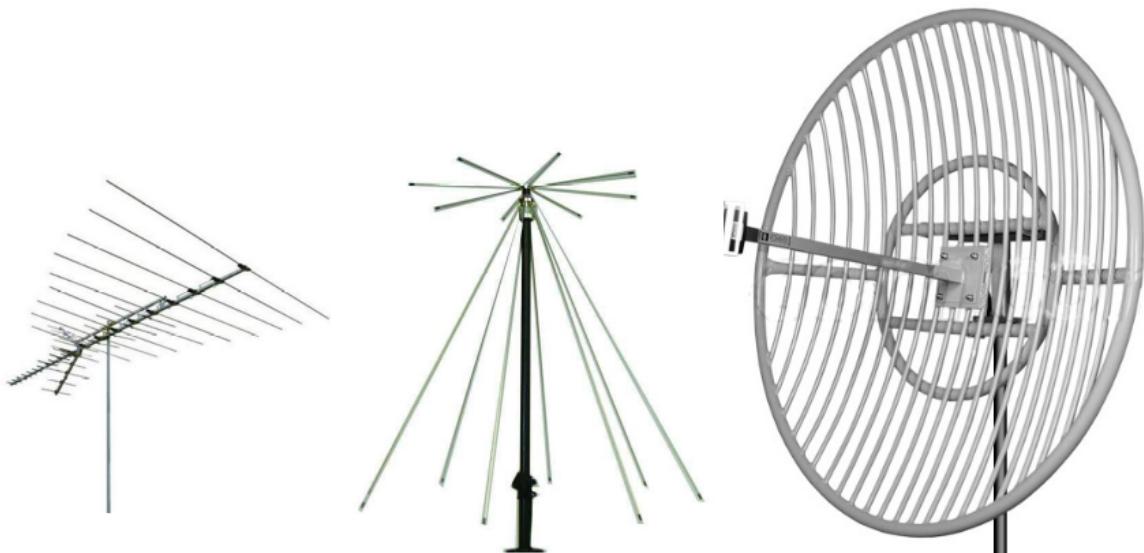


Figuur 64: Polarisatie van antennes

#### 8.7.3 Directionaliteit van antennes

- Omnidirectionele antenne
  - Meestal dipolen of end-fed (=stukje draad)
  - Discone

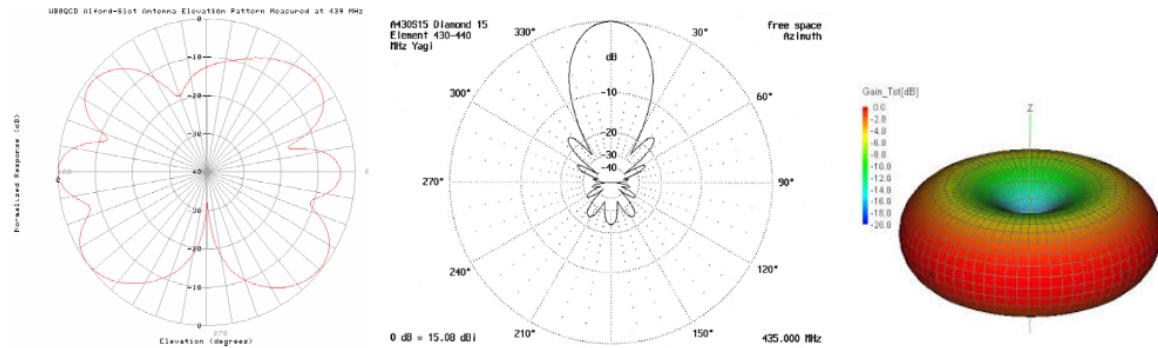
- Directionele antenne (beam)
  - Schotelantenne
  - Yagi
  - Patch



Figuur 65: Directionaliteit van antennes

#### 8.7.4 Stralingspatroon van antennes

- Gevoeligheid van antennes is niet overal hetzelfde
- Zeer afhankelijk van constructie en type antenne

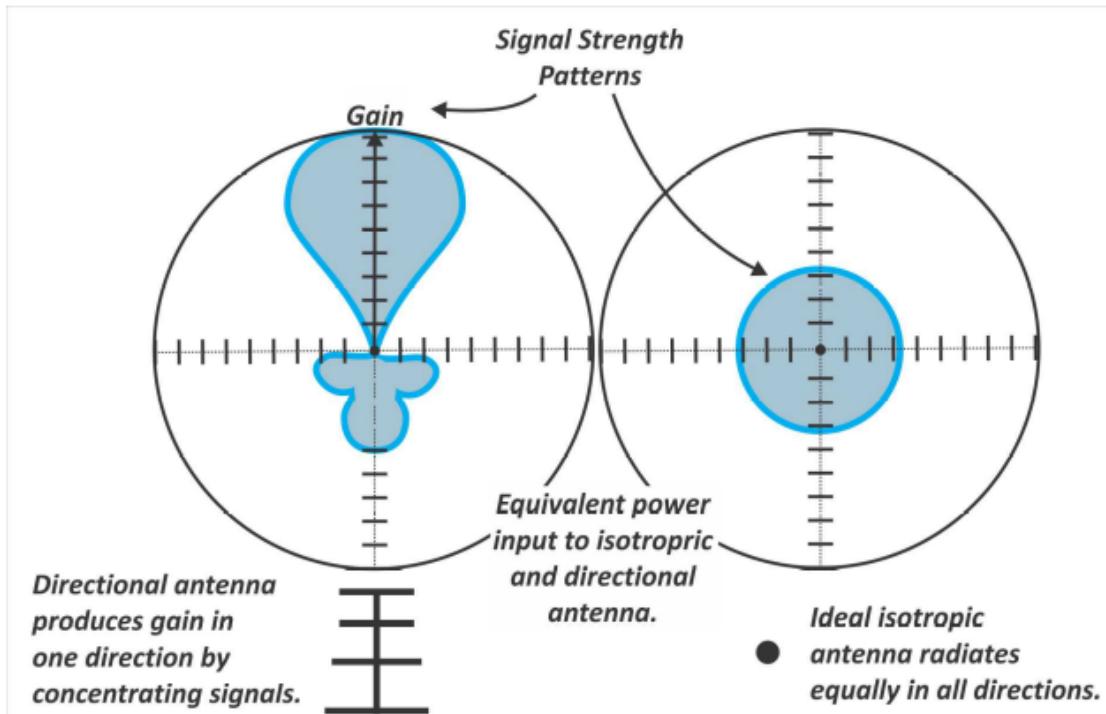


Figuur 66: Stralingspatroon van antennes

#### 8.7.5 Gain van een antenne

- Gain = versterking

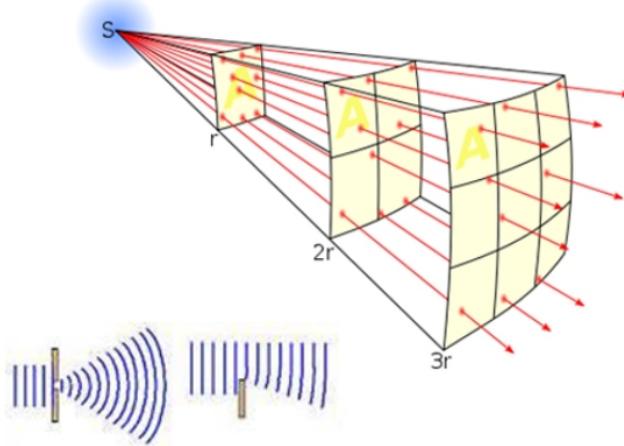
- Uitgedrukt in dB
- Nooit 'magisch', er is altijd een trade-off
  - Directionaliteit
  - Bandbreedte



Figuur 67: Gain van een antenne

## 8.8 Propagatie van RF-signalen

- Absorptie
- Reflectie
- Scattering
- Refractie
- Path loss
- ...



Figuur 68: Propagatie van RF-signalen

#### 8.8.1 Path loss

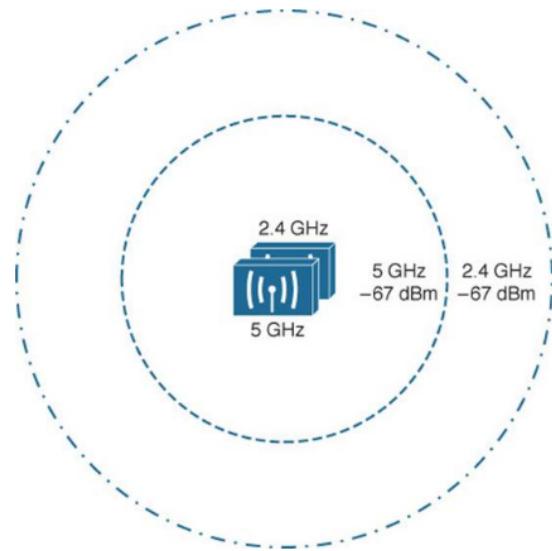
- Verzwakking van het signaal met afstand zonder obstakels  $\Rightarrow$  free space path loss
- **Oorzaak** uitdeinen van het signaal
- Verzwakking is exponentieel met de afstand
- Enkel afhankelijk van frequentie en afstand
- Hogere frequenties hebben hoger path loss

$$\text{FSPL (dB)} = 20 \cdot \log_{10}(d) + 20 \cdot \log_{10}(f) + 32.44$$

- d = afstand in km
- f = frequentie in MHz

#### 8.8.2 Signaalverzwakking / path loss

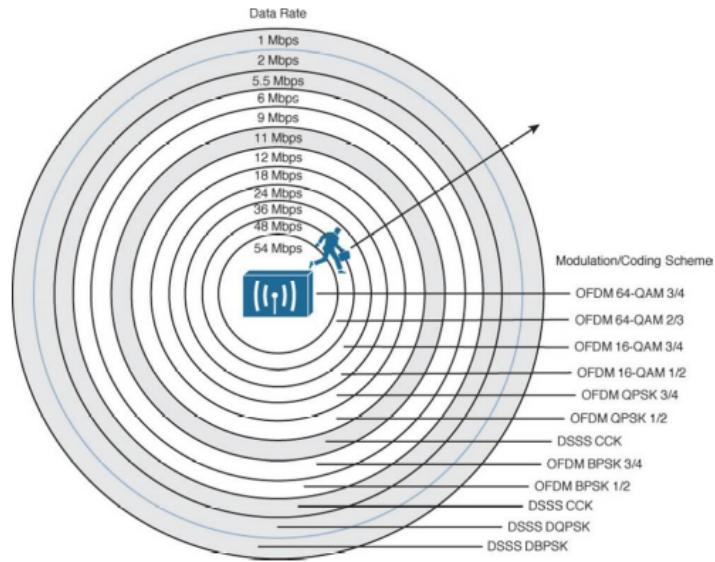
- Meer verzwakking bij hogere frequenties
- Minder bandbreedte bij lagere frequenties
- Wat is beter?
  - 2.4GHz WiFi
  - 5GHz WiFi



Figuur 69: Signaalverzwakking / path loss

### 8.8.3 Dynamic Rate Shifting (DRS)

- Modulatietechniek dynamisch aanpassen aan de signaalcondities
- Minder gunstige SNR  $\Rightarrow$  Lagere datarate kiezen
- Andere modulatievorm

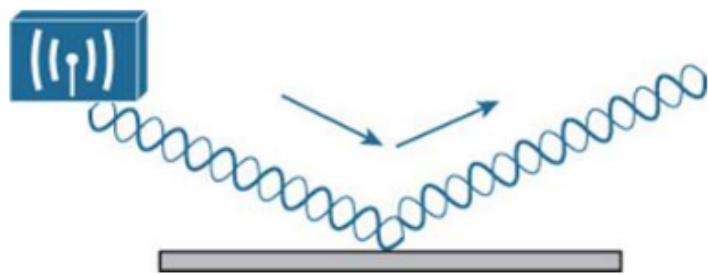


Figuur 70: Dynamic Rate Shifting

### 8.8.4 Reflectie

- Signaal wordt gereflecteerd

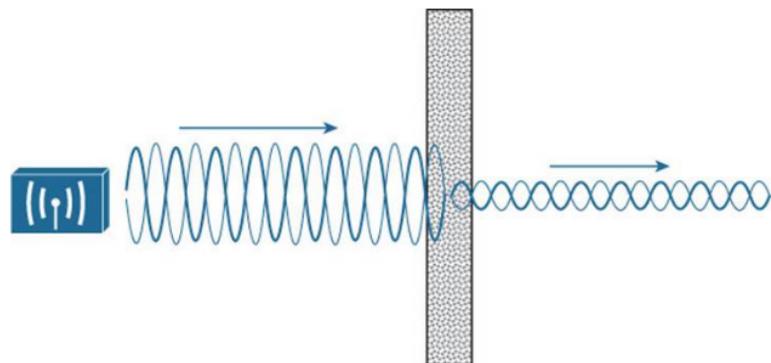
- Bv:
  - Door metalen objecten
  - Water
  - ...



Figuur 71: Reflectie

#### 8.8.5 Absorptie

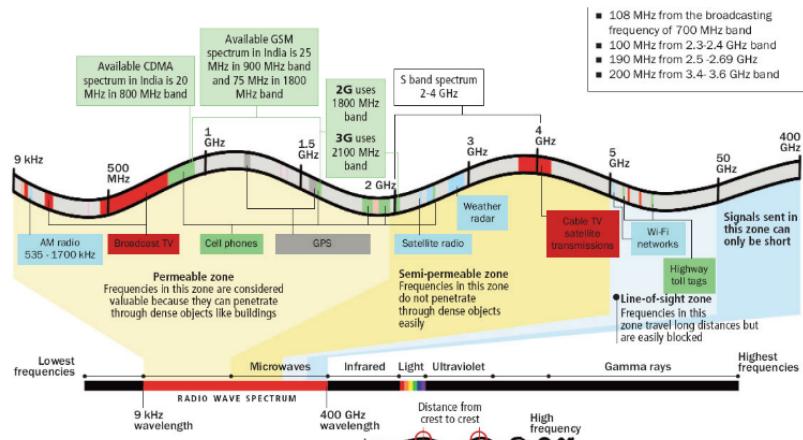
- Signaal kan deels of volledig worden geabsorbeerd
- Resulteert in verzwakking van bruikbare signaal
- Verzwakking = attenuatie typisch in dB



Figuur 72: Absorptie

#### 8.8.6 Doordringbaarheid

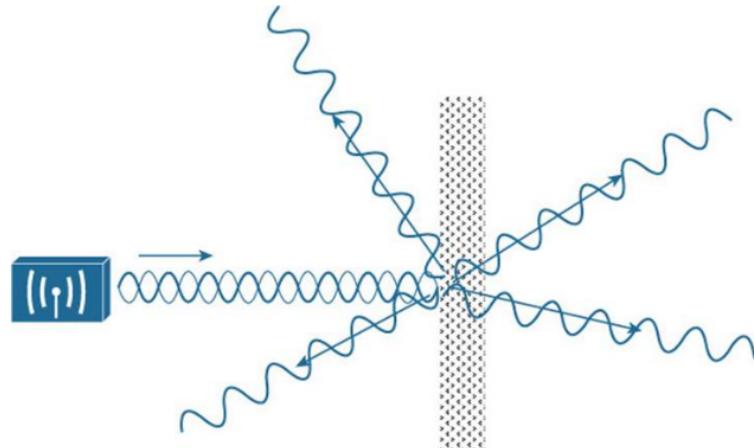
- Hogere frequenties worden gemakkelijk tegengehouden door objecten
- Lagere frequenties kunnen gemakkelijker door objecten heen



Figuur 73: Doordringbaarheid

#### 8.8.7 Scattering

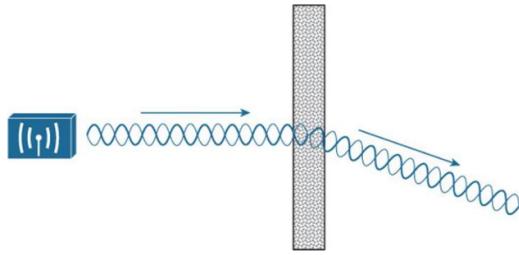
- Signaal wordt gereflecteerd in diverse richtingen
- Oneffen oppervlaktes
- Wolken materiaal by zand, ...



Figuur 74: Scattering

#### 8.8.8 Refractie

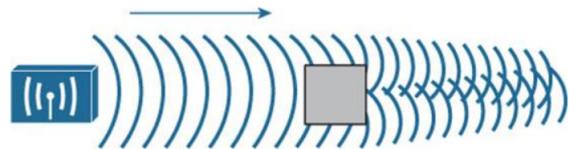
- Bij 2 media met verschillende dichtheid
- Afbuiging van het signaal



Figuur 75: Refractie

#### 8.8.9 Diffractie

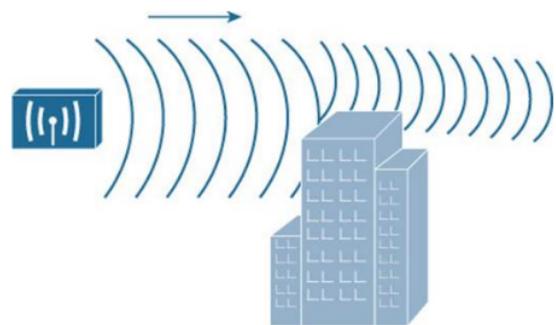
- RF-signalen worden beïnvloed door obstakels
- Gaat er niet door maar “rond”, zoals water rond een paaltje in een rivier
- Verstoort / vermindert het RF-signalen



Figuur 76: Diffractie

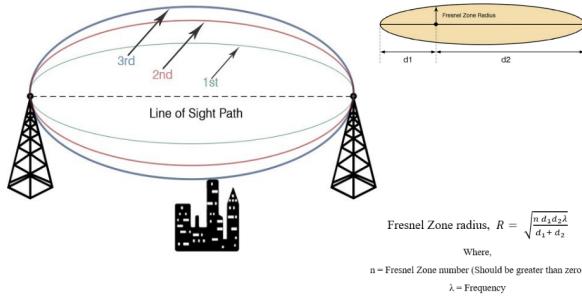
#### 8.8.10 Fresnel zones

- Golfmodel RF-signalen
- Worden ook beïnvloed door objecten in nabijheid
- Niet enkel door objecten in line-of-sight



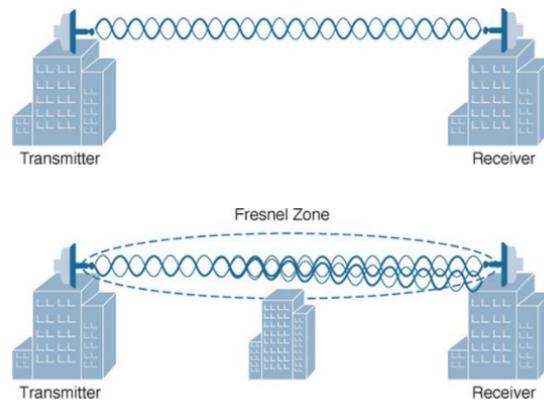
Figuur 77: Fresnel zones

- Afhankelijk van frequentie en afstand



Figuur 78: Fresnel zone radius is afhankelijk van frequentie en afstand

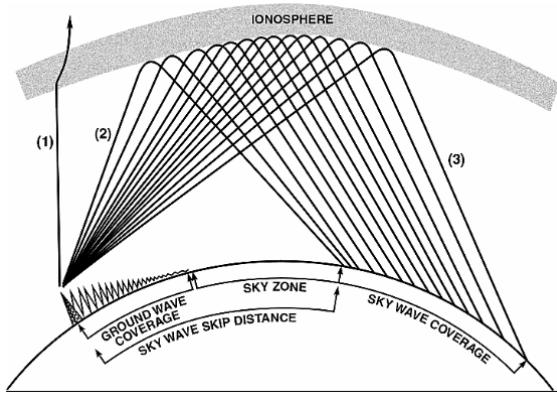
- Communicatie kan verstoord worden, zelfs door een object buiten de line-of-sight



Figuur 79: Verstoring door object in line-of-sight van transmissie

### 8.8.11 Propagatie van RF-signalen

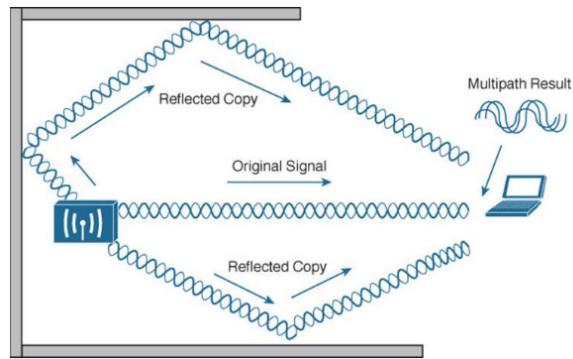
- Bepaalde effecten kunnen worden gebruikt
- Bv: Communicatie mbv reflectie op de ionosfeer



Figuur 80: communicatie mbv reflectie op de ionosfeer

### 8.8.12 MIMO

- = Multiple In / Multiple Out
- Reflectie en scattering kan positief worden gebruikt
- Beamforming
- Extra processing nodig



Figuur 81: MIMO

### 8.8.13 Multiplexing