

# Sensors & Interfacing

Tuur Vanhoutte

9 maart 2020

# Inhoudsopgave

<b>1 Communicatie</b>	<b>1</b>
1.1 Datacommunicatie in IoT . . . . .	1
1.2 Data . . . . .	1
1.3 Communicatie . . . . .	1
1.3.1 Communicatieafspraken . . . . .	2
1.3.2 Encoding/Decoding . . . . .	2
1.3.3 Signalen . . . . .	2
1.3.4 Communicatiemedia . . . . .	2
1.3.5 Voorbeelden . . . . .	2
1.3.6 Eigenschappen van media . . . . .	2
1.3.7 Afspraken . . . . .	3
1.3.8 Standaardiseren van . . . . .	3
<b>2 Analoog vs digitaal</b>	<b>3</b>
2.1 Toestanden . . . . .	3
2.1.1 Bepaalde toestand . . . . .	3
2.1.2 Digitale toestanden . . . . .	3
2.1.3 Analoge toestanden . . . . .	4
2.2 Signalen . . . . .	4
<b>3 Analoge signalen</b>	<b>4</b>
3.0.1 Transducer . . . . .	4
3.0.2 Sensoren en Actuatoren . . . . .	4
3.1 Analoge communicatie . . . . .	4
3.1.1 Eigenschappen . . . . .	5
3.1.2 Wisselspanning - Eigenschappen . . . . .	5
3.1.3 Periodieke signalen . . . . .	6
3.1.4 Tijdsdomein en frequentiedomein . . . . .	6
<b>4 Digitale signalen</b>	<b>7</b>
4.1 Duty Cycle . . . . .	7
4.2 Flanken (edge) . . . . .	7
4.3 Weergave digitale signalen . . . . .	8
<b>5 AD/DA conversie</b>	<b>8</b>
5.1 Analoog naar digitaal . . . . .	9
5.1.1 Voorbeeld A . . . . .	9
5.1.2 Voorbeeld B . . . . .	9
5.1.3 Sample Rate / sample frequentie . . . . .	11
5.1.4 Aliasing . . . . .	12
5.1.5 Oversampling . . . . .	13
5.1.6 Implementatie en types . . . . .	13
5.1.7 Flash ADC . . . . .	13
5.1.8 Successive approximation ADC . . . . .	14
5.2 Digitaal naar analoog conversie . . . . .	15
5.2.1 Simpele DAC . . . . .	15
5.2.2 Simpele DAC adhv PWM . . . . .	16
5.2.3 Andere types . . . . .	16
5.2.4 Nalezen: . . . . .	17

<b>6 Modulatie</b>	<b>17</b>
6.1 Demodulatie . . . . .	17
6.2 Modem . . . . .	18
6.3 Waarom? . . . . .	18
6.4 Hoe? . . . . .	18
6.5 Draaggolf . . . . .	18
6.6 Simpel . . . . .	19
6.7 Amplitude modulatie (=AM) . . . . .	19
6.7.1 Overmodulatie . . . . .	20
6.8 AM bandbreedte . . . . .	21
6.9 SSB modulatie (USB/LSB) . . . . .	22
6.10 ASK Modulatie . . . . .	22
6.11 Frequentie modulatie . . . . .	23
6.12 FSK modulatie . . . . .	24
6.13 FM Modulatie . . . . .	24
6.14 Fase modulatie . . . . .	25
6.15 PSK modulatie . . . . .	25
6.16 Phase Shift Modulatie . . . . .	26
6.17 QAM modulatie . . . . .	26
6.18 Bandbreedte / vermogen . . . . .	27
6.19 Waarom Narrow-band . . . . .	27
<b>7 RF-spectrum</b>	<b>29</b>
7.1 Beschikbare bandbreedte . . . . .	29
7.2 Licenties en licentievrije banden . . . . .	29
7.3 ISM banden . . . . .	30
7.4 Interferentie . . . . .	30
7.4.1 Co-channel interferentie . . . . .	30
7.4.2 Signaalseparatie . . . . .	30
7.4.3 Interferentie van naburige kanalen . . . . .	31
7.4.4 Interferentie van andere toestellen . . . . .	31
7.5 Meten van interferentie . . . . .	31
7.6 Golflengte . . . . .	32
7.6.1 Rekenvoorbeeld . . . . .	32
7.7 Antennesysteem . . . . .	33
7.7.1 De dipool antenne . . . . .	33
7.7.2 Polarisatie van antennes . . . . .	34
7.7.3 Directionaliteit van antennes . . . . .	34
7.7.4 Stralingspatroon van antennes . . . . .	35
7.7.5 Gain van een antenne . . . . .	35
7.7.6 Propagatie van RF-signalen . . . . .	36
7.7.7 Path loss . . . . .	37
7.7.8 Signaalverzwakking / path loss . . . . .	37
7.7.9 Dynamic rate shifting (DRS) . . . . .	38
7.7.10 Reflectie . . . . .	39
7.7.11 Absorptie . . . . .	39
7.7.12 Doordringbaarheid . . . . .	40
7.7.13 Scattering . . . . .	40
7.7.14 Refractie . . . . .	40
7.7.15 Diffractie . . . . .	41
7.7.16 Fresnel zones . . . . .	41
7.7.17 Propagatie van RF-signalen . . . . .	42

7.7.18 MIMO . . . . .	43
7.7.19 Multiplexing . . . . .	43

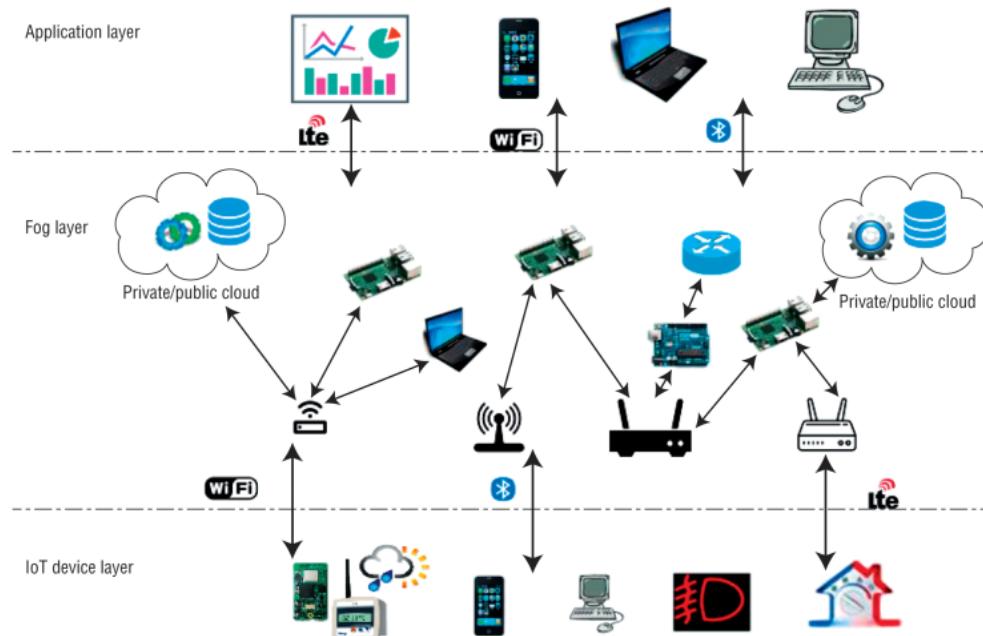
# 1 Communicatie

## 1.1 Datacommunicatie in IoT

3 lagen:

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

# Datacommunicatie in IoT



## 1.2 Data

- "Pre-informatie"
- Gegevens waaruit informatie kan worden gewonnen
- Stelt een bepaalde toestand voor

## 1.3 Communicatie

Overbrengen van informatie tussen deelnemers

- Boodschap
- Signaal
- Medium

### **1.3.1 Communicatieafspraken**

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

### **1.3.2 Encoding/Decoding**

1. Codifying
2. Sending the message
3. Decodifying

### **1.3.3 Signalen**

- Licht
- Geluid
- Elektriciteit
- ...

### **1.3.4 Communicatiemedia**

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

### **1.3.5 Voorbeelden**

- Welke codering?
- Wat is het signaal?
- Wat is het medium?

### **1.3.6 Eigenschappen van media**

- Vatbaarheid voor interferentie
- Overbrugbare afstand
- Praktisch
- Kostprijs

### **1.3.7 Afspraken**

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

### **1.3.8 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**

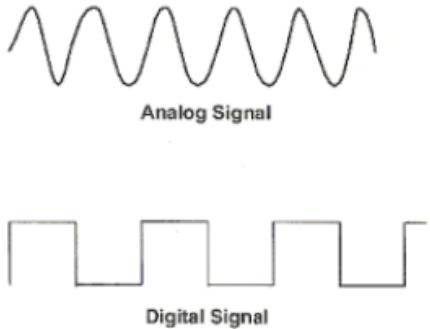
- Licht aan/uit
- Deur open/dicht
- Keuze van versnelling N - 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - R
- Ruitenwisser interval uit - interval - traag - snel
- ...

### 2.1.3 Analoge toestanden

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

## 2.2 Signalen

- Analoog signaal
- Digitaal signaal



## 3 Analoge signalen

### 3.0.1 Transducer

Omzetten van een analoog signaal naar een ander analoog signaal.

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

### 3.0.2 Sensoren en Actuatoren

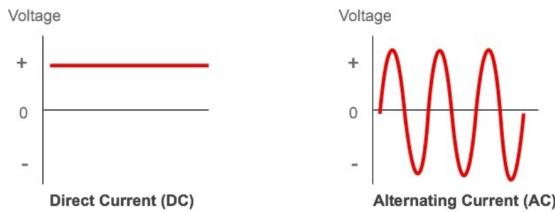
- Sensor ⇒ meten van een fysieke eigenschap
- Actuator ⇒ beïnvloeden van een fysieke parameter ⇒ transducers

### 3.1 Analoge communicatie

Sinusgolf als meest elementaire signaal

### 3.1.1 Eigenschappen

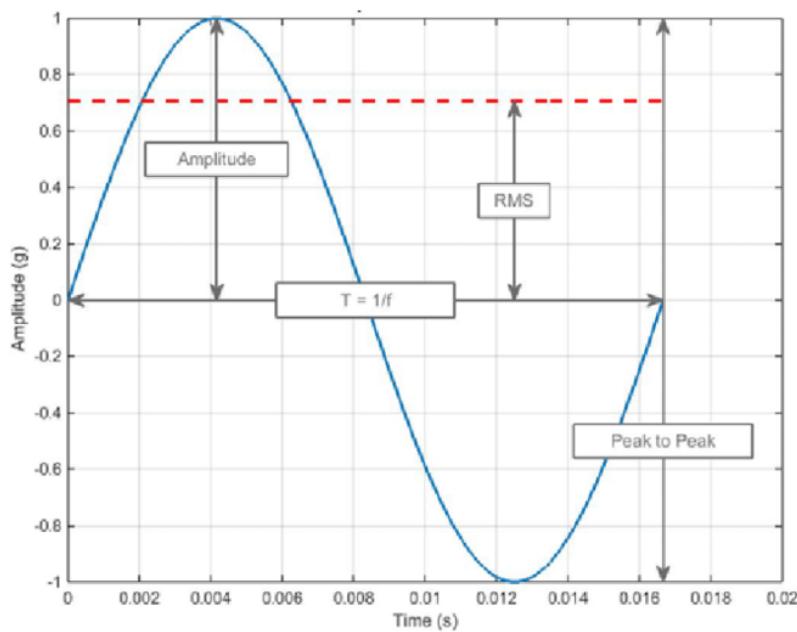
- DC vs AC
- Polariteit blijft gelijk bij (pulserende) DC
- Polariteit verandert bij AC



### 3.1.2 Wisselspanning - Eigenschappen

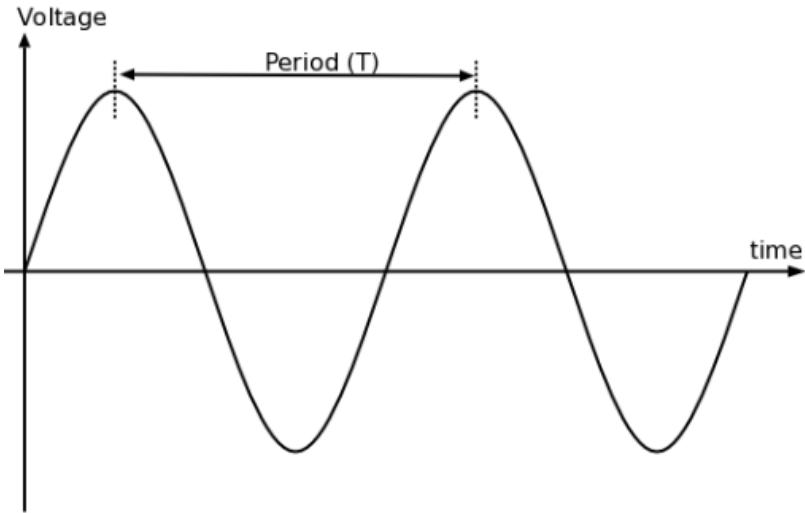
- RMS = Root Mean Square (= kwadratisch gemiddelde) = effectieve waarde (in geval van sinus)
  1. Som van alle kwadrateen (= square)
  2. Die som delen door het aantal waardes (= mean)
  3. Neem de vierkantswortel van dat getal

– Wordt vaak gebruikt in de elektriciteit om het gemiddelde vermogen te vinden
- Frequentie
- Periode
- Amplitude
- Peak of top-to-top waarde



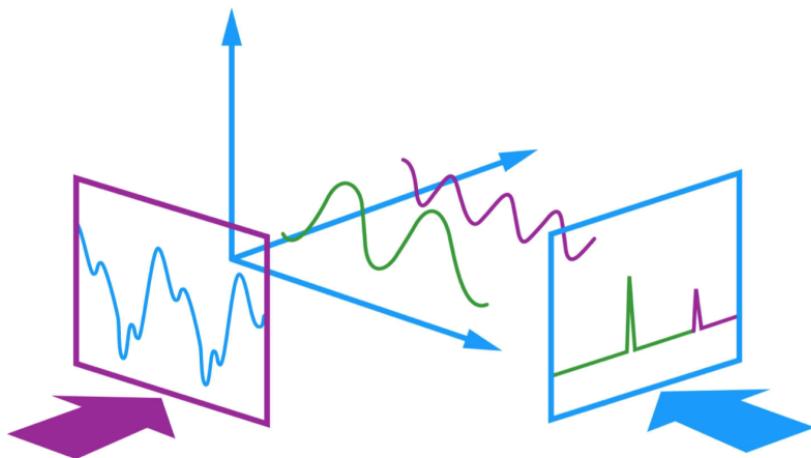
### 3.1.3 Periodieke signalen

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



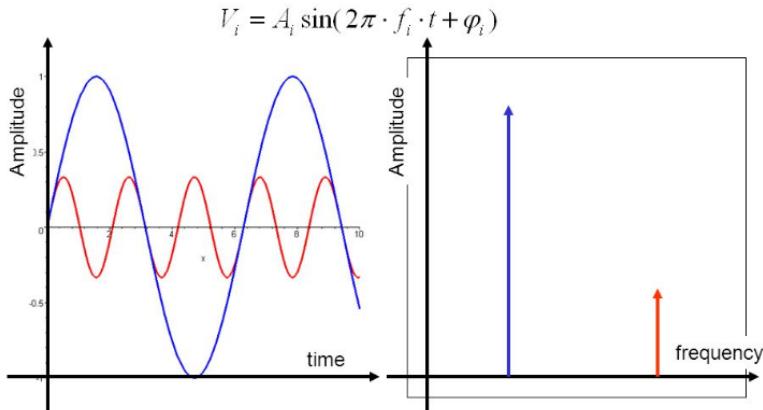
### 3.1.4 Tijdsdomein en frequentiedomein

- Tijdsdomein: met een oscilloscoop
- Frequentiedomein: met



(Formule niet te kennen)1

## Time Domain $\Leftrightarrow$ Frequency Domain



## 4 Digitale signalen

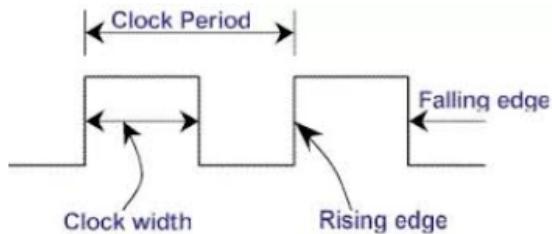
Aan/uit

### 4.1 Duty Cycle

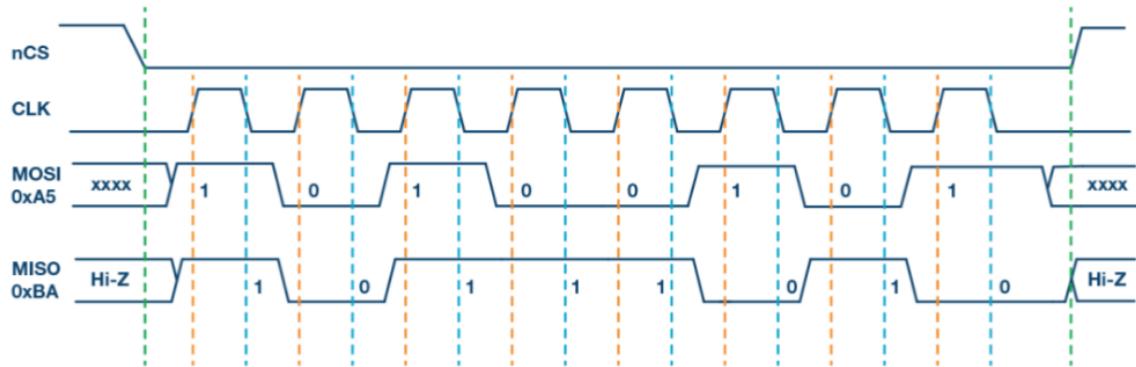
= Hoeveel procent van de tijd staat het signaal aan?

### 4.2 Flanken (edge)

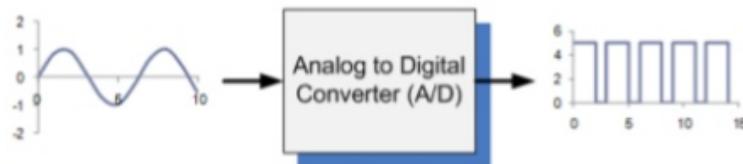
- Stijgende flank
- Dalende flank
- Belangrijk bij kloksignalen



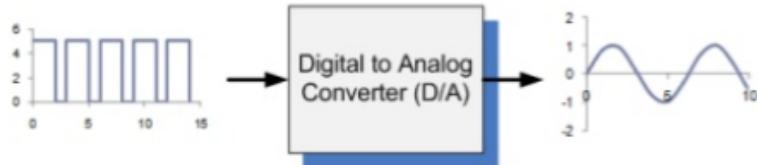
### 4.3 Weergave digitale signalen



## 5 AD/DA conversie

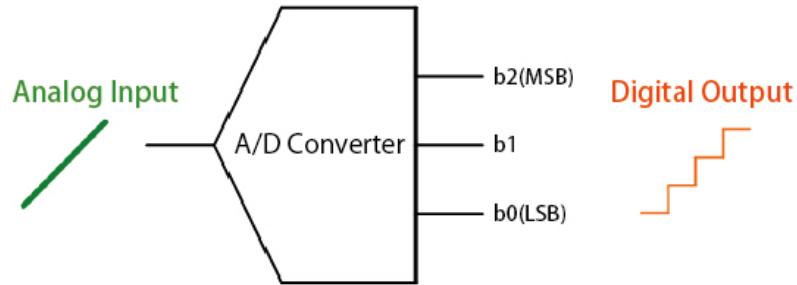


Figuur 1: Analoog naar digitaal (AD converter)



Figuur 2: Digitaal naar analoog (DA converter)

## 5.1 Analoog naar digitaal



Figuur 3

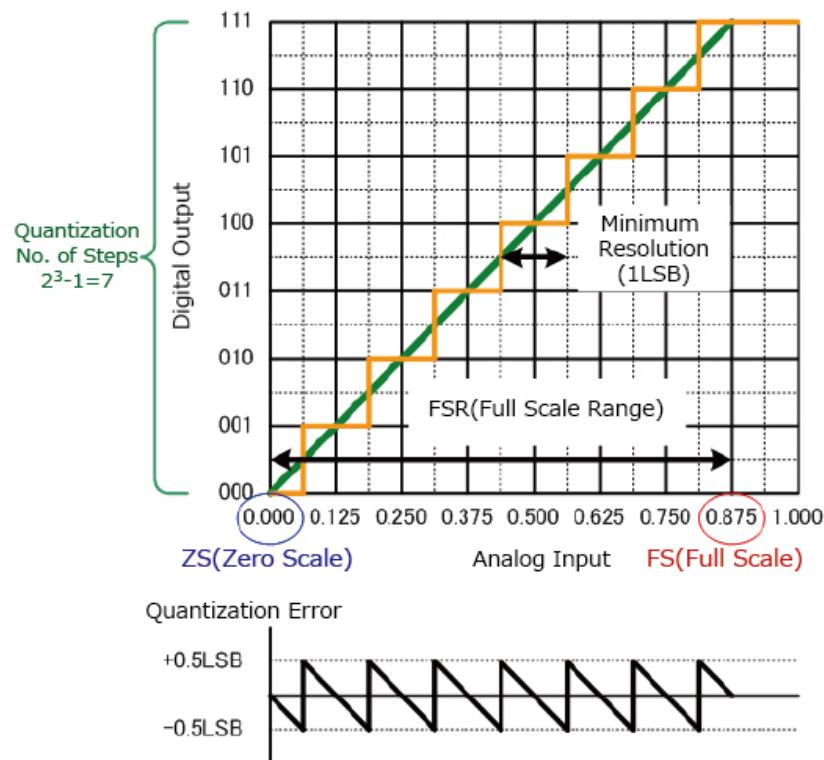
- Range = verschil tussen laagste en hoogste waarde
- Resolutie = aantal stappen of stapgrootte in bits
- Belangrijk gevolg:
  - beide parameters bepalen de exactheid en de afwijkingen

### 5.1.1 Voorbeeld A

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

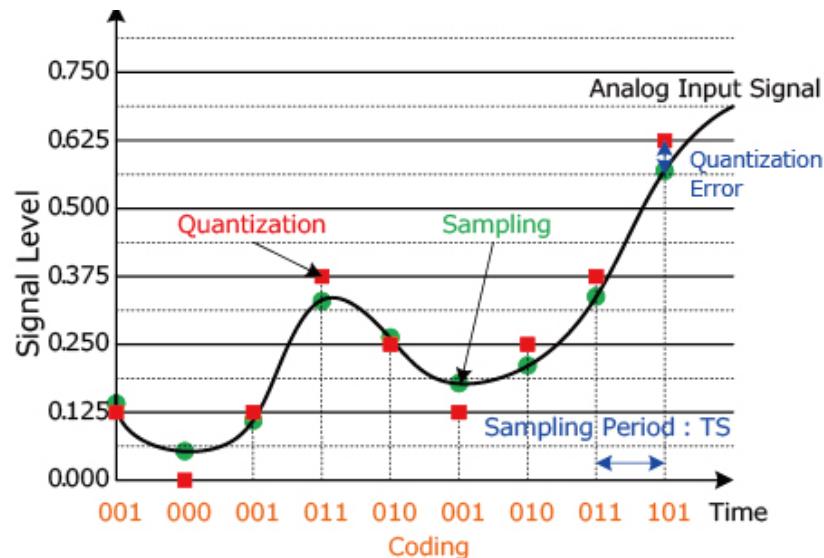
### 5.1.2 Voorbeeld B

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



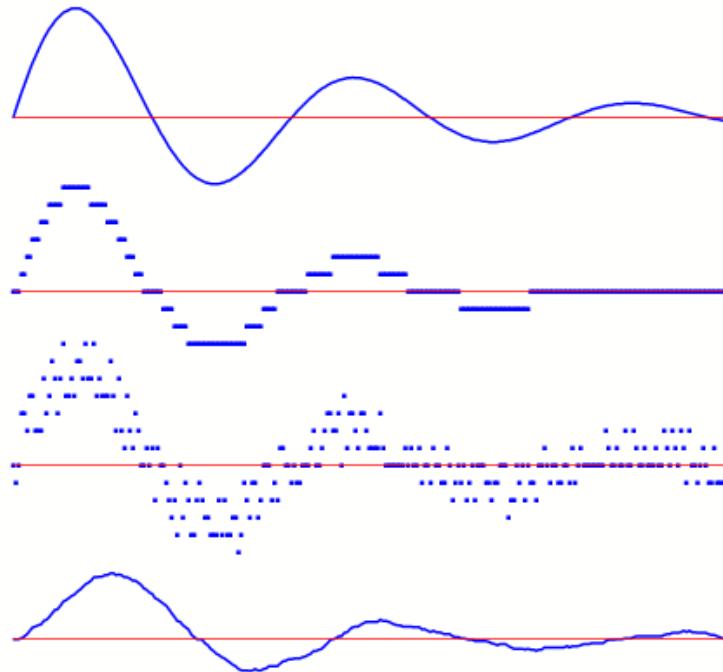
Figuur 4: AD conversie

- Quantisatiefouten
- Veroorzaakt quantisatieruis



Figuur 5: AD conversie

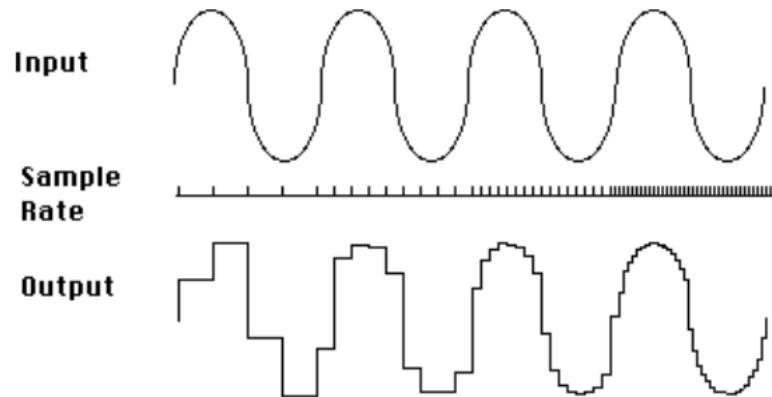
- Quantisatiefouten → dithering
- = vooraf (witte) ruis toevoegen aan signaal



Figuur 6: Dithering

#### 5.1.3 Sample Rate / sample frequentie

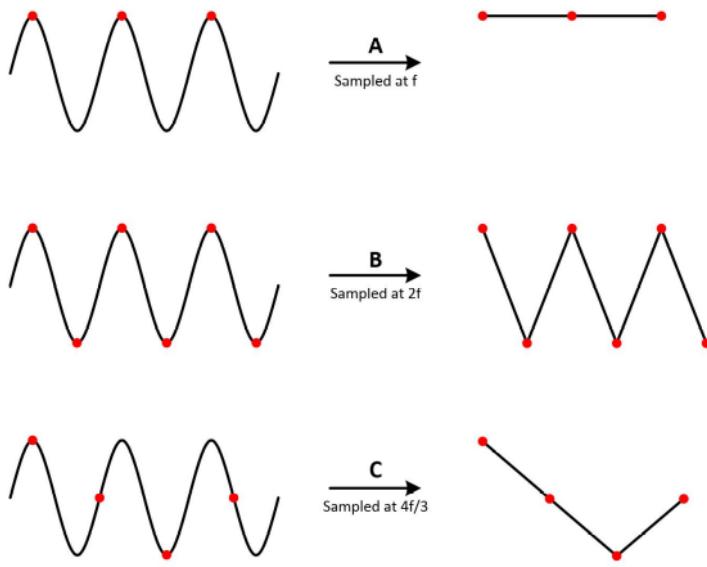
= aantal conversies per seconde



Figuur 7: Sample rate

- Nyquist → Minimale sample rate = 2x de frequentie van het signaal

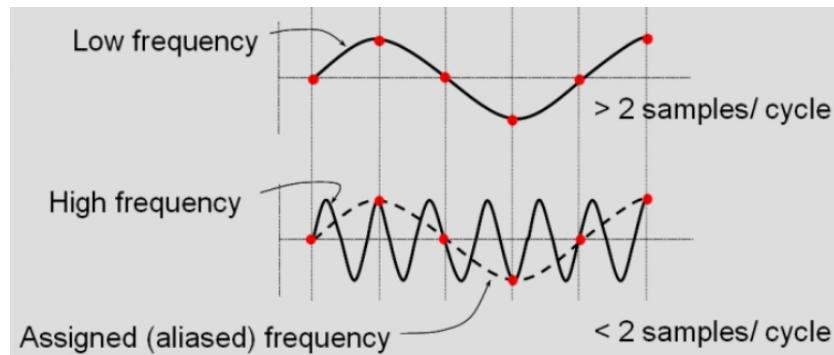
- Voorbeelden:
  - HiFi Audio CD: 44.1kHz sample rate
  - Oude telefoon toestellen: 8kHz sample rate
  - HD-DVD Audio: 192kHz



Figuur 8: Minimale sample rate

#### 5.1.4 Aliasing

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



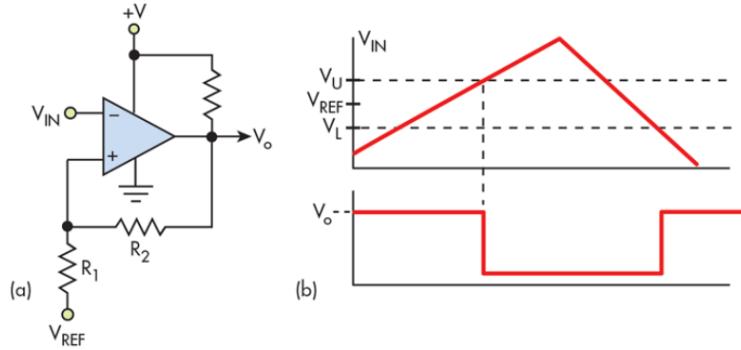
Figuur 9: Anti-aliasing filter

### 5.1.5 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

### 5.1.6 Implementatie en types

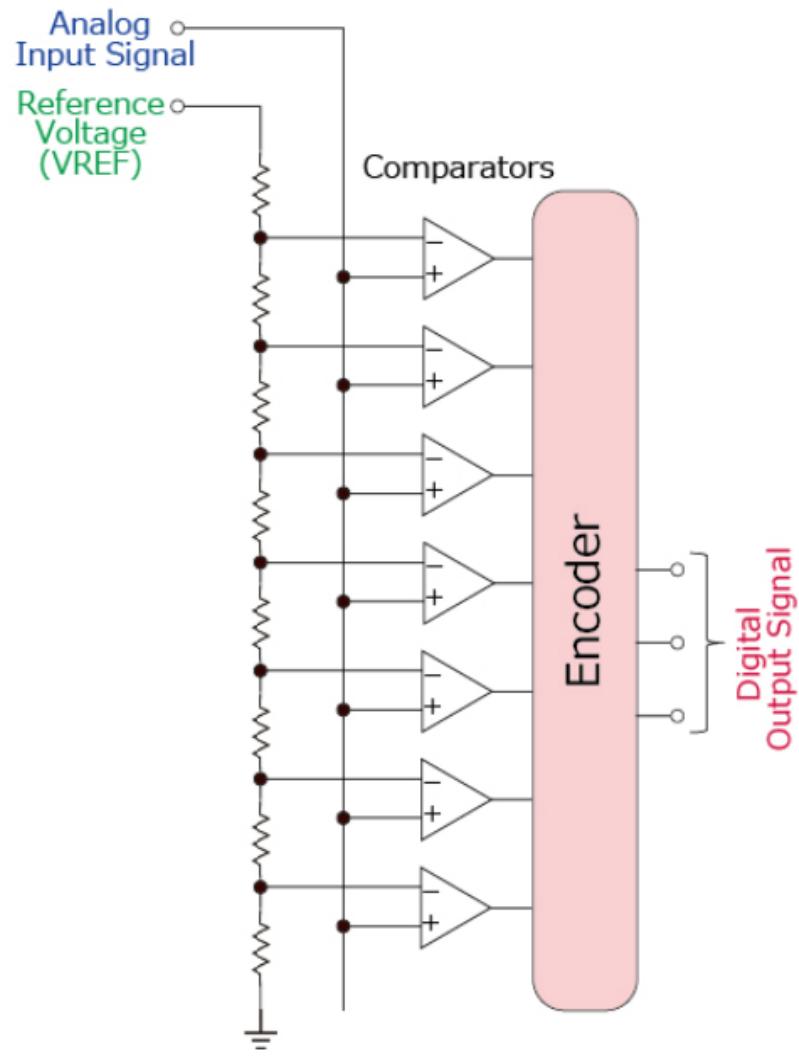
- De comparator
- Bekijken als 1-bit ADC



Figuur 10: Comparator

### 5.1.7 Flash ADC

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

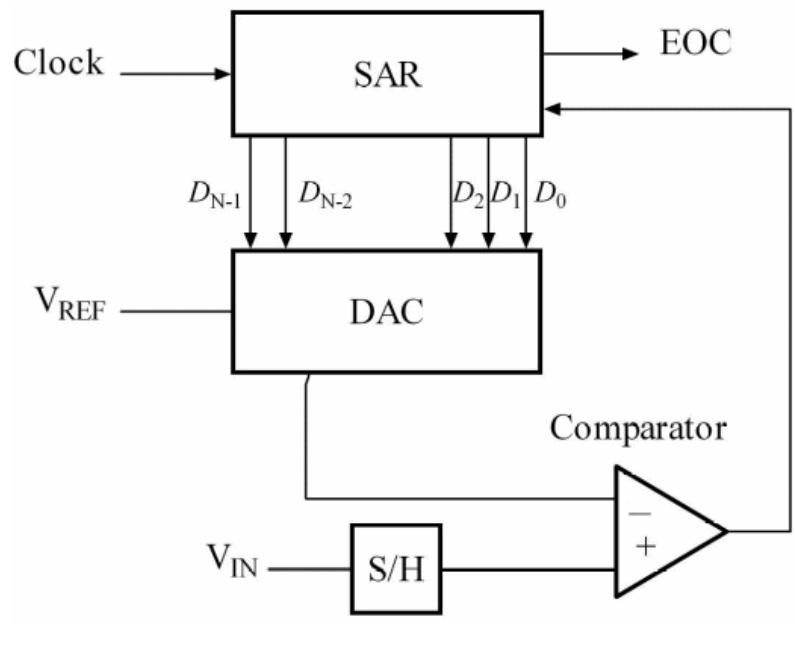


Flash-Type A/D Converter Circuit Diagram

Figuur 11: Flash ADC

#### 5.1.8 Successive approximation ADC

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



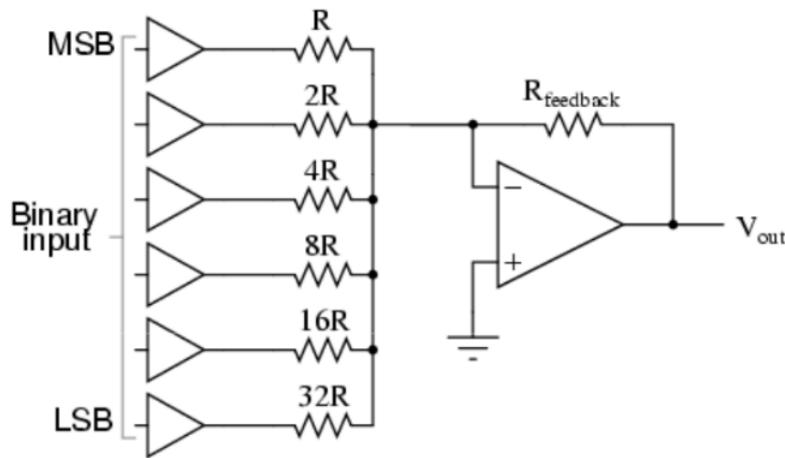
Figuur 12: Successive approximation ADC

## 5.2 Digitaal naar analoog conversie

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

### 5.2.1 Simpele DAC

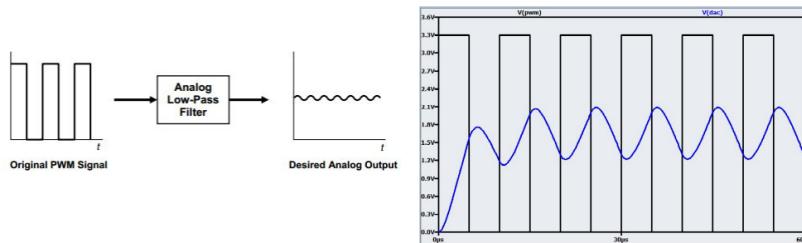
- Binair → analoge waarde
- Voorbeeld weerstandsnetwerk



Figuur 13: Weerstandsnetwerk

### 5.2.2 Simpele DAC adhv 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 14: DAC met PWM

### 5.2.3 Andere types

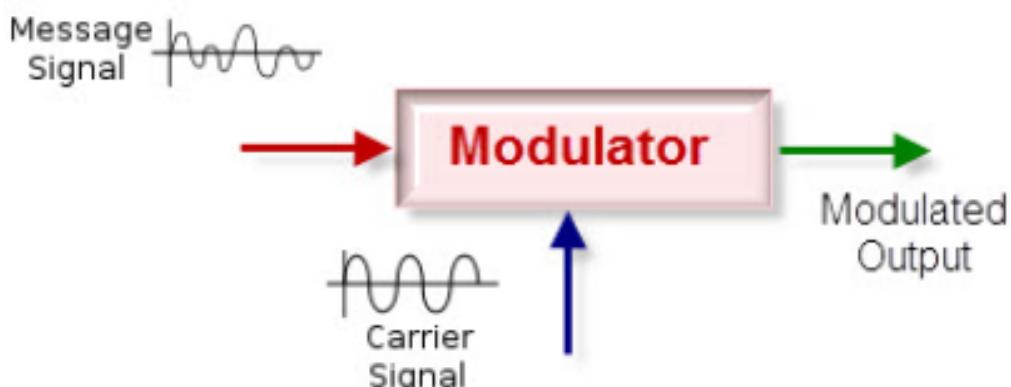
- $\Sigma\Delta$
- $I^2S$  DAC
- Nog zeer veel andere overwegingen:
  - THD (Harmonische vervorming)
  - Faseruis
  - ...

#### 5.2.4 Nalezen:

- [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)

## 6 Modulatie

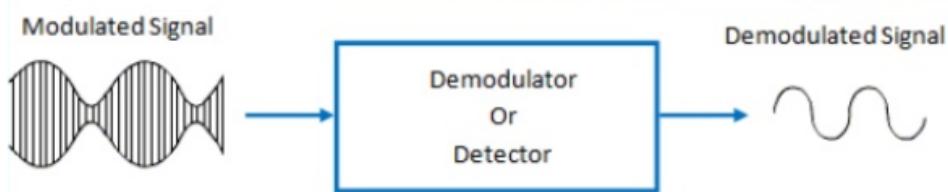
- Informatie toevoegen aan een draaggolf
- Door de variatie van minstens een van de eigenschappen van deze draaggolf



Figuur 15: Modulatie

### 6.1 Demodulatie

= Het terugwinnen van de informatie uit de gemoduleerde draaggolf



Figuur 16: Demodulatie

## 6.2 Modem

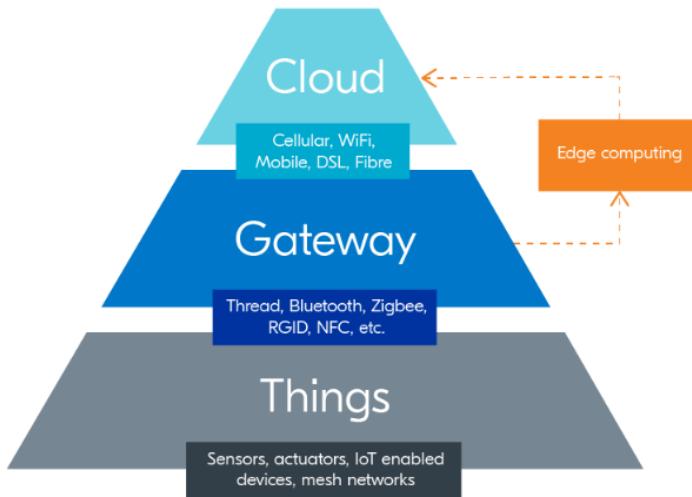
= Modulator + Demodulator



Figuur 17: Modem

## 6.3 Waarom?

- Interconnectie van IoT devices
- Vaak draadloos



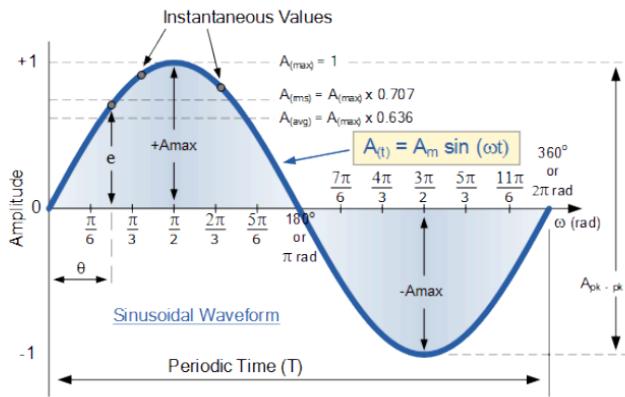
Figuur 18

## 6.4 Hoe?

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

## 6.5 Draaggolf

= carrier

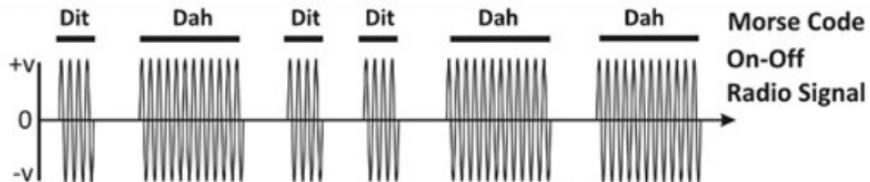


Figuur 19: Draaggolf

- Amplitude
- Frequentie / Periode

## 6.6 Simpel

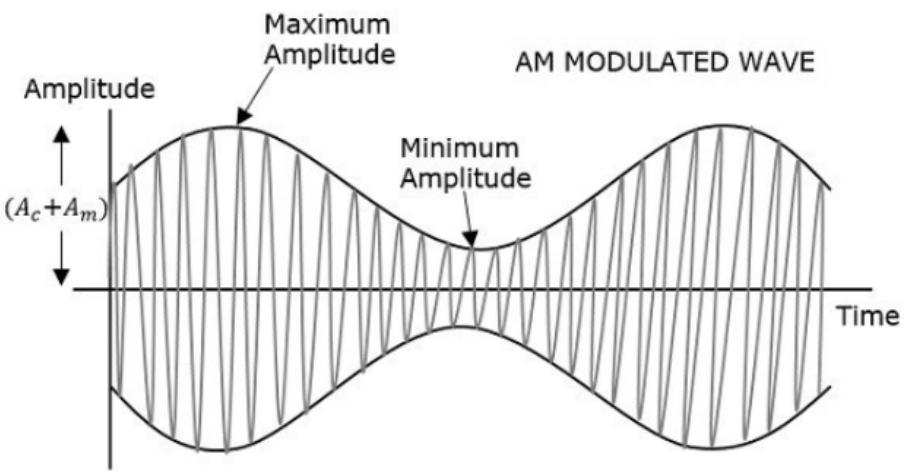
- Aan/uit schakelen van de draaggolf
- CW = continuous wave
- Bv: Morse code



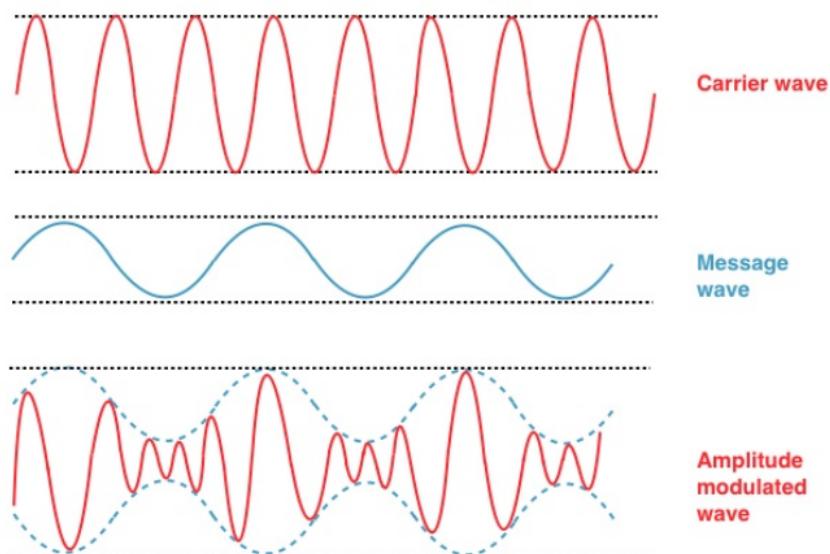
Figuur 20: Morse code

## 6.7 Amplitude modulatie (=AM)

- Aanpassen van de amplitude v/d draaggolf



Figuur 21: Amplitudemodulatie (1)

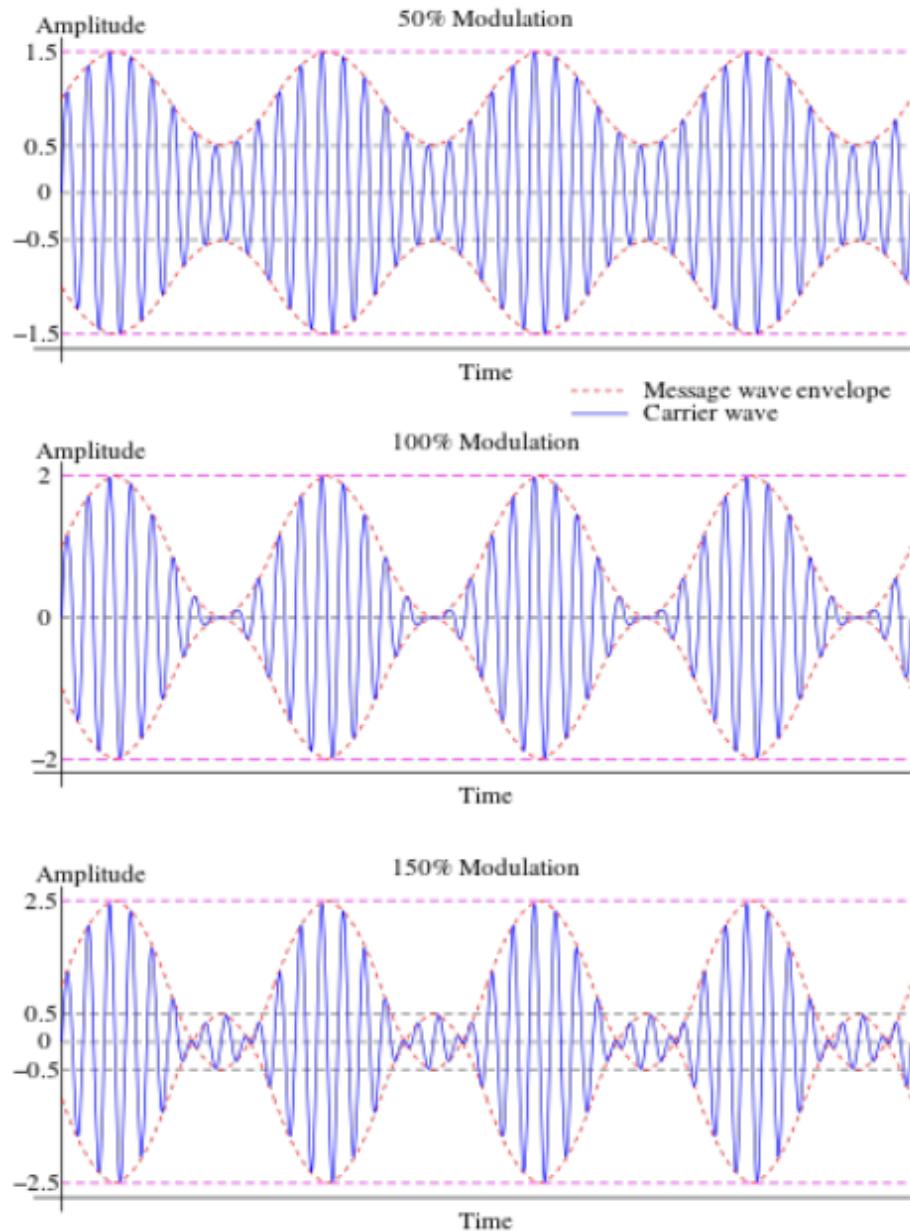


Figuur 22: Amplitudemodulatie (2)

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

#### 6.7.1 Overmodulatie

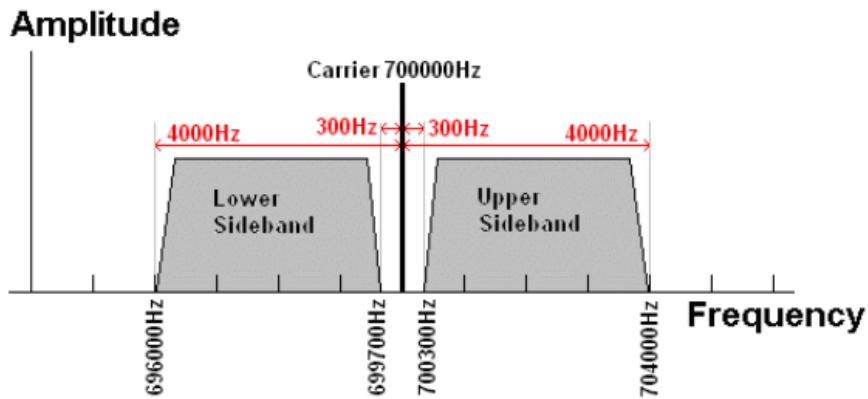
- Modulatiediepte (modulatie index)



Figuur 23: Overmodulatie

## 6.8 AM bandbreedte

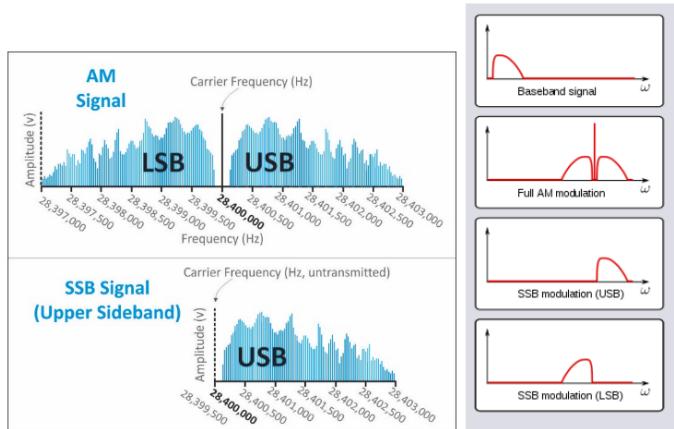
- Bandbreedte van een AM signaal:
  - Centerfrequentie = draaggolf frequentie
  - 2x frequentie van gemoduleerd signaal in totaal



Figuur 24

### 6.9 SSB modulatie (USB/LSB)

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

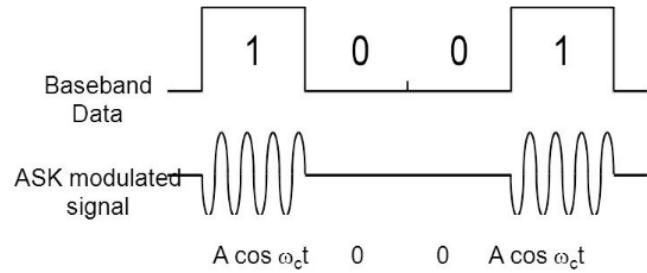


Figuur 25

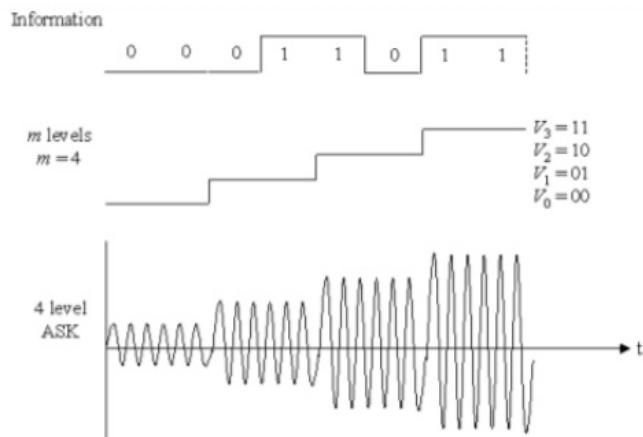
### 6.10 ASK Modulatie

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

### Amplitude Shift Keying (ASK)



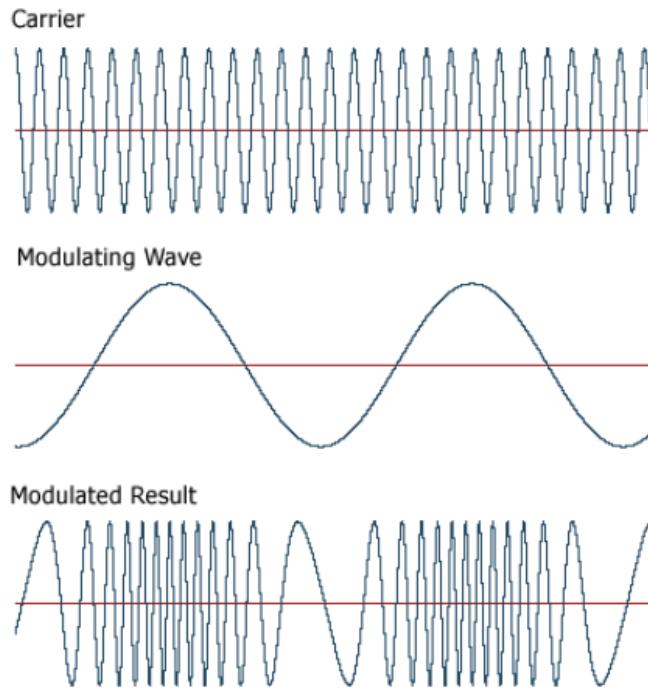
Figuur 26: ASK



Figuur 27: 4 level ASK

### 6.11 Frequentie modulatie

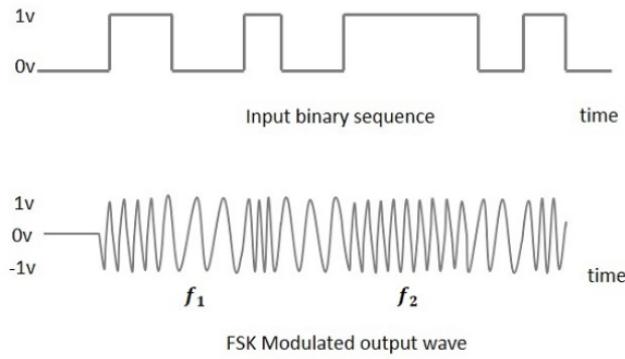
- Variatie in de frequentie van de draaggolf
- FM radio 88MHz - 108MHz
- VHF Maritieme radio
- UHF PMR Radios



Figuur 28: Frequentiemodulatie

### 6.12 FSK modulatie

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

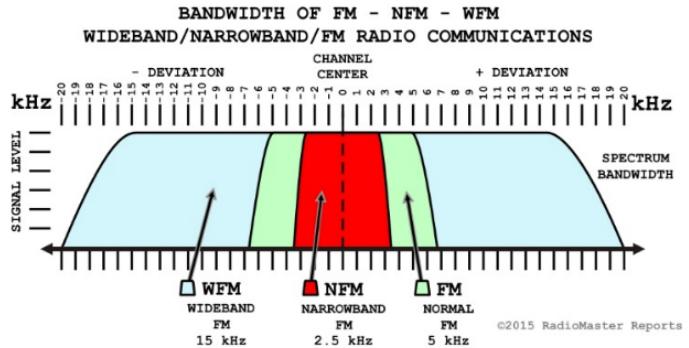


Figuur 29: FSK

### 6.13 FM Modulatie

- Carrier is altijd op 100% amplitude aanwezig tijdens transmissie

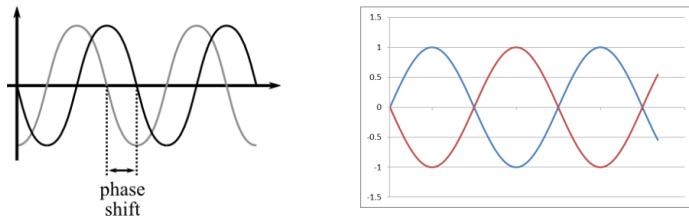
- Minder ruis, betere kwaliteit voor audio dan AM
- Hogere bandbreedte  $\Rightarrow$  Meer stroomverbruik
- WFM (Wide FM), NFM (Narrow FM), FM



Figuur 30: Bandbreedte FM - NFM - WFM

#### 6.14 Fase modulatie

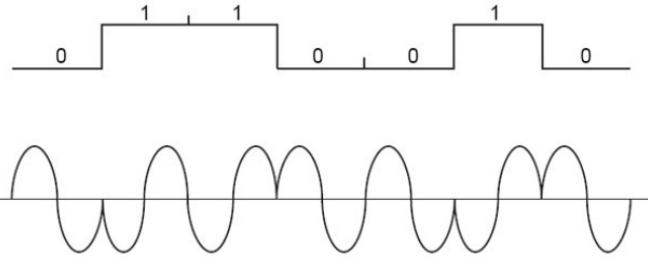
- Faseverschuiving van een signaal



Figuur 31: Faseverschuiving

#### 6.15 PSK modulatie

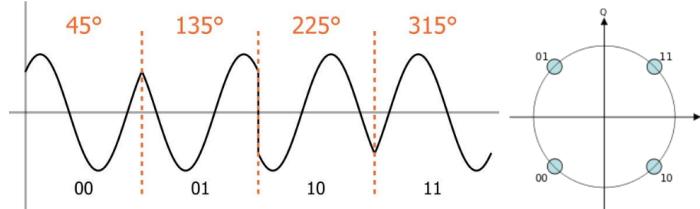
- Phase shift keying
- Bij wisselen van bit  $\Rightarrow$  fase omkeren



Figuur 32: Fasemodulatie

### 6.16 Phase Shift Modulatie

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



Figuur 33

### 6.17 QAM modulatie

- Quadrature amplitude modulatie

- Informatie zit ...

- de amplitude (zoals bij ASK)
- de fase (zoals bij PSK)

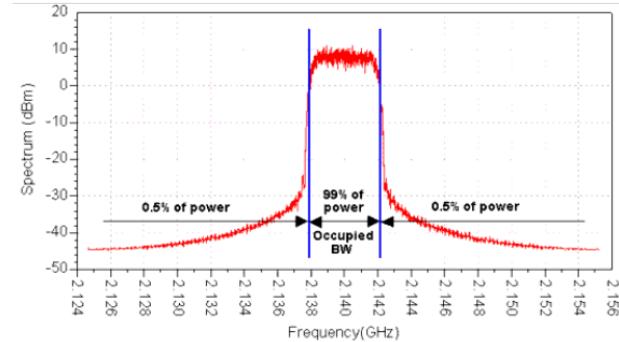
- Meerdere symbolen

- 4-QAM
- 16-QAM
- 64-QAM
- ...

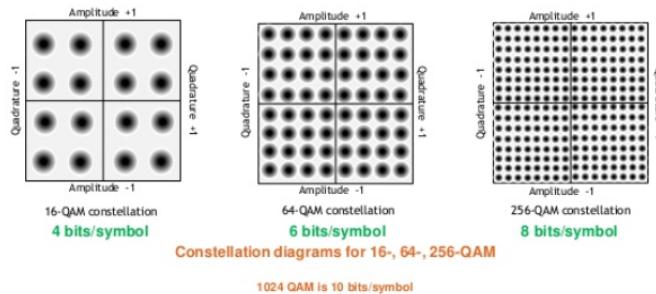
- DAB+  $\Rightarrow$  4/16/64 - QAM
- Hogere transmissiesnelheid
- Gevoeliger voor fouten

## 6.18 Bandbreedte / vermogen

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



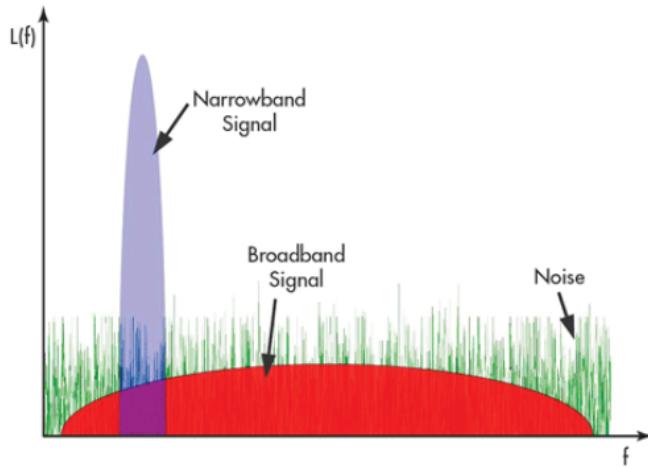
Figuur 34



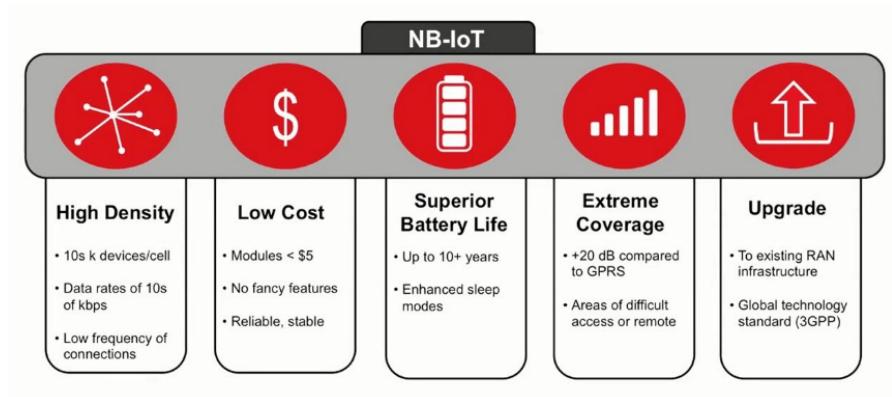
Figuur 35

## 6.19 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 36: Waarom Narrow-band: narrow-band kan makkelijker boven ruisniveau

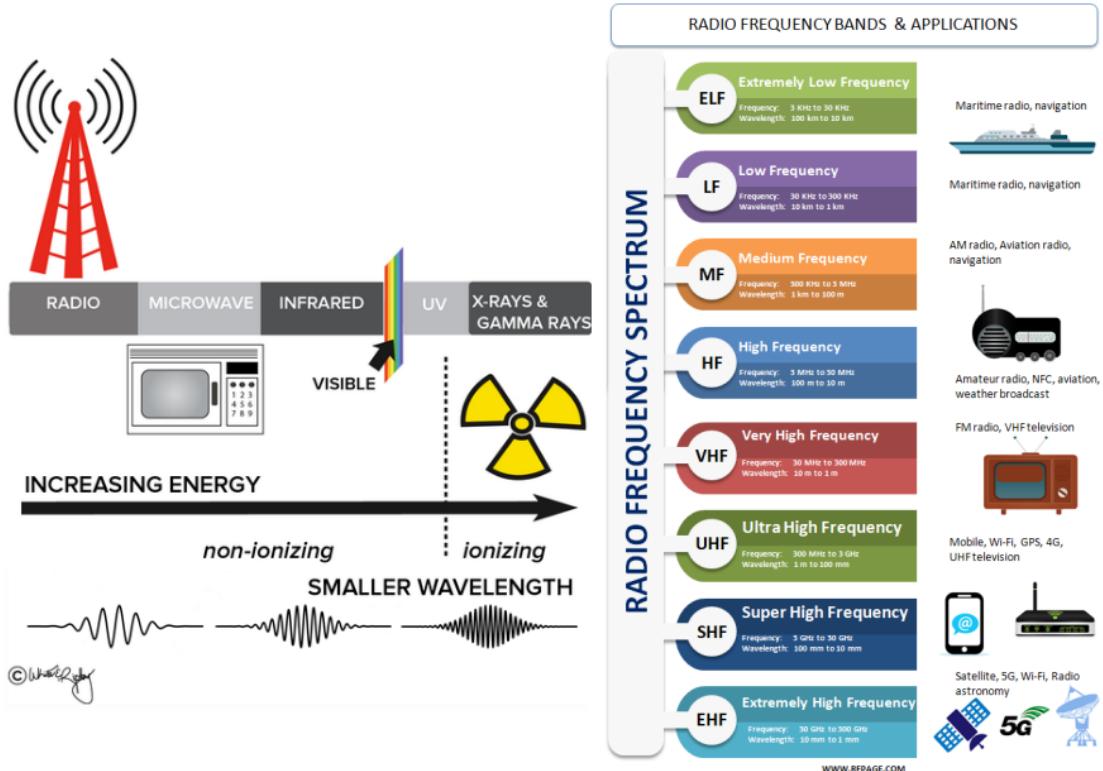


Figuur 37: Voorbeeld: NB-IoT



Figuur 38: Voorbeeld: Telefoonmodem (<https://www.youtube.com/watch?v=ckc6XSSh52w>)

## 7 RF-spectrum



Figuur 39: Radiogolven op het spectrum

### 7.1 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 = volledige AM-radio LW + MW + SW band
- Meer bandbreedte = mogelijk hogere datarates

### 7.2 Licenties en licentievrije banden

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

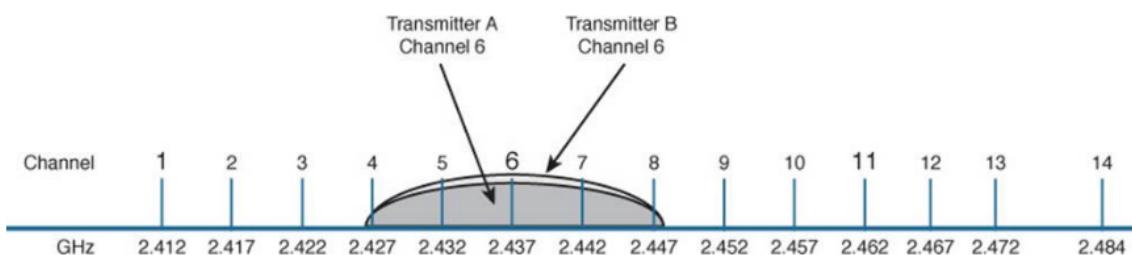
### 7.3 ISM banden

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

### 7.4 Interferentie

#### 7.4.1 Co-channel interferentie

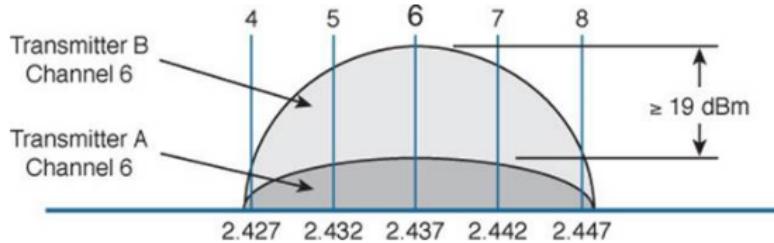
Wat als meerdere systemen dezelfde band gebruiken?



Figuur 40: Co-channel Interferentie

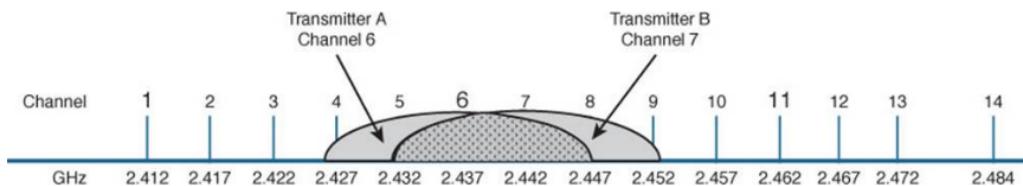
#### 7.4.2 Signaalseparatie

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



Figuur 41: Signaalseparatie

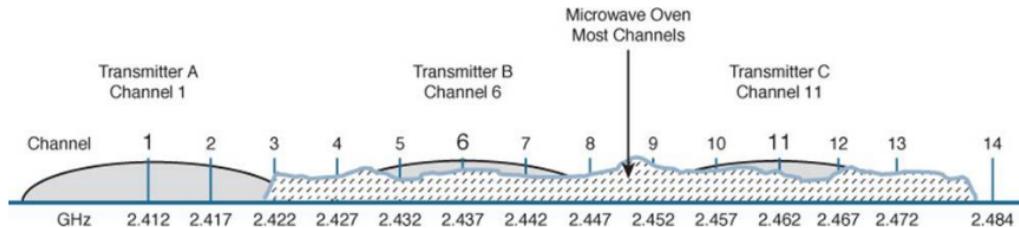
#### 7.4.3 Interferentie van naburige kanalen



Figuur 42: Interferentie van naburige kanalen

#### 7.4.4 Interferentie van andere toestellen

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



Figuur 43: Interferentie van andere toestellen

### 7.5 Meten van interferentie

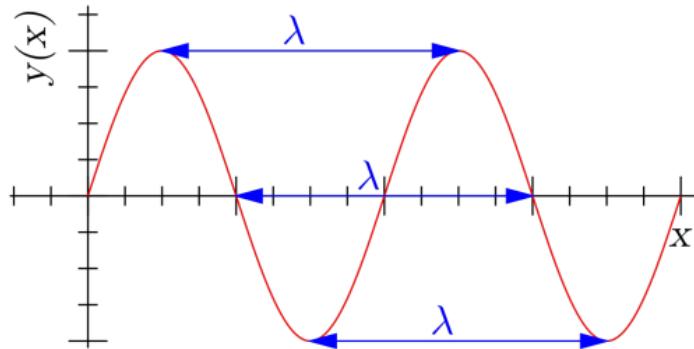
- Meten van WiFi kanalen kan met software
- Software is niet in staat niet-WiFi signalen te meten
- Kan worden gemeten met een spectrum analyzer



Figuur 44: Meten van interferentie

## 7.6 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



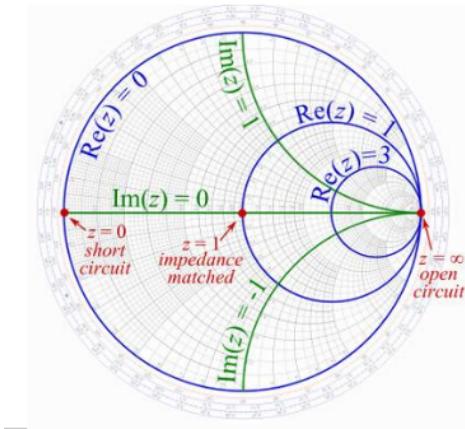
Figuur 45: Golflengte

### 7.6.1 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":
  - $f = \frac{(299\ 792\ 458)}{\lambda} = \frac{(299\ 792\ 458)}{0.7 \text{ m}} = 428\ 274\ 940 \text{ Hz} = 430 \text{ MHz}$

## 7.7 Antennesysteem

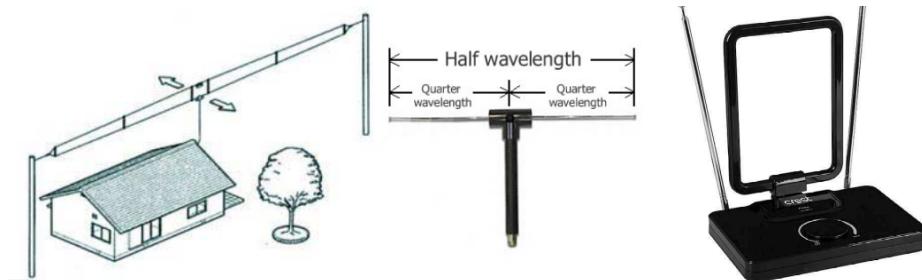
- Een antenne stuurt / ontvangt zoveel mogelijk van de RF-energie op de gewenste frequentie
- $\Rightarrow$  resonantie van het antennesysteem op de gewenste frequentie
- Formaat van de antenne is vaak beperkende factor



Figuur 46

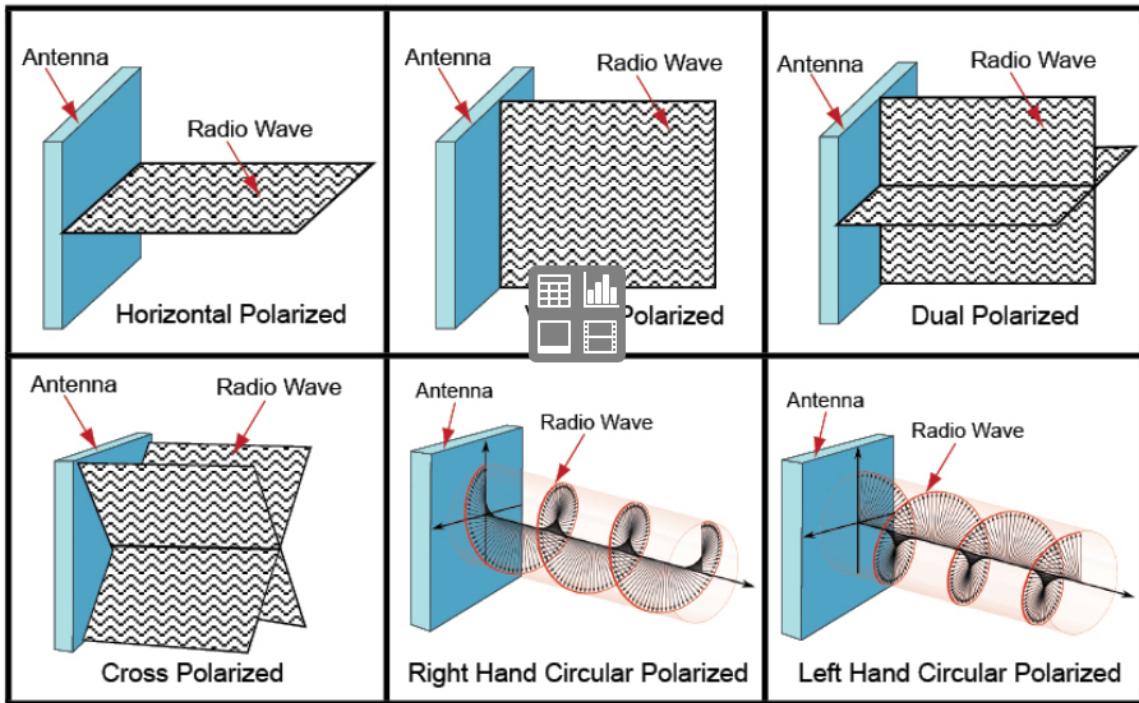
### 7.7.1 De dipool antenne

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



Figuur 47: Dipool antenne

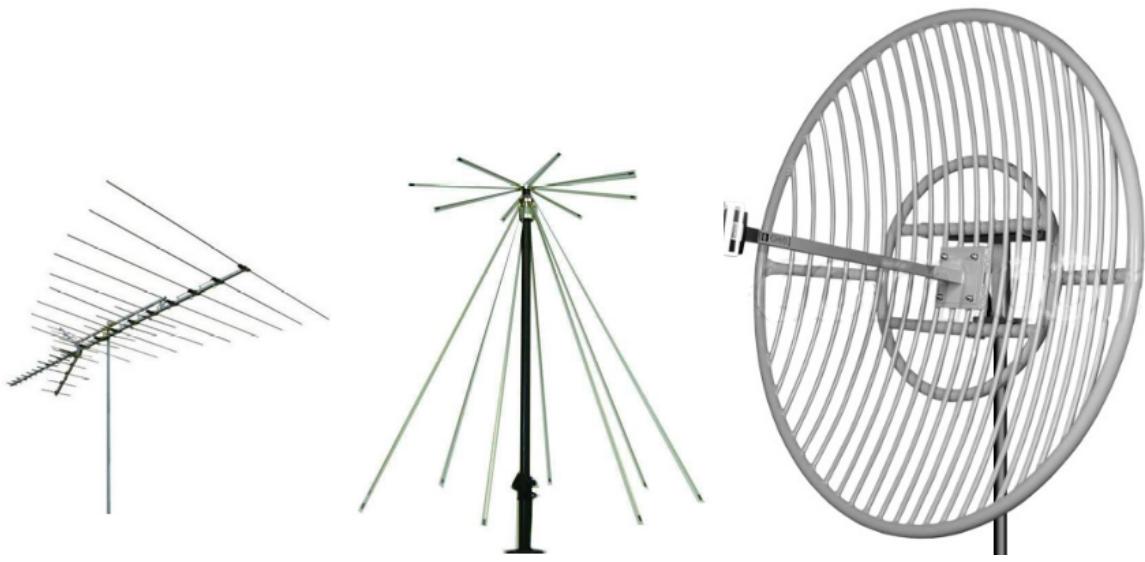
### 7.7.2 Polarisatie van antennes



Figuur 48: Polarisatie van antennes

### 7.7.3 Directionaliteit van antennes

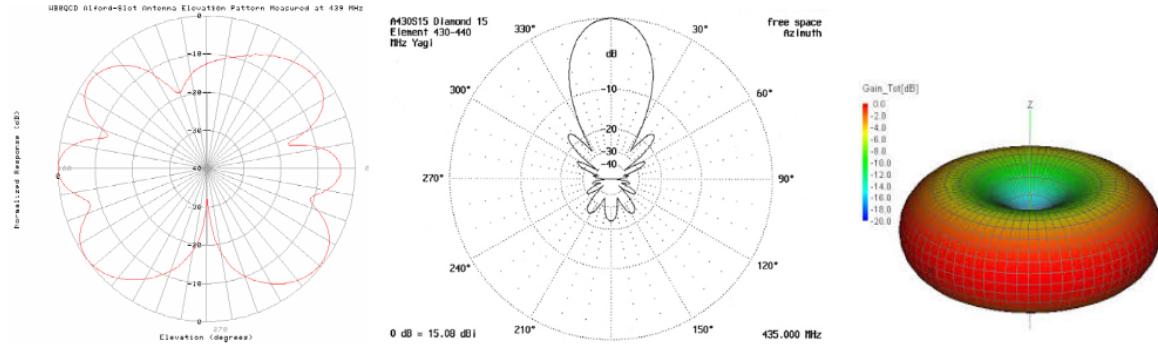
- Omnidirectionele antenne
  - Meestal dipolen of end-fed (=stukje draad)
  - Discone
- Directionele antenne
  - Schotelantenne
  - Yagi
  - Patch



Figuur 49: Directionaliteit van antennes

#### 7.7.4 Stralingspatroon van antennes

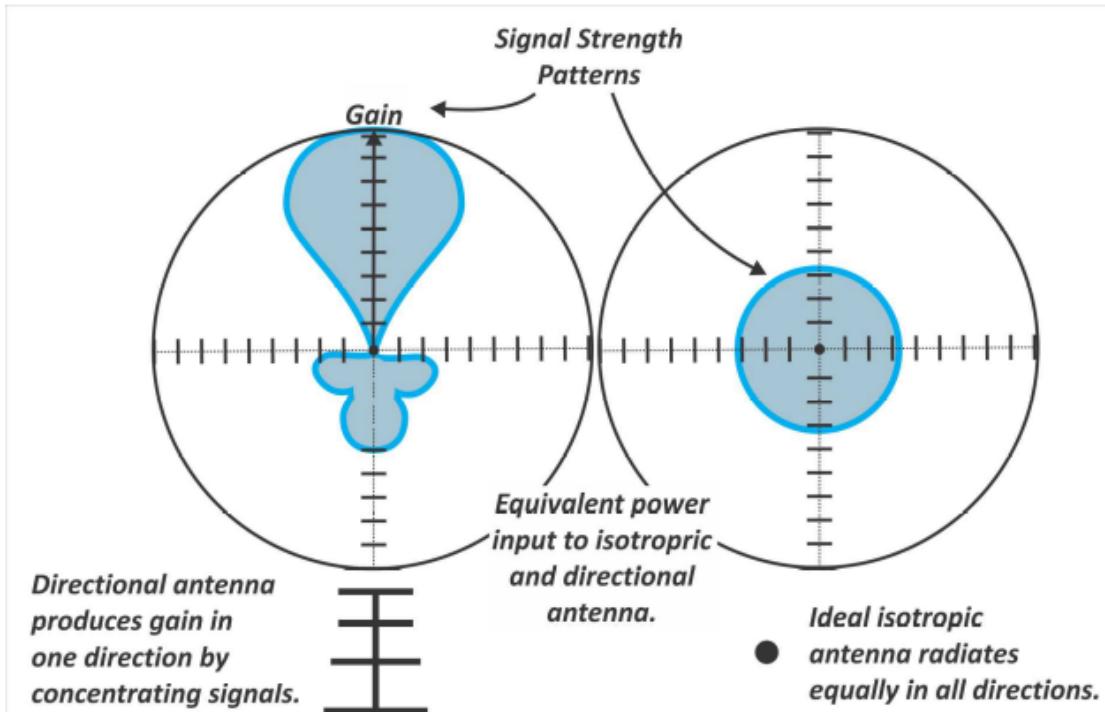
- Gevoeligheid van antennes is niet overal hetzelfde
- Zeer afhankelijk van constructie en type antenne



Figuur 50: Stralingspatroon van antennes

#### 7.7.5 Gain van een antenne

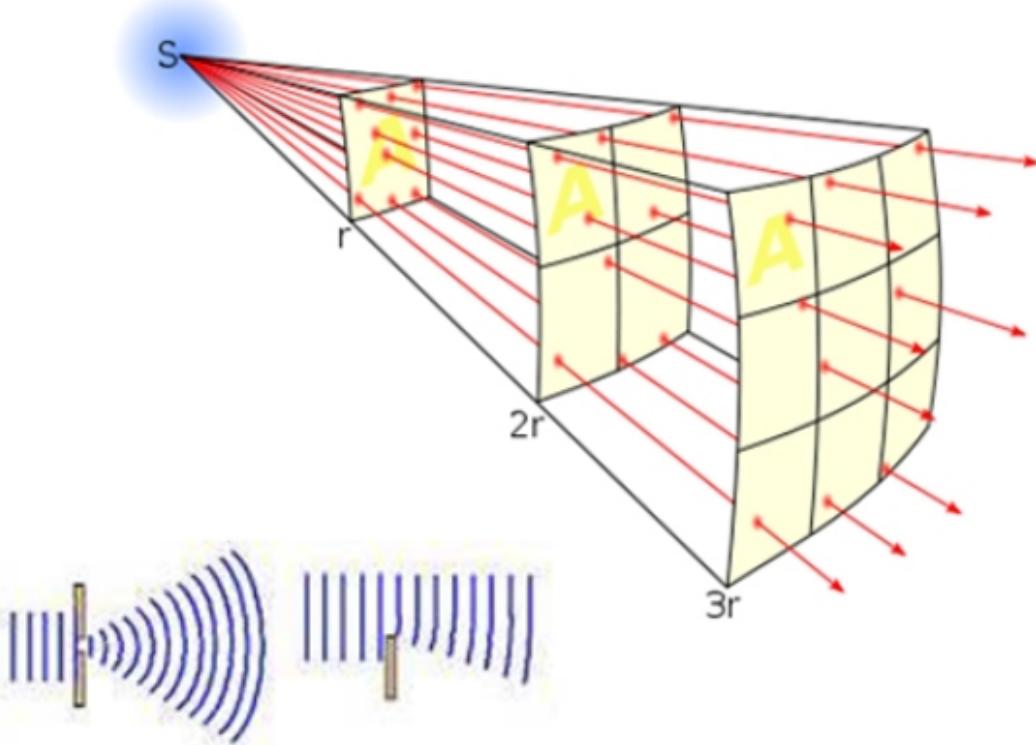
- Gain = versterking
- Uitgedrukt in dB
- Nooit 'magisch', er is altijd een trade-off
  - Directionaliteit
  - Bandbreedte



Figuur 51: Gain van een antenne

#### 7.7.6 Propagatie van RF-signalen

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



Figuur 52: Propagatie van RF-signalen

#### 7.7.7 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

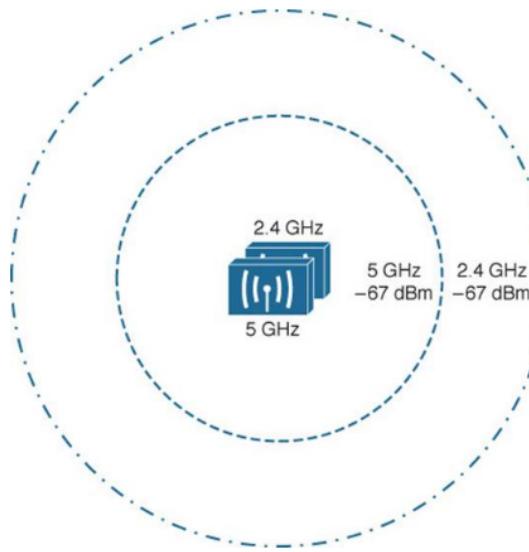
$$\text{FSPL (dB)} = 20 \cdot \log_{10}(d) + 20 \cdot \log_{10}(f) + 32.44$$

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

#### 7.7.8 Signaalverzwakking / path loss

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

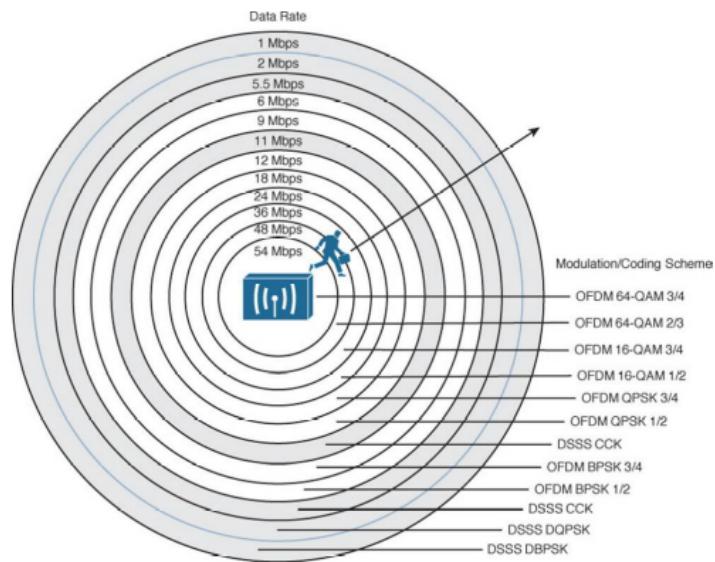
– 5GHz WiFi



Figuur 53: Signaalverzwakking / path loss

#### 7.7.9 Dynamic rate shifting (DRS)

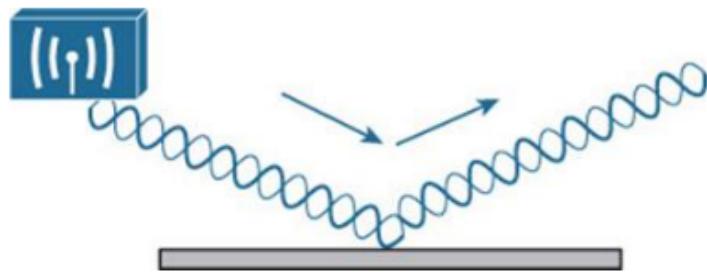
- Modulatietechniek dynamisch aanpassen aan de signaalcondities
- Minder gunstige SNR  $\Rightarrow$  Lagere datarate kiezen
- Andere modulatievorm



Figuur 54: Signaalverzwakking / path loss

### 7.7.10 Reflectie

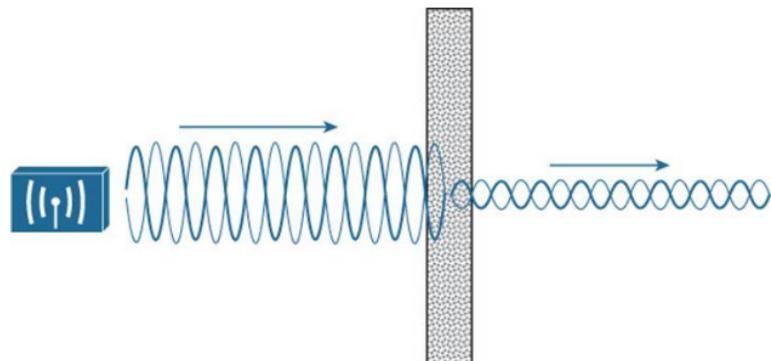
- Signaal wordt gereflecteerd
- Bv:
  - Door metalen objecten
  - Water
  - ...



Figuur 55: Reflectie

### 7.7.11 Absorptie

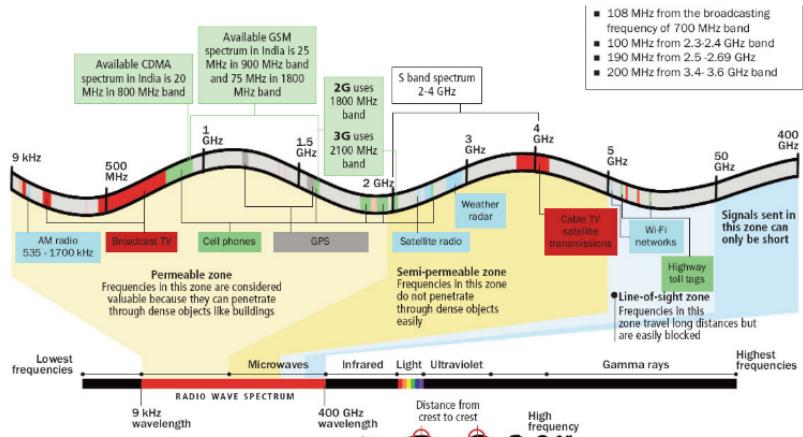
- Signaal kan deels of volledig worden geabsorbeerd
- Resulteert in verzwakking van bruikbare signaal
- Verzwakking = attenuatie typisch in dB



Figuur 56: Absorptie

### 7.7.12 Doordringbaarheid

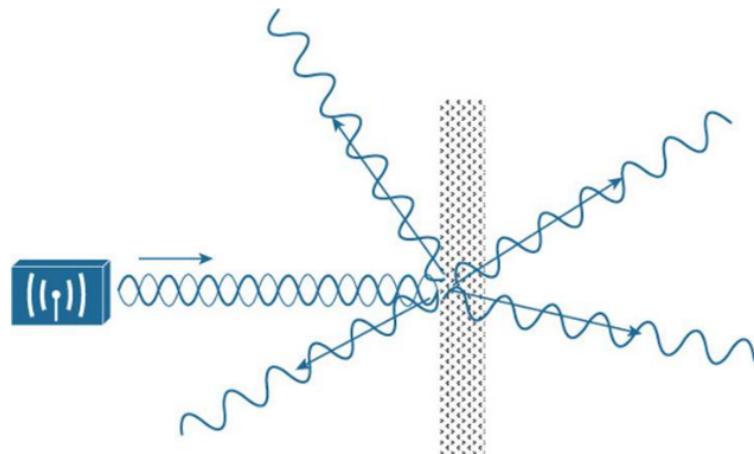
- Hogere frequenties worden gemakkelijk tegengehouden door objecten
- Lagere frequenties kunnen gemakkelijker door objecten heen



Figuur 57: Doordringbaarheid

### 7.7.13 Scattering

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

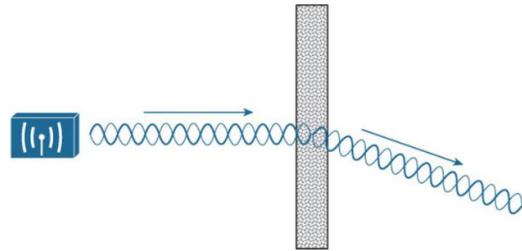


Figuur 58: Scattering

### 7.7.14 Refractie

- Bij 2 media met verschillende dichtheid

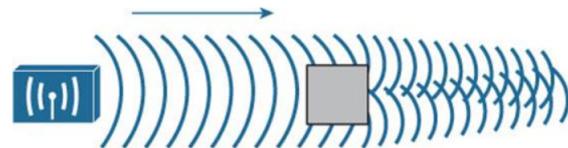
- Afbuiging van het signaal



Figuur 59: Refractie

#### 7.7.15 Diffractie

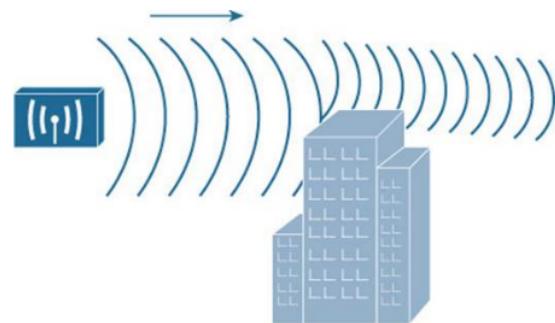
- RF-signaal wordt beïnvloed door obstakels
- Gaat er niet door maar “rond”, zoals water rond een paaltje in een rivier
- Verstoort / vermindert het RF-signaal



Figuur 60: Diffractie

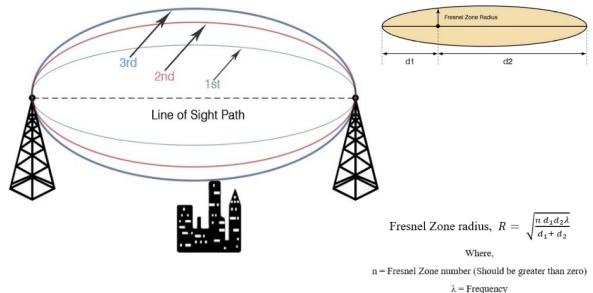
#### 7.7.16 Fresnel zones

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



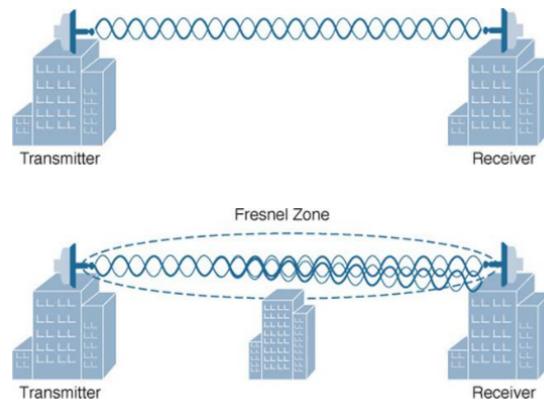
Figuur 61: Fresnel zones

- Afhankelijk van frequentie en afstand



Figuur 62

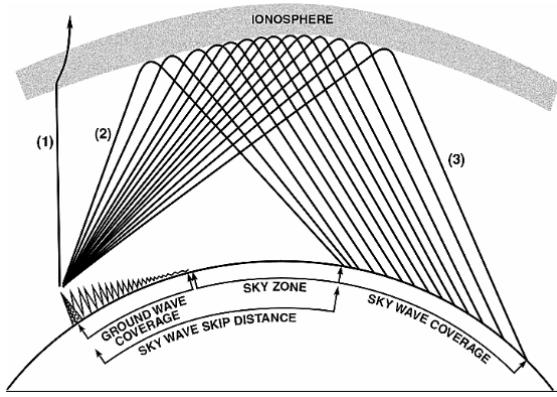
- Communicatie kan verstoord worden, zelfs door een object buiten de line-of-sight



Figuur 63

#### 7.7.17 Propagatie van RF-signalen

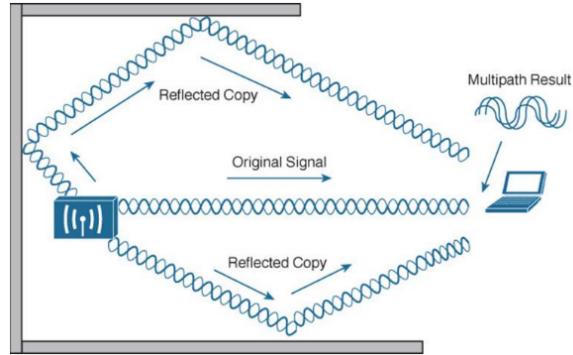
- Bepaalde effecten kunnen worden gebruikt
- Bv:



Figuur 64: communicatie mbv reflectie op de ionosfeer

#### 7.7.18 MIMO

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



Figuur 65: MIMO

#### 7.7.19 Multiplexing