

Analoge techniek gecombineerd met het succes van Digitale techniek

Wat is “Analoog”? Wat is Discreet? Wat is “Digitaal”?

- ⊗ Hoe werkten we jarenlang met analoge signalen/systemen?
 - ⊗ De mens en analoog; Zintuigen
 - ⊗ Analoge signalen en analoge systemen
- ⊗ Van Analoog, via de Digitale omweg terug naar Analoog
 - ⊗ Wat is toch het succes van “Digitaal”

Enkele uitgangspunten:

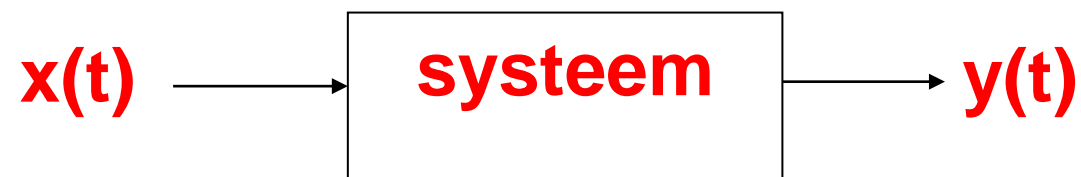
- Is e.e.a. zo af en toe te abstract voor U?

Och; er wordt na afloop niet overhoord!

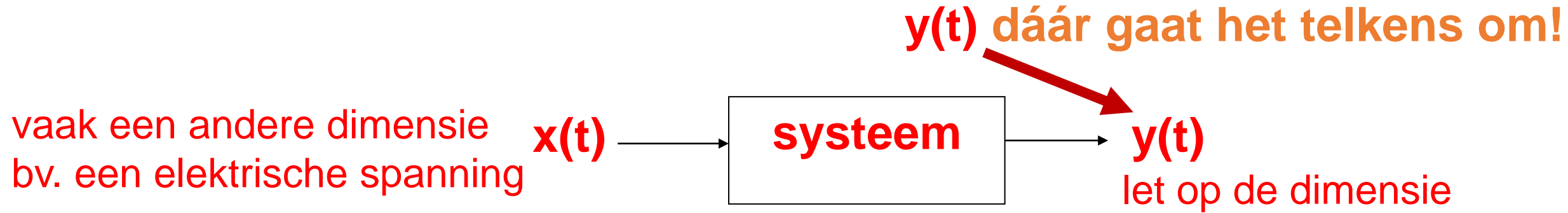
- Het is de bedoeling dat U een **globale indruk** krijgt van wat “**Analoog**” wat “**Discreet**” en wat “**Digitaal**” is en bovendien

hoe de route **Analoog – Digitaal - Analoog** verloopt

- Ik werk in de voordracht met **systemen** en met **signalen**



We willen een gewenste waarde van een bepaalde grootte instellen.
Denk bijvoorbeeld aan de temperatuur in de woonkamer.



Definitie van een systeem:

Een uit de omgeving geïsoleerd stelsel dat in staat is om specifieke bewerkingen uit te voeren op signalen

Definitie van een signaal:

Een voor een systeem herkenbare boodschap of mededeling

Systemen en Signalen horen onlosmakelijk bij elkaar

Onze aanpak:



We gaan uit van een **te regelen grootheid** die we willen bereiken.

Dat wordt **het signaal $y(t)$** op de uitgang van het systeem.

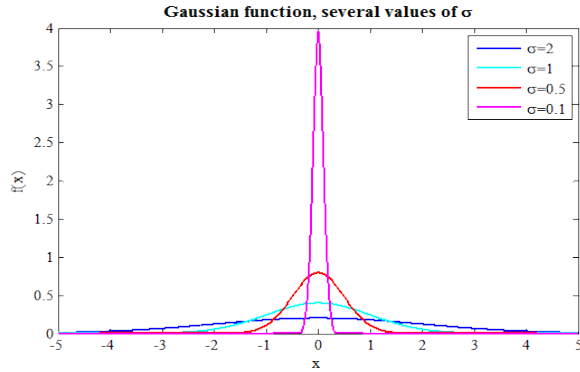
Daartoe **kiezen we een daarvoor geëigend systeem** en voeren we op de ingang **$x(t)$ een ingangssignaal, een plan, toe in de vorm die we op de uitgang van het systeem in de tijd graag willen bereiken**

Voorbeelden van **signalen** en daarbij behorende **systemen**

- ⊗ Stel de thermostaat hoger en het wordt na 15 minuten behaaglijk warm in de kamer (stap signaal)
- ⊗ Een paard krijgt de sporen en gaat lopen (impuls signaal)
- ⊗ Trap het gaspedaal in en de auto gaat harder rijden (lineair signaal)
- ⊗ Als het stoplicht van **rood** naar **groen** gaat zal de file gaan rijden
- ⊗ De jonge moeder ruikt 'n poepluier en ze gaat haar baby verschonen
- ⊗ De druk in je blaas neemt toe en je gaat naar het toilet om te plassen

Veel gebruikte ingangssignalen:

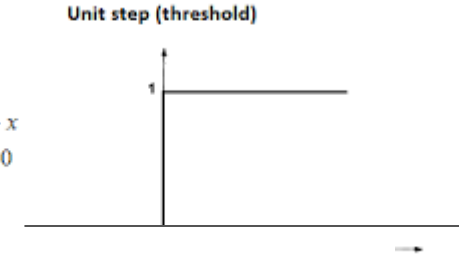
Impuls



$\delta(t)$ 1 (L)

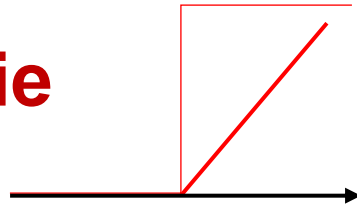
Stap

$$f(x) = \begin{cases} 0 & \text{if } 0 > x \\ 1 & \text{if } x \geq 0 \end{cases}$$



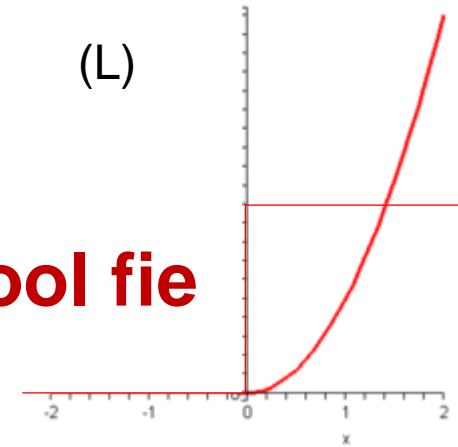
$1(t)$ of ook wel $u(t)$ $\frac{1}{s}$ (L)

Stap, Lineaire fie



$t \cdot 1(t)$ $\frac{1}{s^2}$ (L)

Stap x Parabool fie



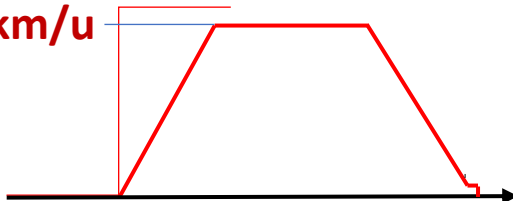
$t^2 \cdot 1(t)$ $\frac{1}{s^3}$ (L)

Vb liftkooi:

4 sec	$1,5 \text{ m/s}^2$ versnellen	12 m
6 sec	6 m/s continu	36 m
4 sec	$1,5 \text{ m/s}^2$ vertragen	12 m

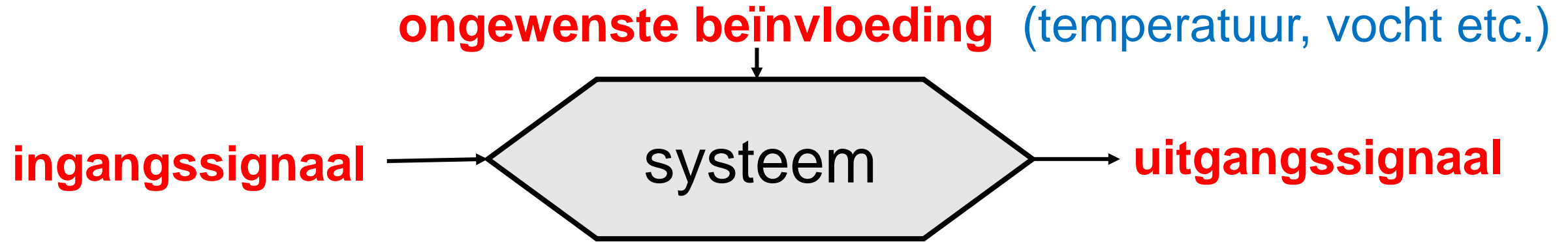
in 14 sec is de lift 60 m hoog op de 18^e verdieping

6 m/s = 21,6 km/u



Voorbeelden van systemen in de maatschappij om ons heen:

Biologisch Elektrisch Mechanisch Economisch Kunstmatig (ai)
Logistiek Politiek Hydraulisch Medisch Pneumatisch

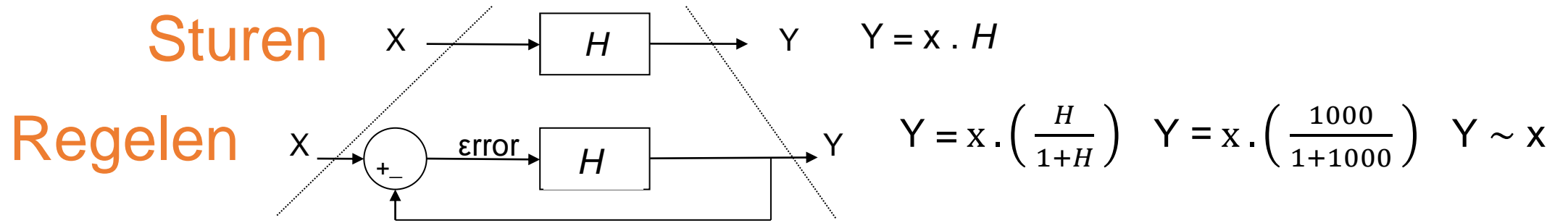


Veel systemen kun je volledig wiskundig beschrijven. **Een hoera voor ons technici!** Je kunt dan exact voorspellend berekenen hoe dat systeem op een signaal zal reageren.

Bij andere systemen is het schier onmogelijk om ze volledig wiskundig te beschrijven **omdat ze nog niet volledig doorgrond worden.**

Zo zie je ministers van economische zaken en specialisten van de verschillende politieke partijen tegenstrijdige oplossingen aandragen voor dezelfde economische probleemsituatie. Het systeem van de staatshuishoudkunde van het kleine Nederland is blijkbaar nog niet volledig doorgrond.

Stuursysteem en Regelsysteem

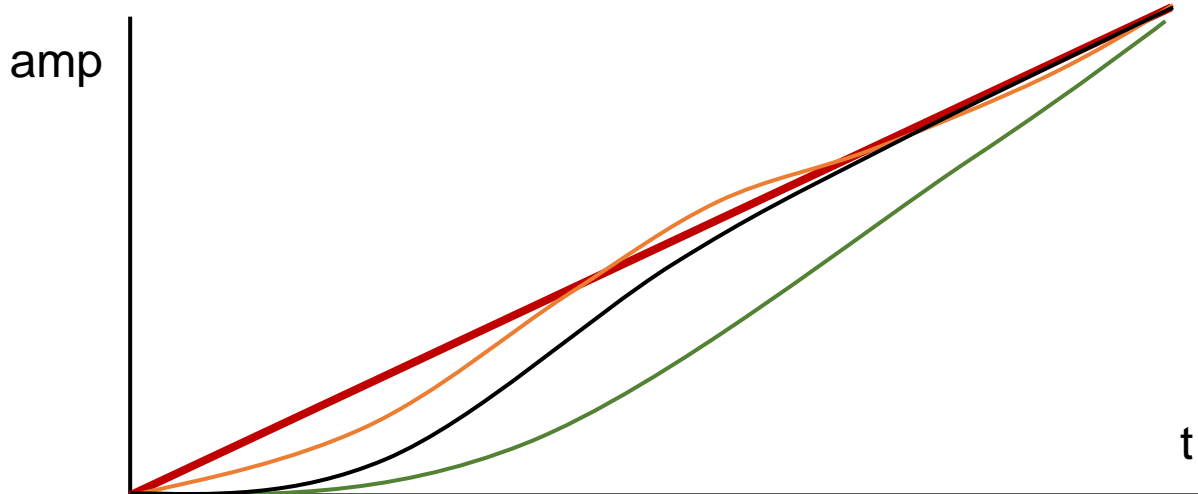
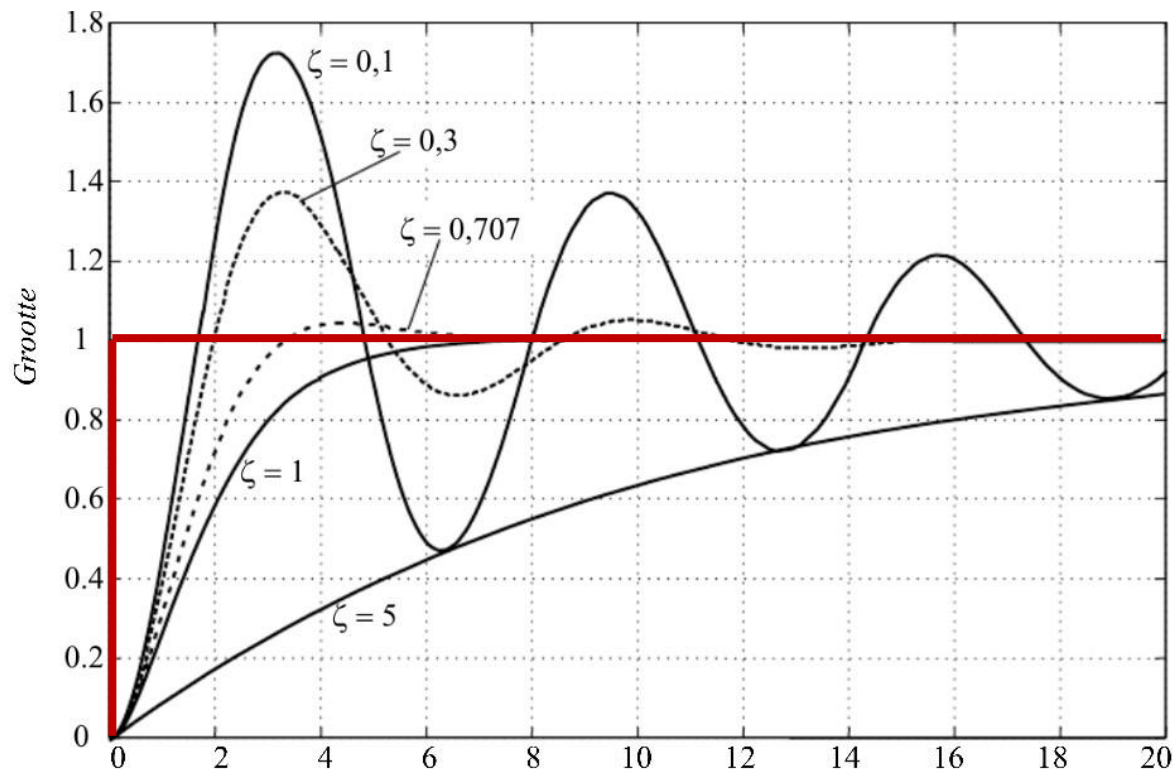


Het is de bedoeling dat de overdracht “H” een **grote waarde** heeft want dan is de uitgangswaarde gelijk aan het inputsignaal.

Voorzichtig met een waarde voor “H” dicht bij **-1**.

De noemer wordt dan “**0**”

waardoor de uitgang **oneindig groot** wordt



Mogelijke respons op een stap signaal en op een lineaire functie.

De respons kan telkens vrij worden gekozen en door de ontwerper in overleg met de opdrachtgever worden ingesteld.

Merk op dat (ongewenste) instabiliteit mogelijk is!

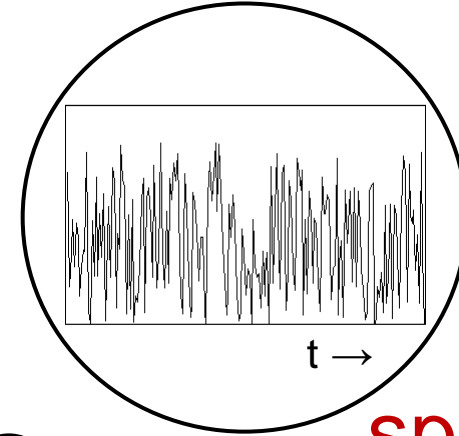
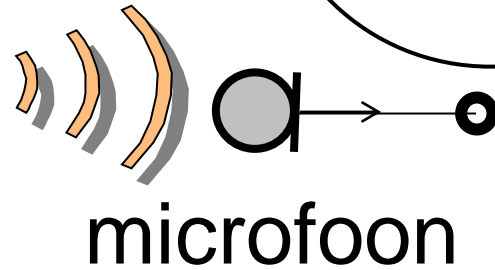
Wat is analoog?

Definitie analoog: “gelijkend op”

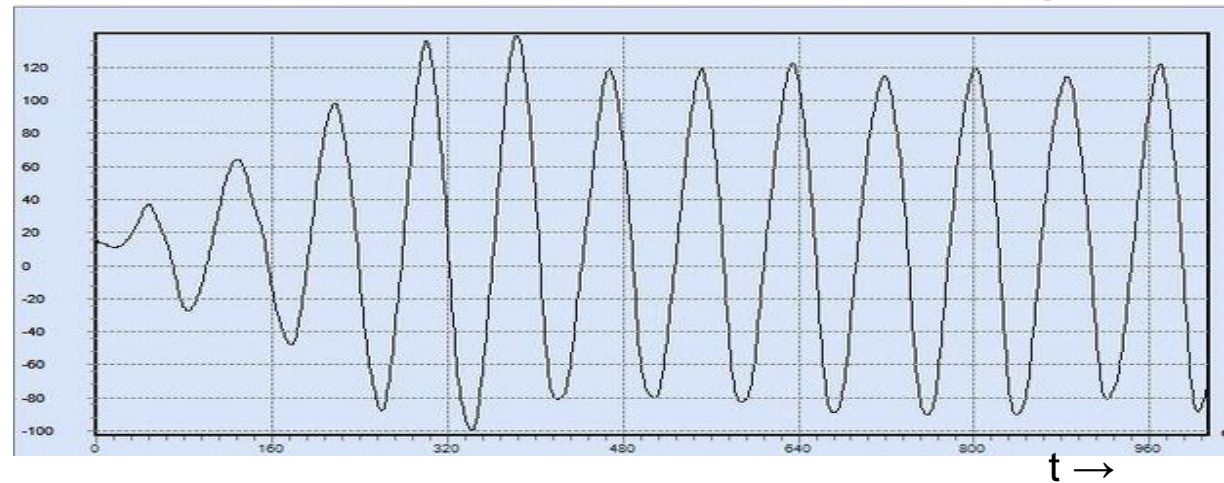
Voorbeeld spraak of muziek:



luchtdruk
verandering
membraan



spanningsverandering
in amplitude
en frequentie



De mens als analoog systeem: zintuigen

Gebruikte definitie:

Een menselijk zintuig is een **analoog systeem** waarbij sensorische cellen reageren op specifieke fysische **analoge signalen**. Die signalen worden getransformeerd naar zenuwprikkels en vervolgens via zenuwbanen verzonden naar een bepaalde regio van de hersenen en daar na aankomst verwerkt tot een voor de mens bewuste waarneming.

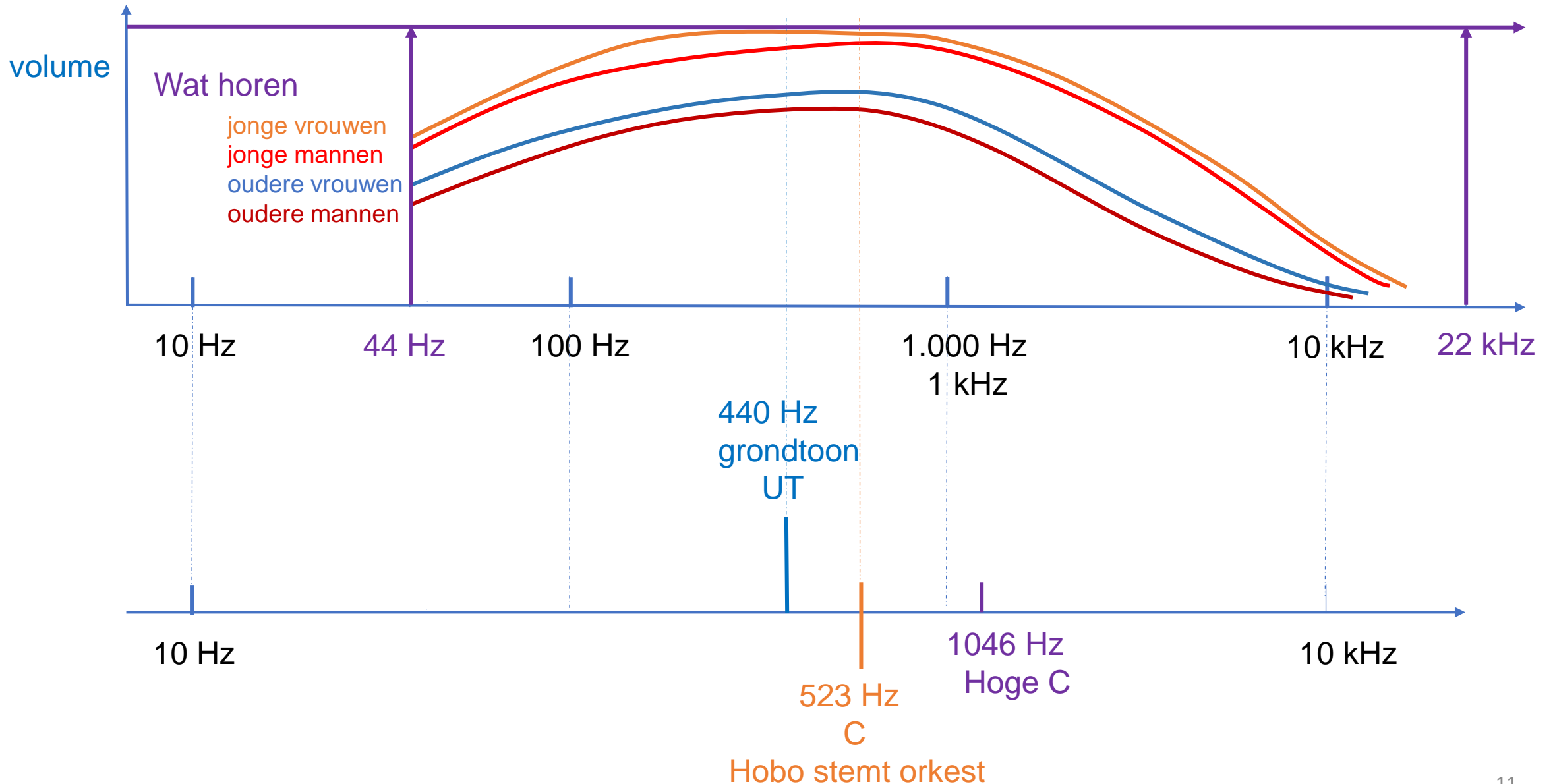
Gezichtsvermogen	ogen	zien	licht, vorm, kleur	lichtkegeltjes
Gehoor	oren	horen	geluid	trilharen in het slakkenhuis
Reukzin	neus	ruiken	geur	geurreceptoren
Smaakzin	tong	proeven	smaak	smaakpapillen
Tastzin	huid	voelen	druk, warmte, pijn	gevoelszenuwen

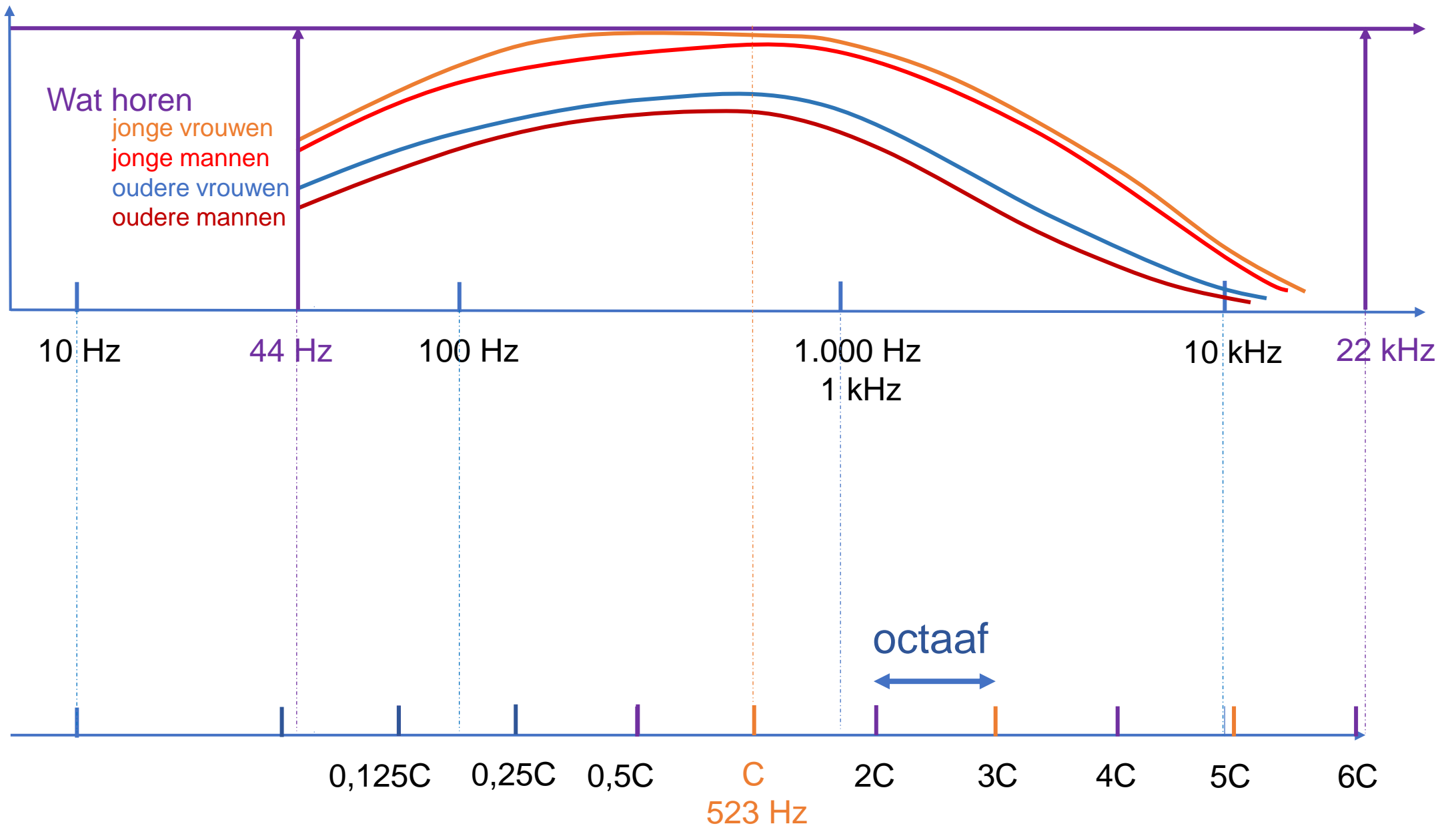
Het zesde zintuig?

Evenwicht en Proprioceptie

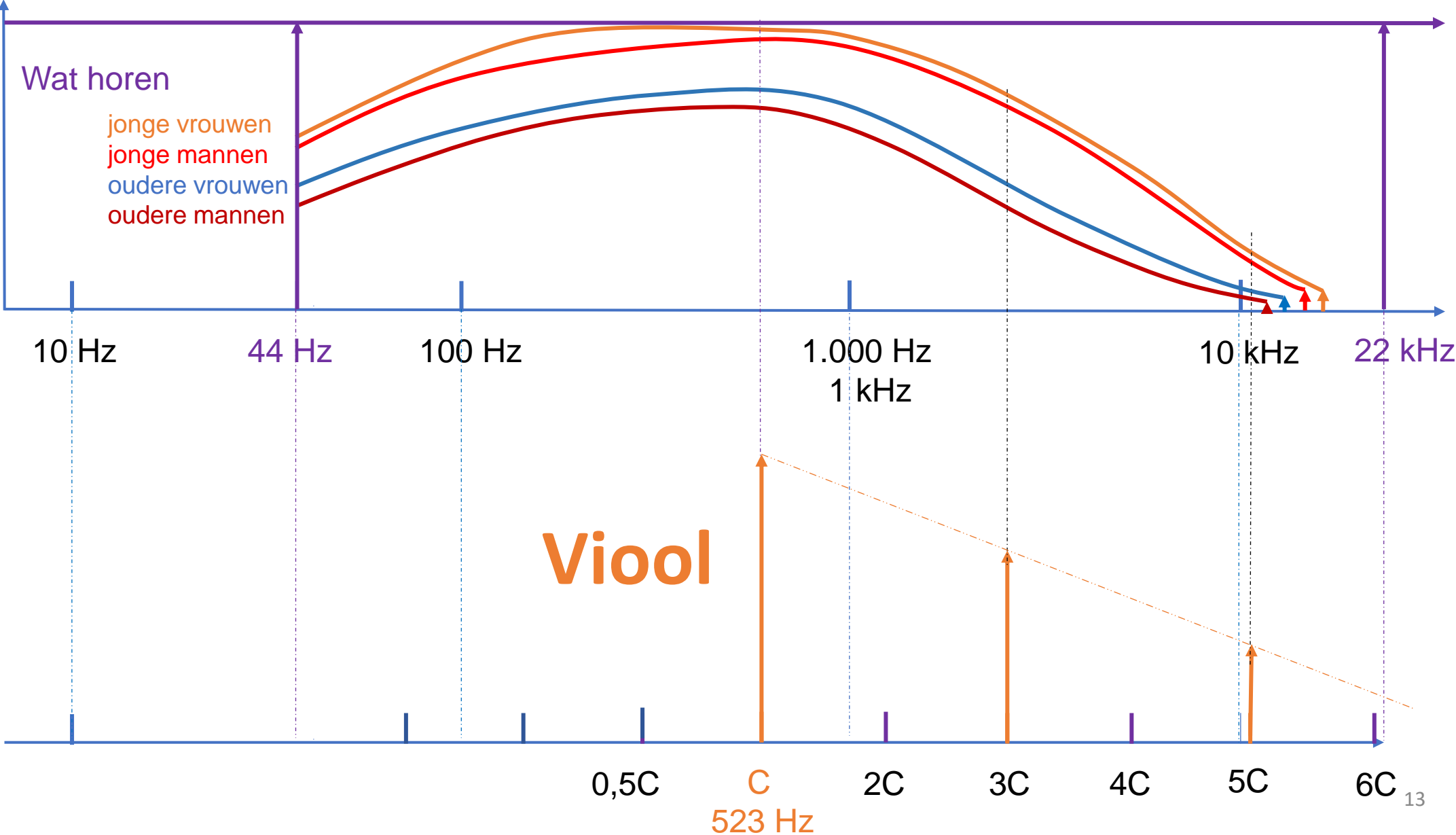
Andere voorbeelden (bij dieren): magnetoceptie bij duiven, echolocatie bij vleermuis, electriciteitszin bij vissen, stereogeur bij slang etc.

Ik werk vanaf nu “geluidsignalen en -systemen” als voorbeeld uit

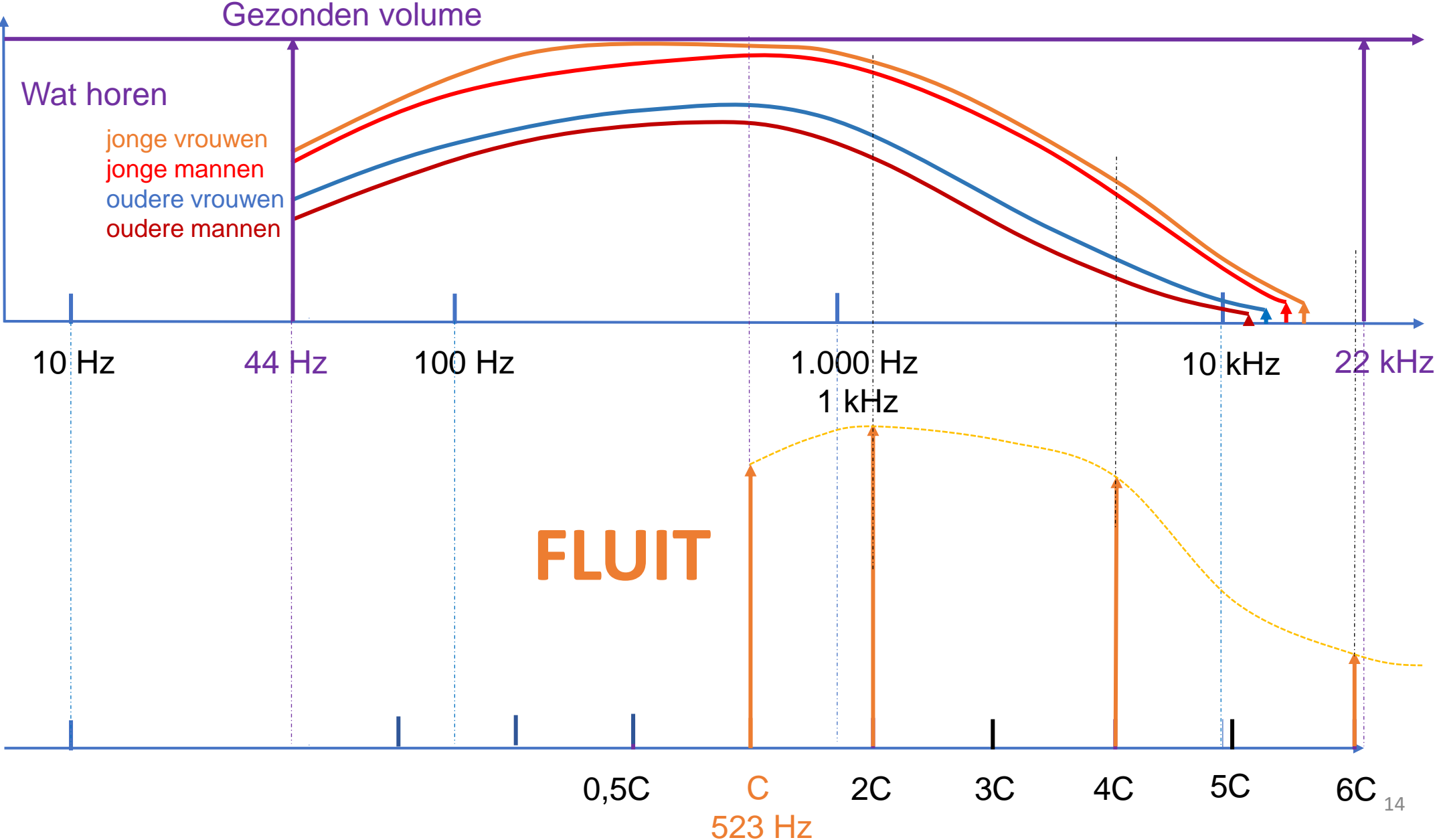




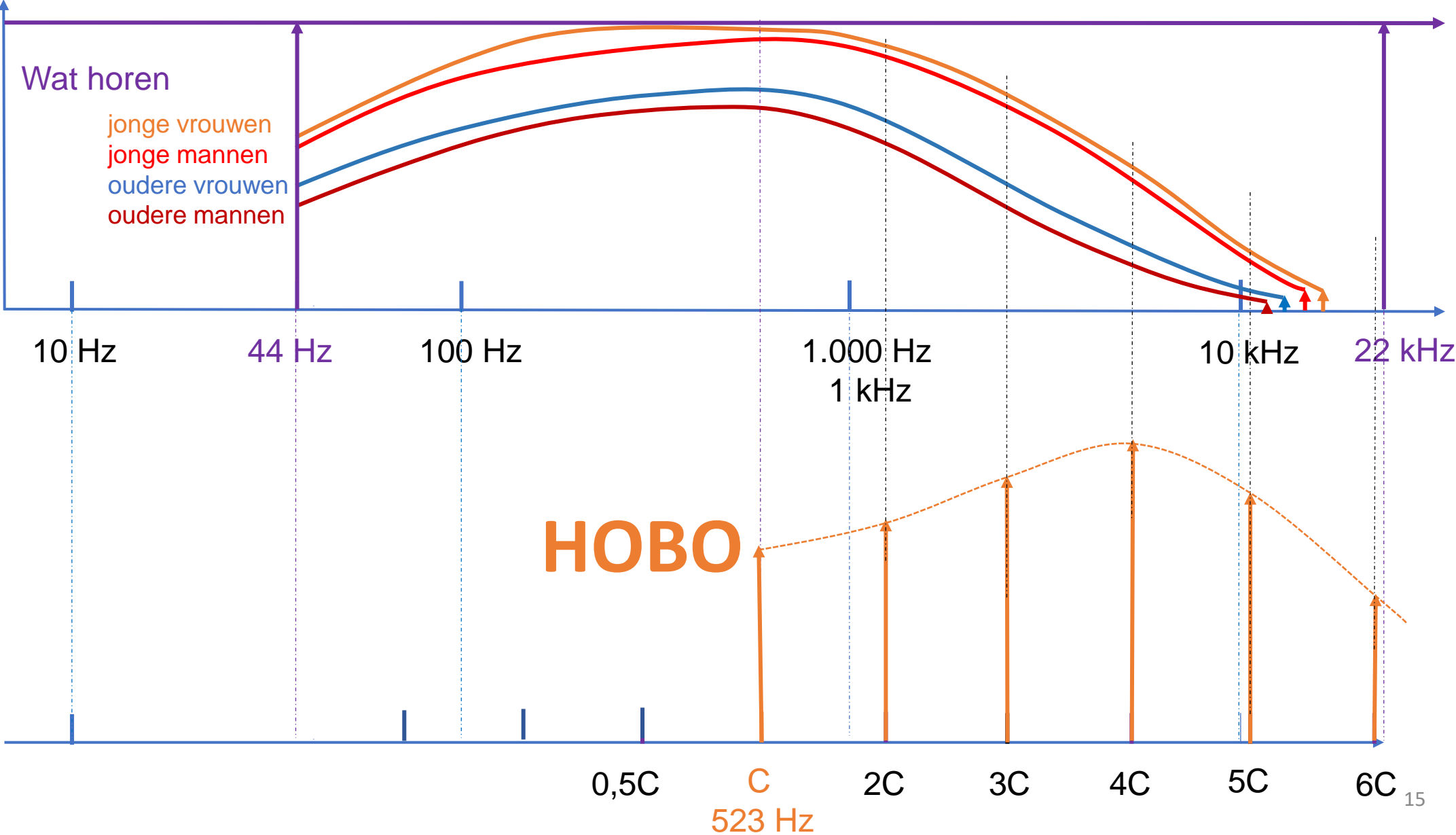
Geïdealiseerde frequentiespectra

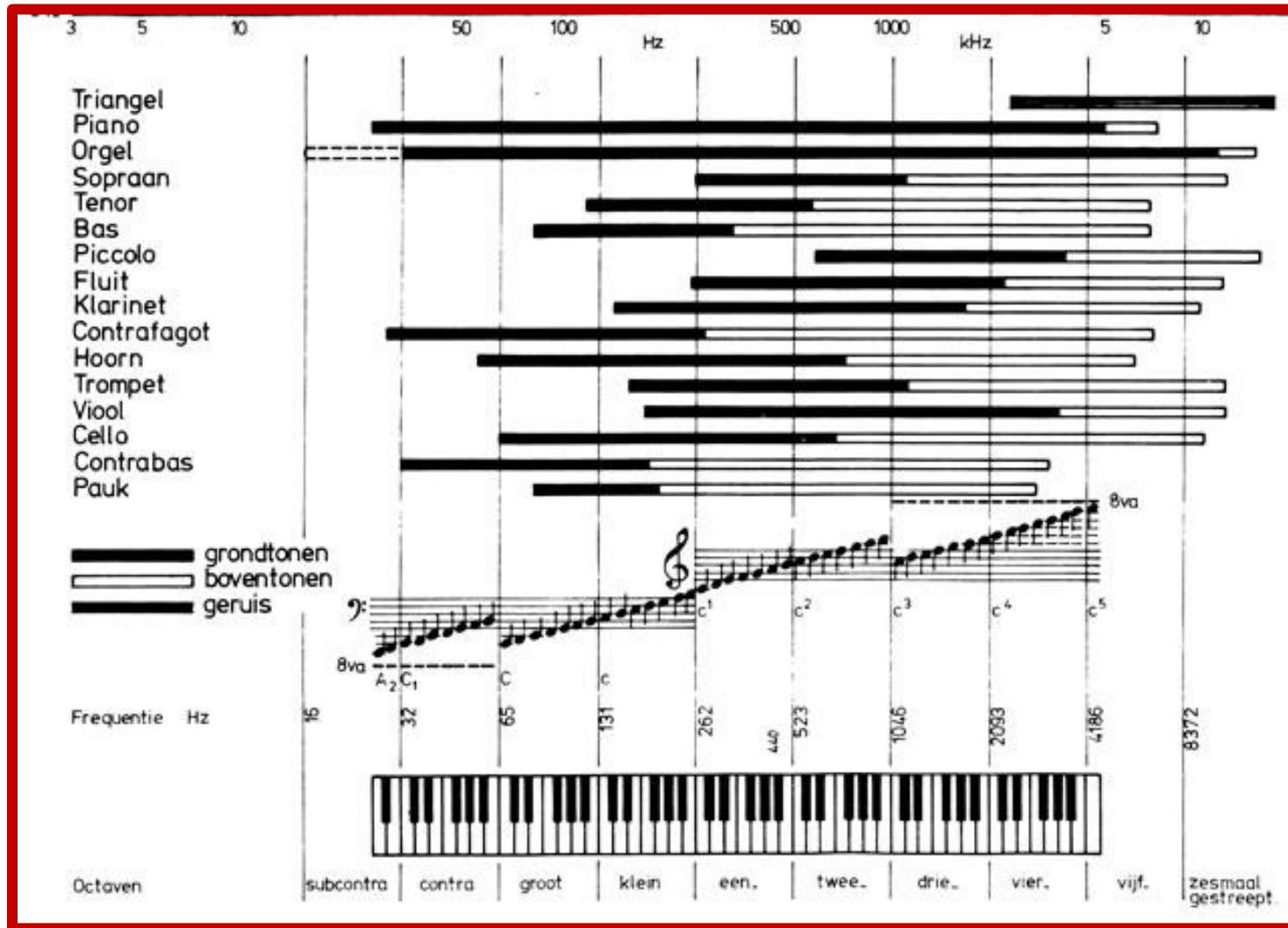


Geïdealiseerde frequentiespectra

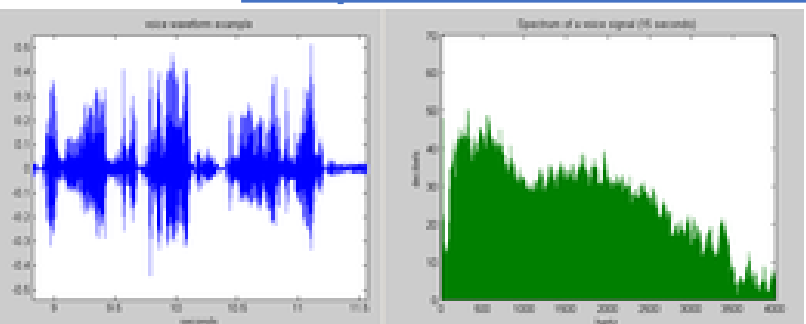
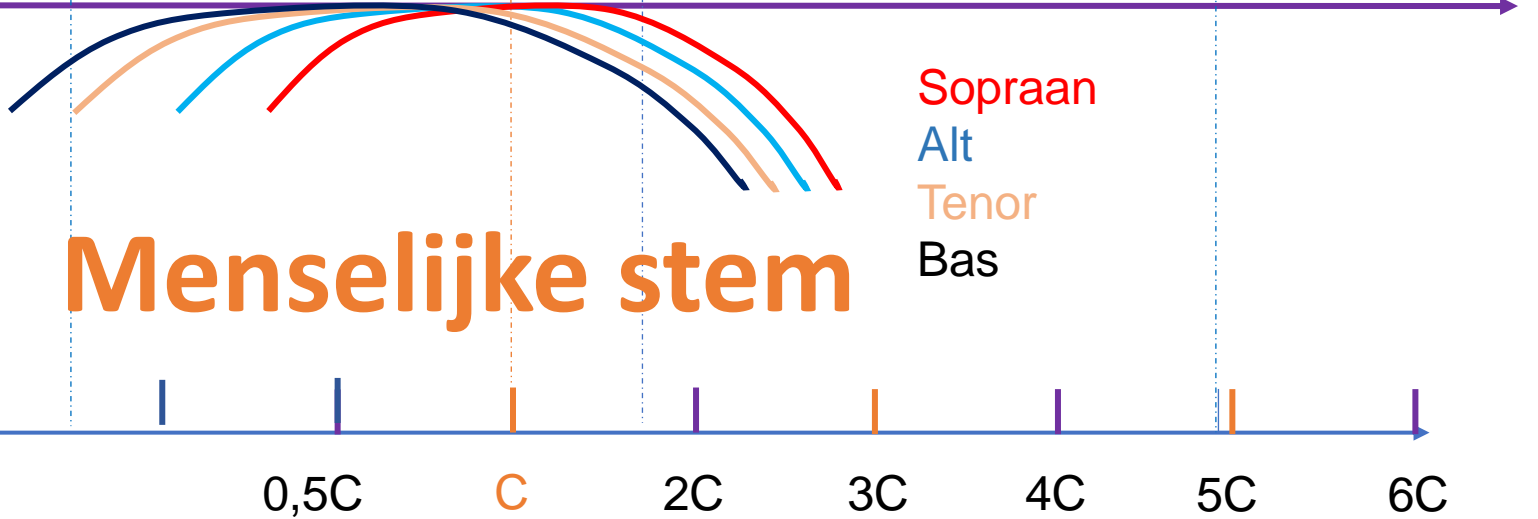
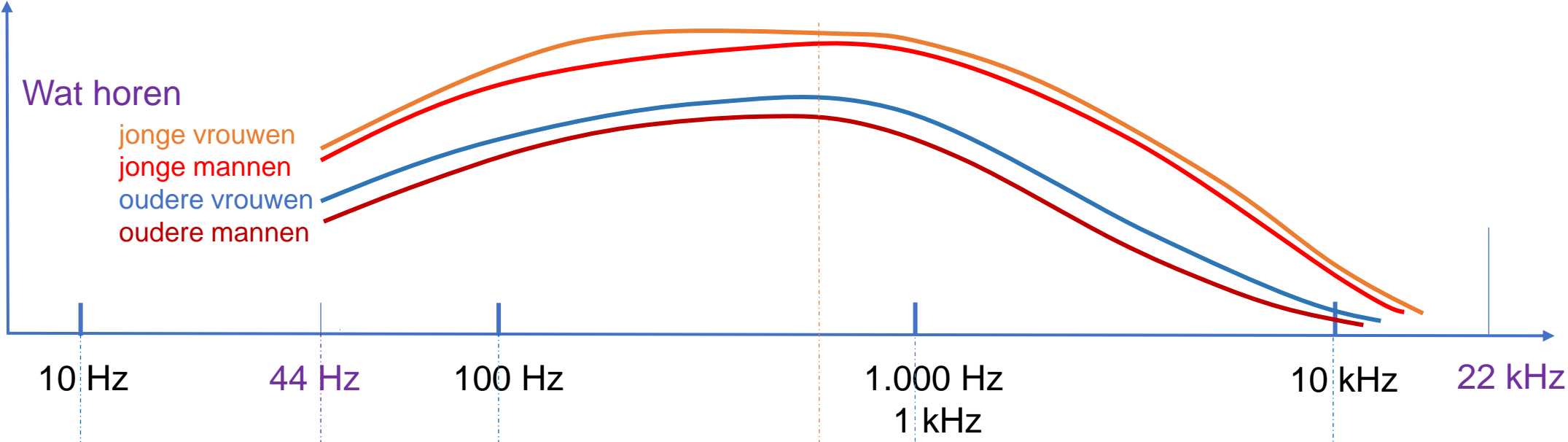


Geïdealiseerde frequentiespectra





Zie hier het hele orkest



Mijn stem als $f(t)$ en het frequentiespectrum

Kenmerken van analoge, LTC signalen en LTC systemen:

Lineair:

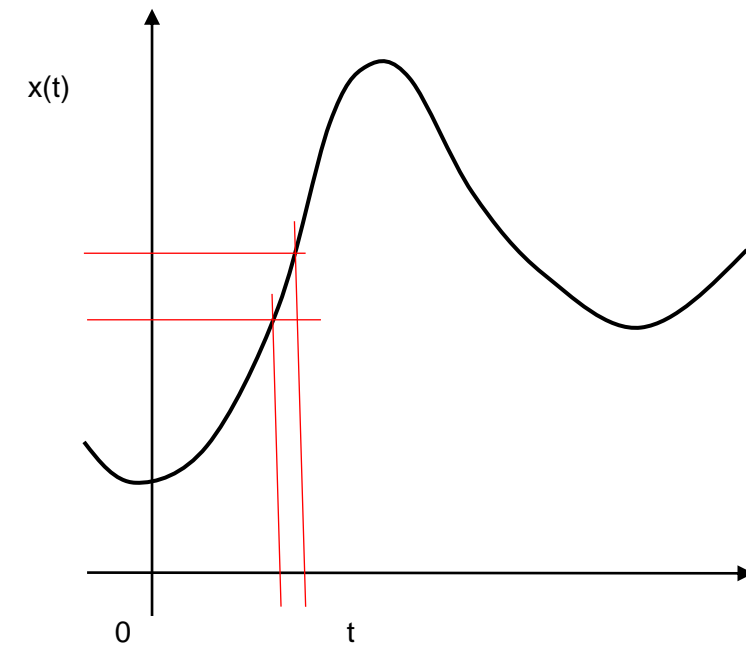
Binnen een willekeurig bereik zijn er **oneindig** veel waarden **in amplitude** en **in de tijd**.

Tijdinvariant:

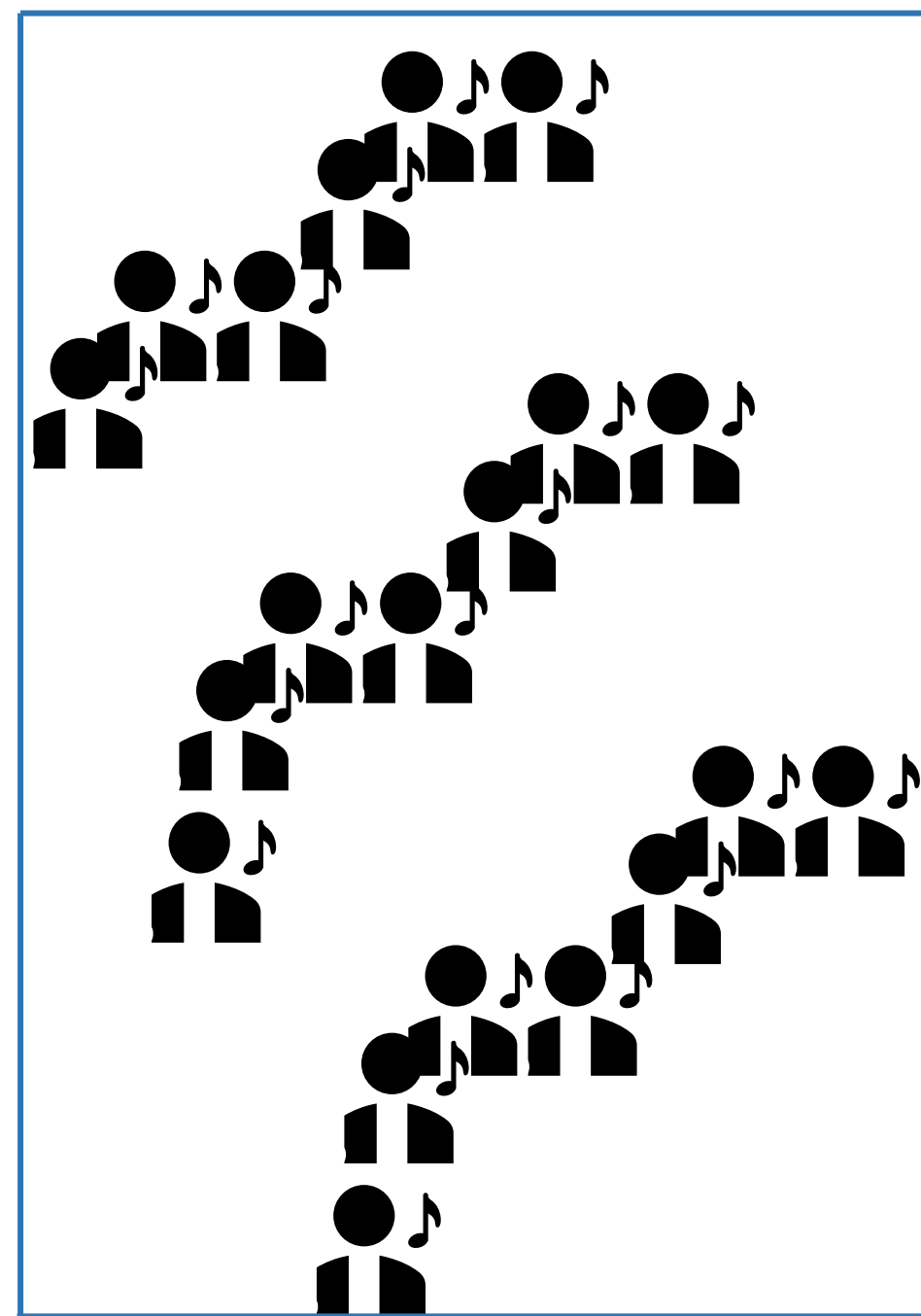
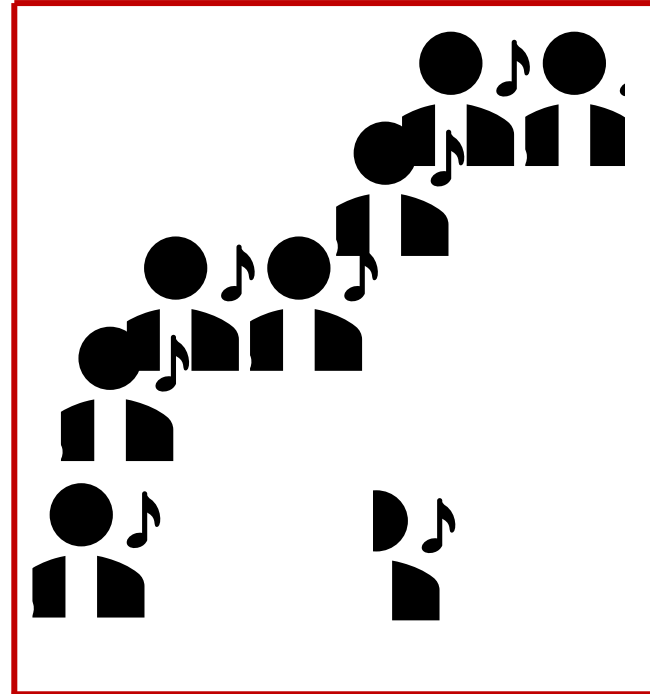
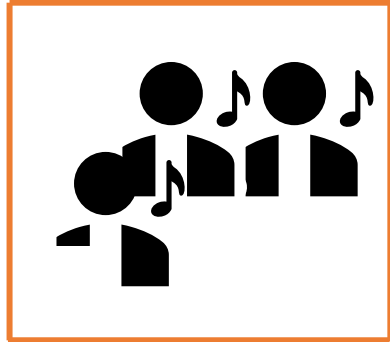
Het **stelsel** blijft in de tijd **altijd gelijk**.

Continu:

Het **signaal** vertoont **nergens een sprong**



Ons gehoor is logaritmisch



Voor het ervaren van **2x** zoveel geluid zijn **2,72 zangers** nodig

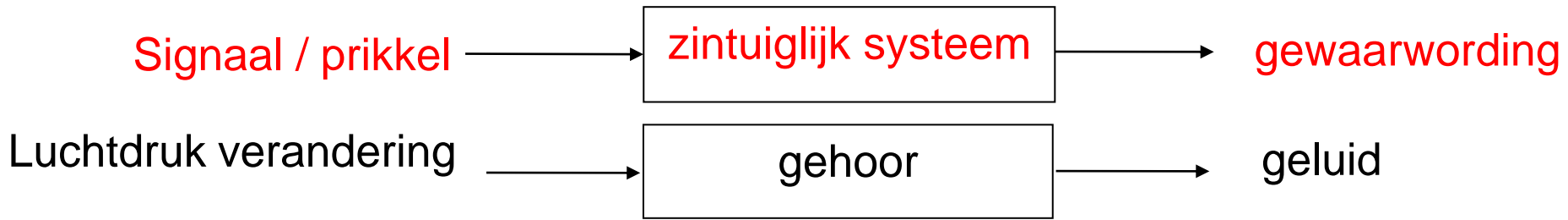
Om **3x** zoveel geluid te ervaren zijn **7,4 zangers** nodig

Om het geluid **4x** zo luid te ervaren zijn **20,4 x zangers** nodig

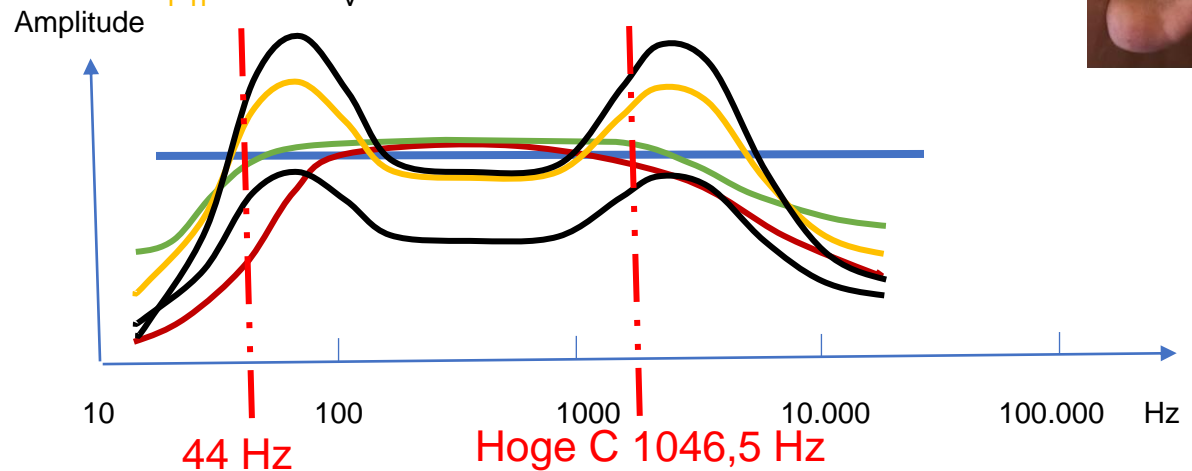
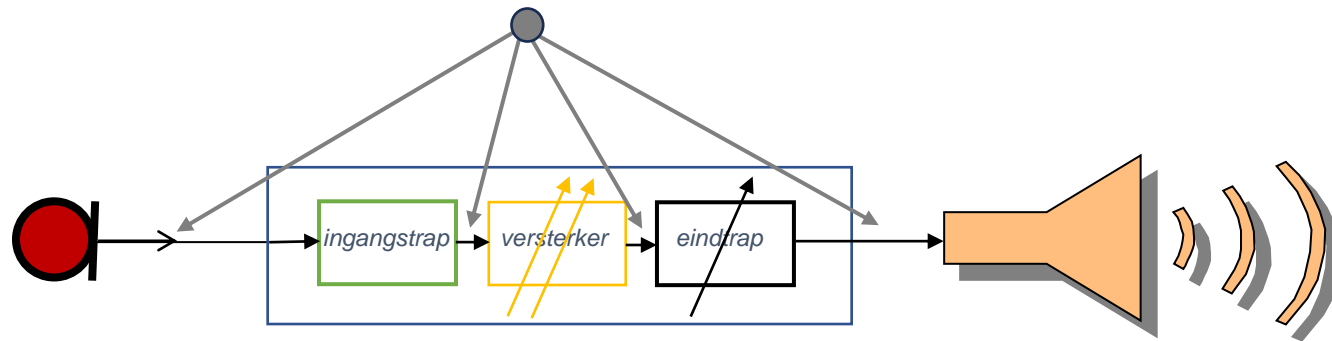
(5x 56 zangers

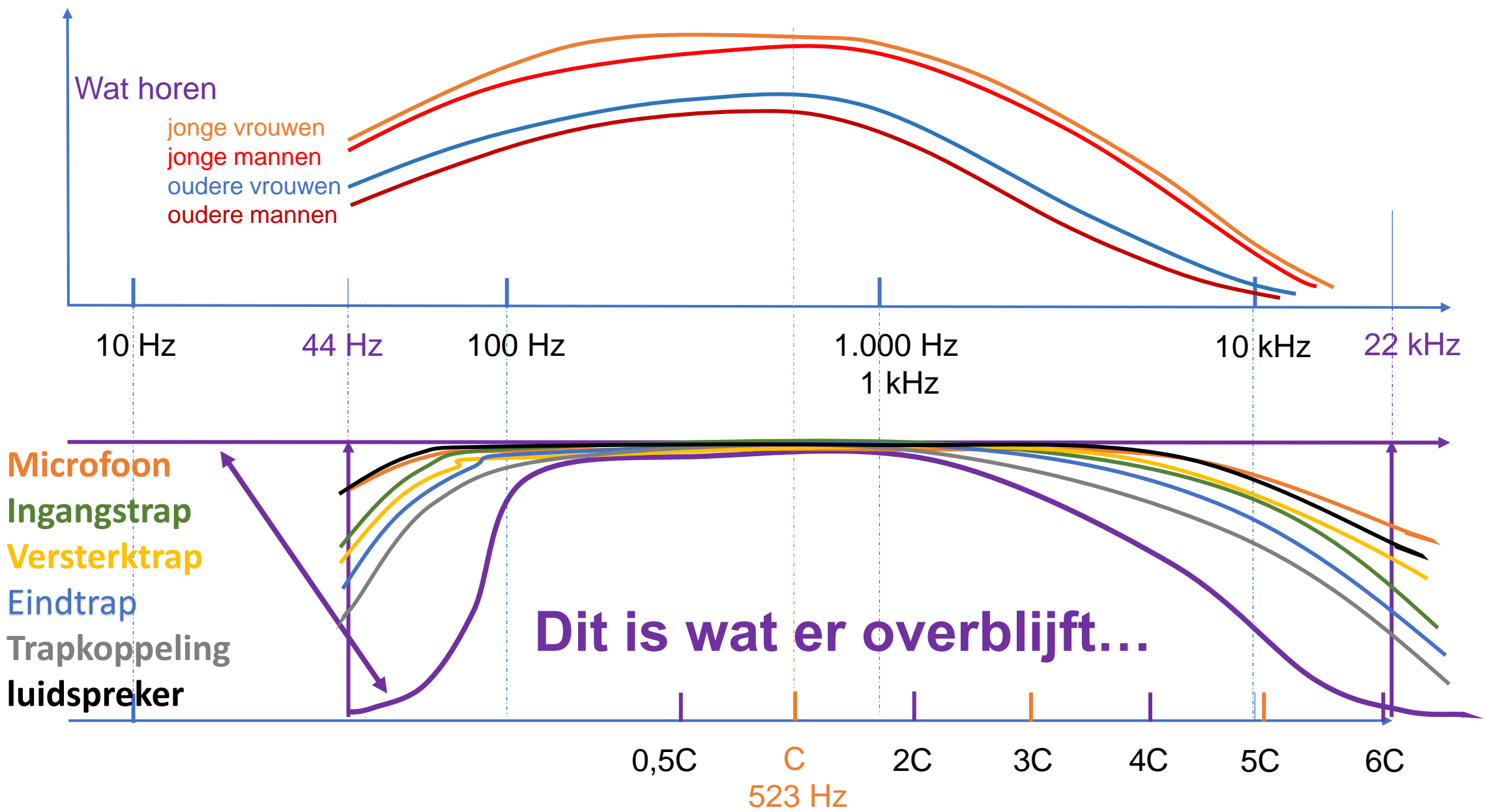
6x 151 zangers)

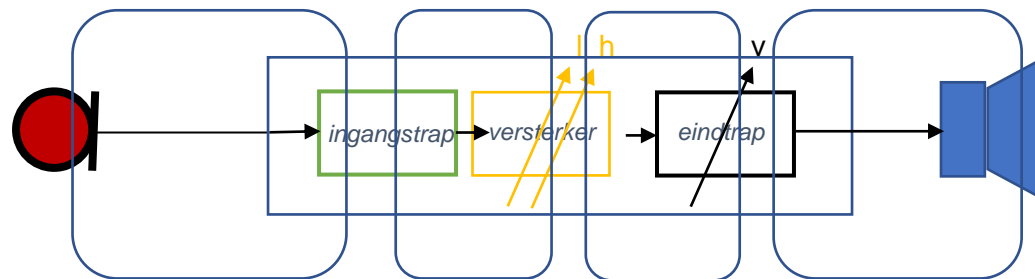
Uitgewerkt voorbeeld: het gehoor als analoog **zintuiglijke systeem voor de mens**:



trapkoppeling

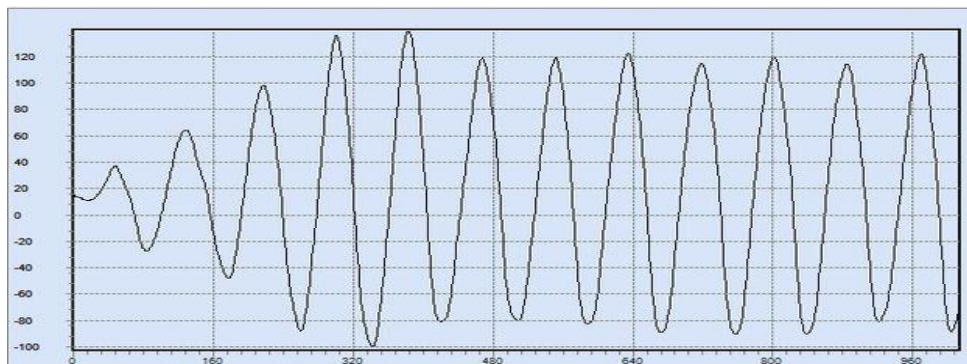






Nadelen van analoge systemen:

- ⊗ **Frequentievervorming**
- ⊗ **Koppelproblemen componenten**
- ⊗ **Ruis**

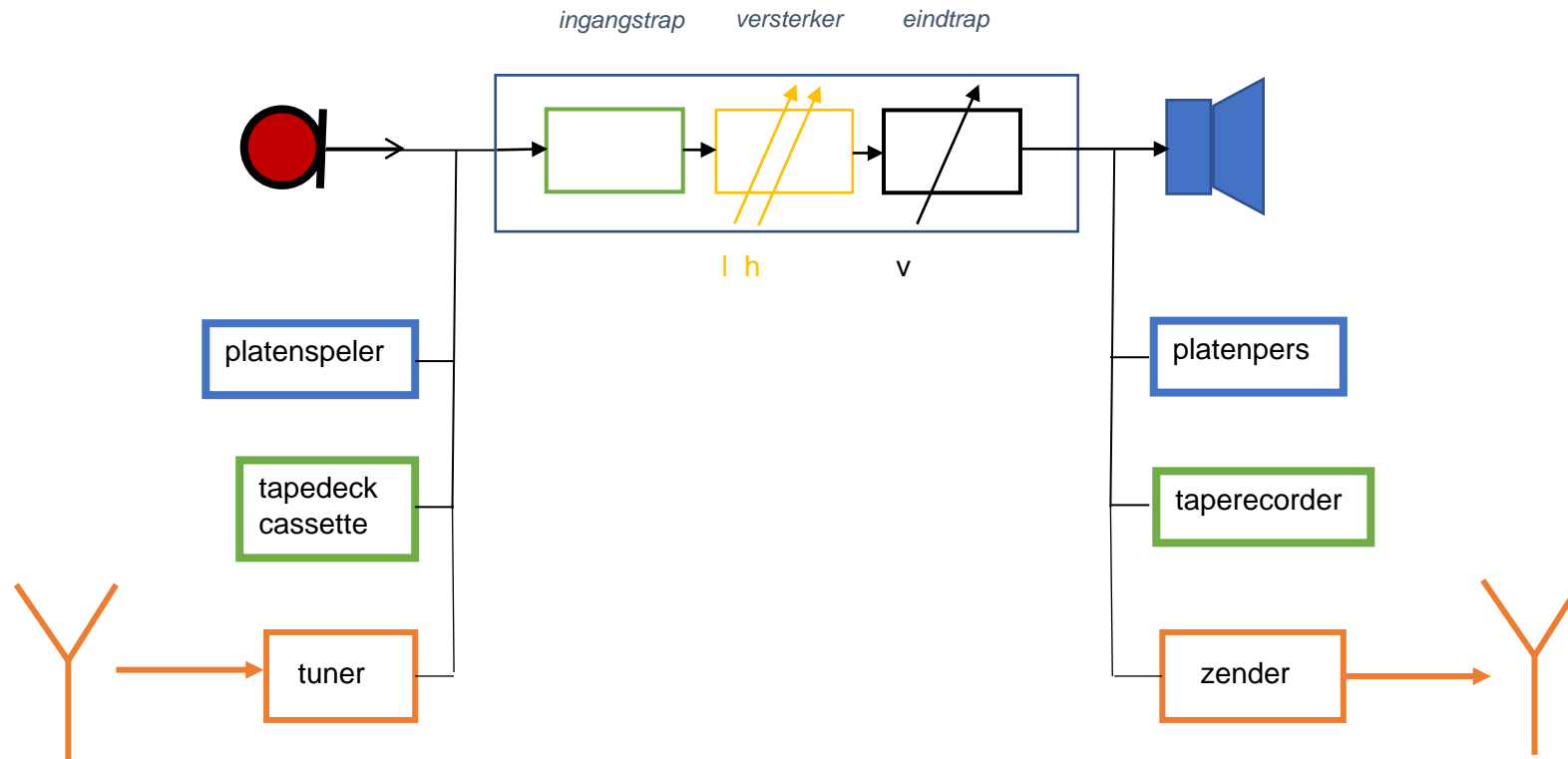


Geluidsignaal: ja maar...



Ruis uit de omgeving en uit alle onderdelen van de versterkertrappen maken deel uit van het signaal

Voorbeeld van analoge systemen zoals die gerealiseerd werden



Kenmerk:

Een systeem wordt gebouwd voor één enkel specifiek doel

het systeem is niet flexibel.

Als je het doel verandert moet je

het systeem opnieuw ontwerpen en bouwen!

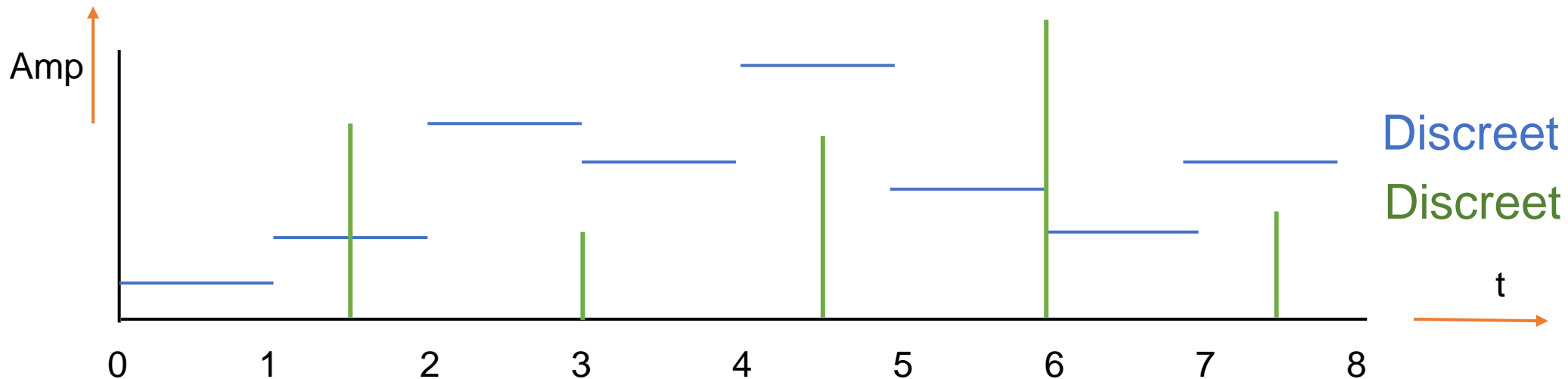
Discrete signalen

Een set van **discontinue** waarden, **z nder ruis**, gebaseerd op **afzonderlijke tijdstippen** of in **vaste intervallen**

Een reeks temperatuurmetingen: 40,1 39,7 38,2 36,9

Rapportcijfers: 6 7,5 8 5,3

Kleding of schoenmaten: 39,5 40 40,5 41,5 42



Kenmerk van discrete LTD signalen:

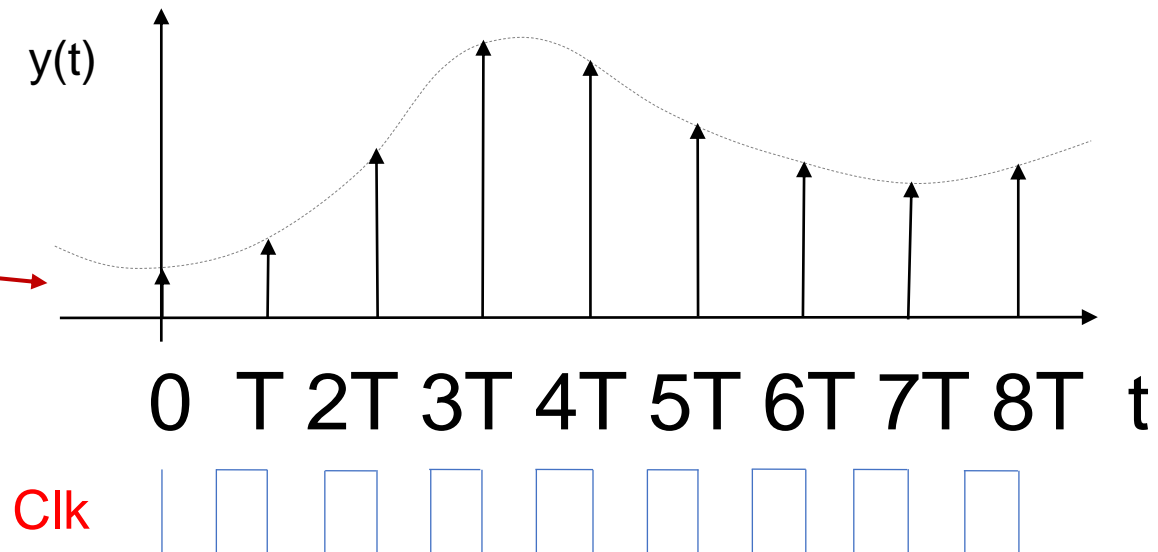
Discreet: binnen een zeker bereik zijn er slechts **eindig** veel waarden, **zowel in amplitude als in de tijd**

Elk tijdstip waarop een signaal bestaat worden In de praktijk door een **Clk-sigitaal** gegenereerd.

Vaak kiest men de **negatieve flank** van het kloksigitaal.

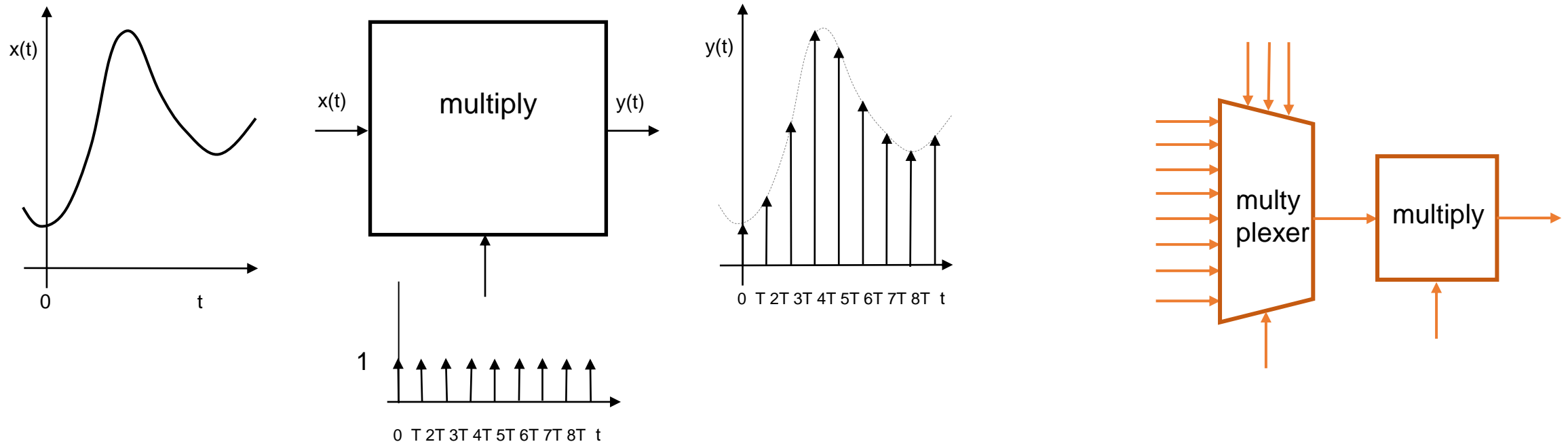
Let op!

De omhullende bestaat niet meer!



Van een analoog LTC signaal naar een discreet LTD signaal.

LTD: Lineair Tijdinvariant Discreet



Dat doe je door het analoge LTC signaal te vermenigvuldigen met een reeks eenheidsimpulsen. Zo ontstaat op een reeks discrete tijdstippen een reeks LTD signalen in de vorm van impulsen met variërende amplitude.

Let op! De gesuggereerde omhullende bestaat niet meer!

De overige informatie uit het LTC signaal ben je voor goed kwijt...

In de resterende tijd kun je andere signalen digitaliseren

Van **Discreet** naar **Digitaal**

Het begrip: “**Digitaal**” Komt van: “**digitus**”, “vinger” in het latijn

Een **digitaal signaal** is een **discreet signaal** dat slechts **gehele veelvouden van een gekozen eenheid** aan kan nemen.
Bijvoorbeeld de set gehele getallen: **1 2 3 4 5 etc.**

Een bijzonder **digitaal signaal** is het **binaire signaal**. (Leibniz 1689)

Binair: tweetalig, het is een bijzonder discreet signaal dat slechts de waarden “**0**” en “**1**” kan aannemen.

Zo gaan we **digitale signalen opbouwen** uit de **set binair**

We bouwen ze dus op uit de waarden “**0**” en “**1**”

Vergelijken van het ons bekende **tientallige stelsel** met andere talstelsels

Tientallig:	de set symbolen	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	(de “0” Bramagupta, 628 nC)
Tweetallig:	de set symbolen	0 1	(t.b.v. de digitale elektronica als set “L” en “H”)
Twaalftallig:	de set symbolen	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 X E	

Gewogen getallen decimaal en binair:

$$\begin{array}{ccccccc} 10^2 & 10^1 & 10^0 & & 2^6 & 2^5 & 2^4 & 2^3 & 2^2 & 2^1 & 2^0 \\ 0 & 7 & 8 & \text{dec} & = & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & \text{bin} \end{array}$$

Rare wij
Denk aan onze
analoge klok

Rekenen in verschillende talstelsels:

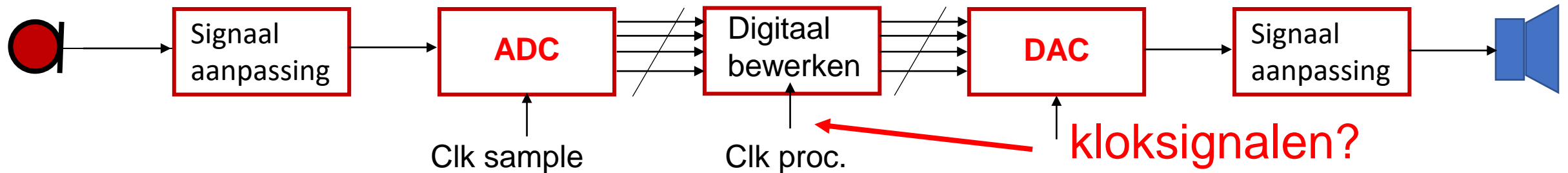
$$\begin{array}{r} \begin{array}{r} 7 \quad 8 \quad \text{dec} \\ 3 \quad 4 \quad + \\ \hline 1 \quad 1 \quad 2 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 1 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 0 \quad \text{bin} \\ 0 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad + \\ \hline 1 \quad 1 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad \text{bin} = 112 \text{ dec} \end{array} \end{array}$$

Het maakt niet uit in welk tallenstelsel we rekenen: de rekenkundige en wiskundige bewerkingen zoals: optellen, aftrekken, vermenigvuldigen, differentiëren en integreren delen blijven identiek!

Hoe gaat het bij een digitaal systeem dan met een analoog inputsignaal?

Bekijk het voorbeeld van de analoge microfoon en de luidspreker.

Het **analoge** microfoonsignaal wordt **analoog** aangepast, genormaliseerd, om het geschikt te maken alsingangssignaal van een **Analoog Digitaal Converter**. Dan **met de ADC gedigitaliseerd**. Vervolgens **digitaal bewerkt**. Van daaruit via een **Digitaal Analoog Converter DAC** weer tot een **analoog signaal** omgevormd en als laatste **analoog aangepast** voor de **analoge** luidspreker.



Enkele digitale bewerkingen zijn:

converteren, opslaan in geheugens, verzenden naar de cloud, alle rekenkundige bewerkingen in een rekeneenheid, CPU, ALU, geïntegreerde regeltheorie met z-transformatie.

Digitale chips werken met het binaire stelsel met de set L en H (i.p.v. 0 1)

Converteren (omvormen) van getallen van het tientallige, of decimale, stelsel naar het binaire stelsel is dus noodzakelijk om **digitale berekeningen uit te voeren**.

Terugconverteren is noodzakelijk om **de mens** van analoge informatie te voorzien.

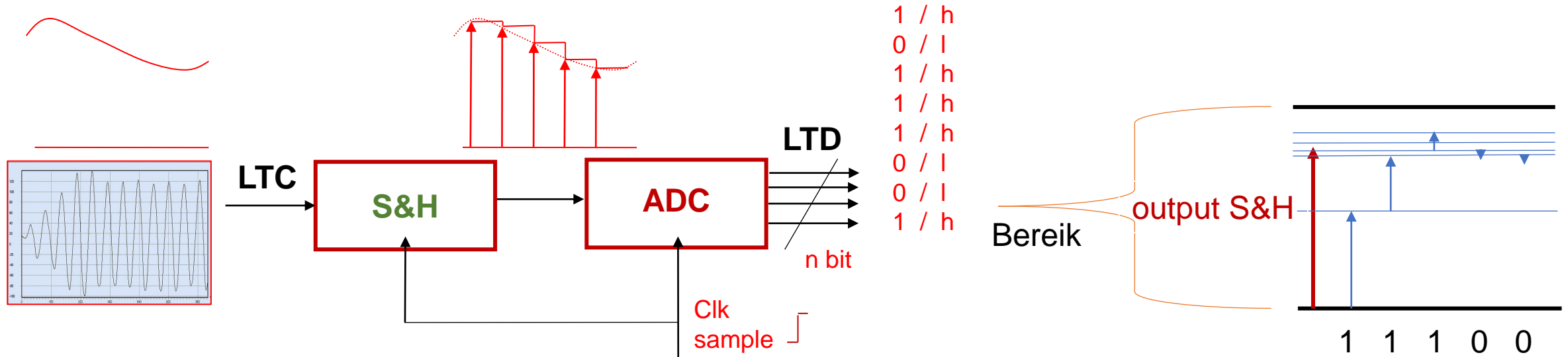
Telkens als je via een digitale schakeling een berekening uit laat voeren toets je **decimaal** in op het toetsenbord. Dan wordt die data **geconverteerd naar binair**, wordt er **binair gerekend**, en dan weer **teruggeconverteerd naar het decimale stelsel**. Op het laatst **wordt het resultaat weer decimaal getoond**.

Een digitale chip (her)-kent de karakters van ons qwerty - toetsenbord niet. Voor elk afzonderlijk symbool is **een binaire ASCII code van 8 bits, een byte**, gereserveerd.

A	01000001	1	a	01100001	1	B	01000010	2	b	01100010	2
Y	01011001	25	y	01111001	25	Z	01011010	26	z	01111010	26

Probus = 010100000111001001101111011000100111010101110011 (vice versa) 30

Hoe vorm je een **analoog LTC** signaal om tot een **digitaal LTD** signaal?



Sample & **H**old
 Samplefrequentie

LTC input

Ruis

Sample Vermenigvuldiging

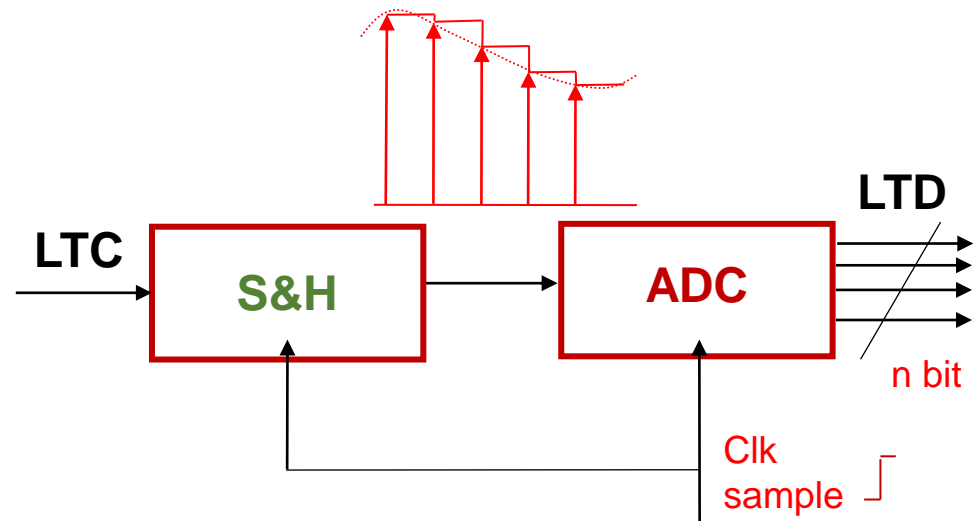
Hold-schakeling

Analoog **D**igitaal **C**onverter

Bereik, vergelijk,

Verschil positief? Dan "1",
 aftrekken, 2x

Verschil negatief? Dan "0",
 2x etc. etc. tot?



De **ADC** maakt 'n **afroundingsfout** kleiner dan $\frac{1}{2}$ **LSB**, de **L**east **S**ignificant **B**it

Let op: de **ADC** dient over een excellente **vermenigvuldiger 2x** te beschikken!

Vervolgens blijft de afgeronde digitale signaalwaarde perfect foutloos!

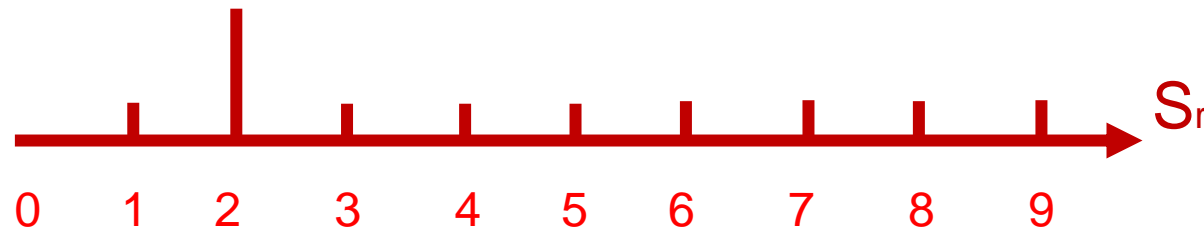
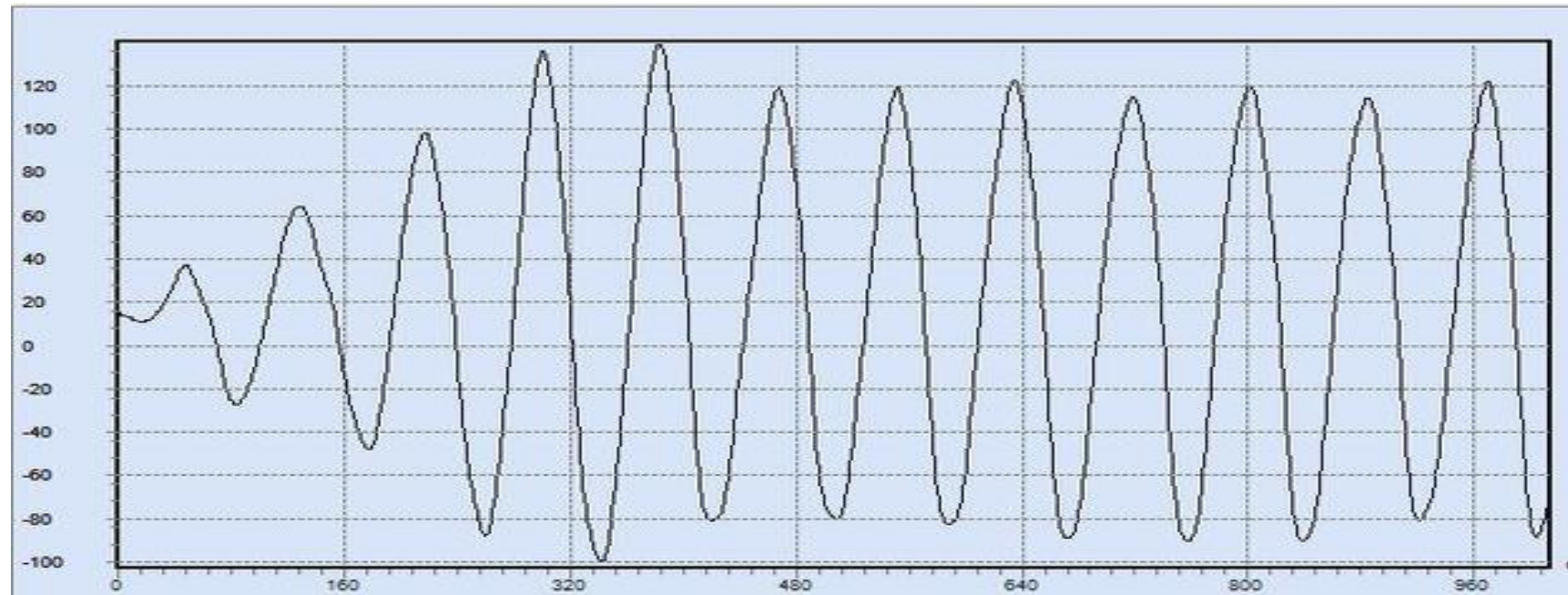
Wat er verder voor bewerkingen worden uitgevoerd op de digitale signalen:
er worden, digitaal, verder géén fouten meer gemaakt.

En wat als er een beetje omvalt? Nou: **Bitjes vällen niet om, NOOIT!**

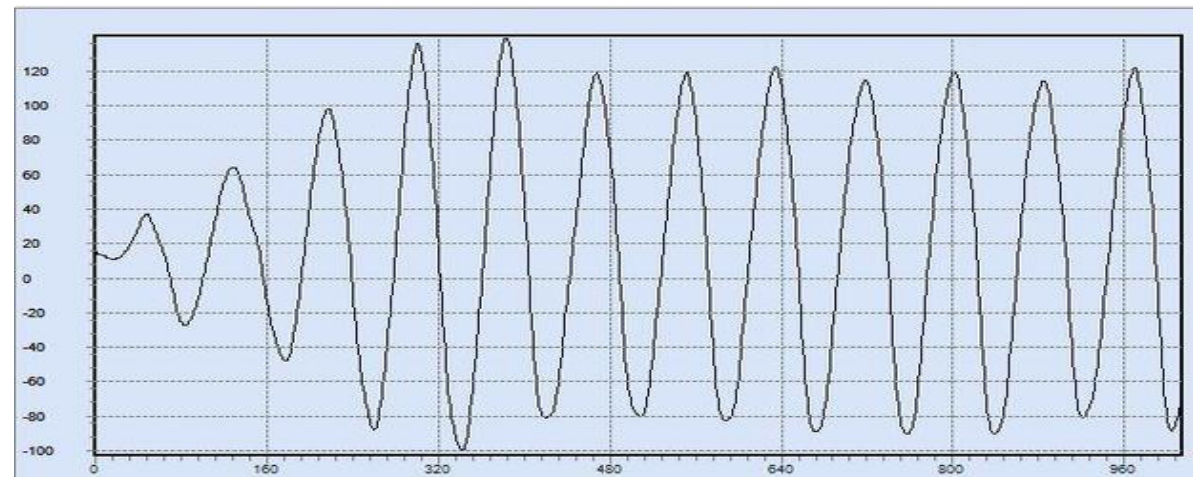
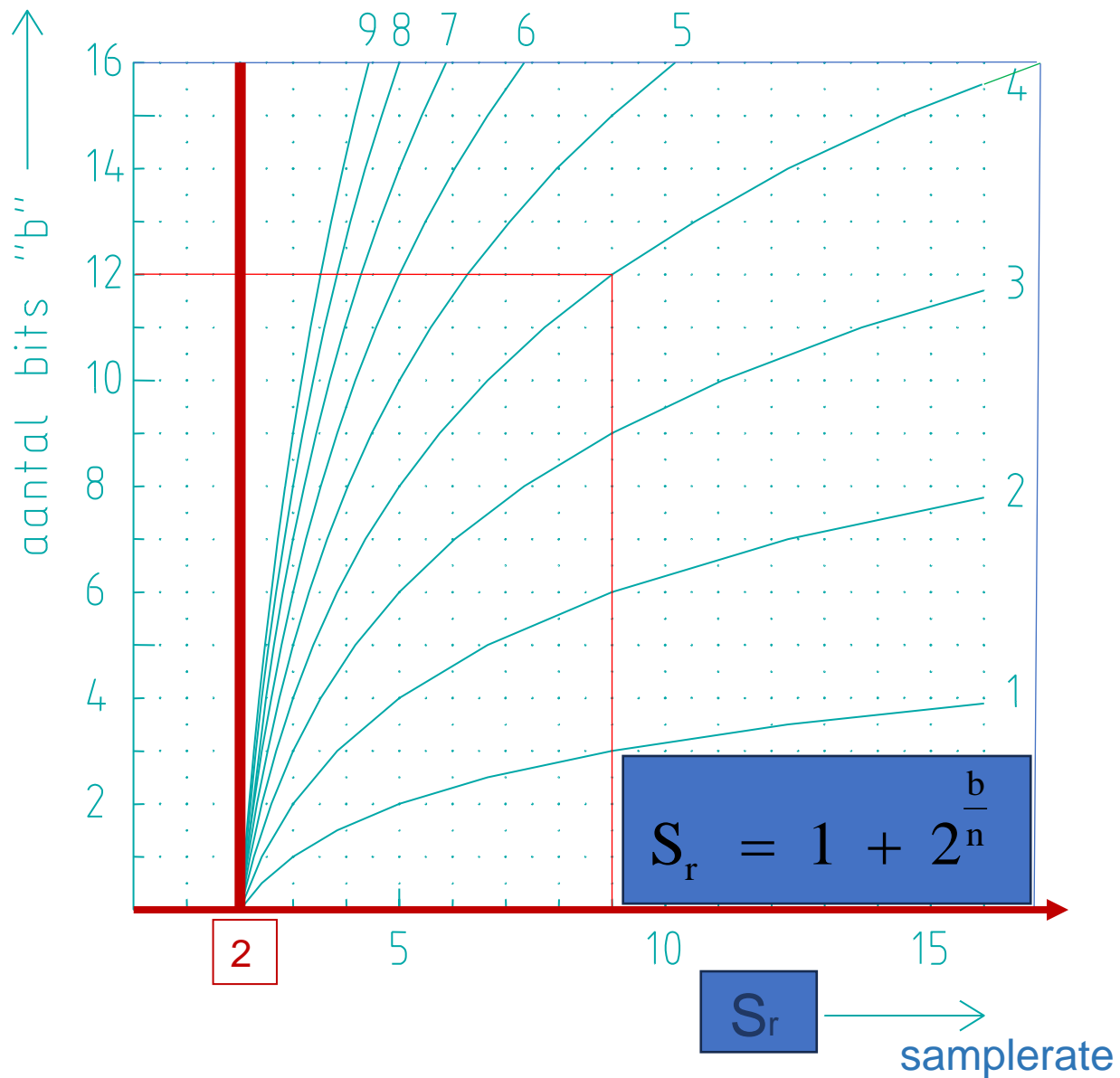
Blijft even de vraag hoe vaak je een signaal moet sampelen?

Bemonsteren

Hoeveel samples, of monsters, moet je nu eigenlijk uit de hoogste harmonische nemen om het oorspronkelijke analoge signaal weer terug te kunnen winnen?



Bemonstering theorema van Nyquist - Shannon:
Samplerate ≥ 2



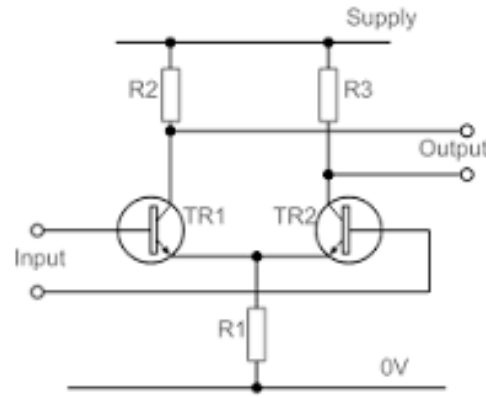
Zowel mijn afleiding van de formule als de bijbehorende grafiek zijn inmiddels opgenomen in de boeken van **Ogata**.
Keurig netjes onder mijn naam.

Neem als voorbeeld een anti aliasing filter van de 4^e orde

Vb1: 12 bits: $S_r = 1 + 2^3 = 9$

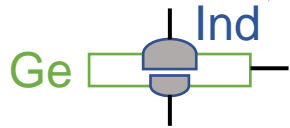
Vb2: 16 bits: $S_r = 1 + 2^4 = 17$

Even terug naar een jonge Toon op het Philips NatLab in 1966



Digitale bouwblokken zoals FlipFlop, And / Or / Inv, One Shot en TriggerGate Toen nog opgebouwd uit losse componenten zoals transistoren, weerstanden, diodes en condensatoren. Een enkel bouwblok was 9 cm lang, 5 cm breed en 1,2 cm dik en er kwamen 10 pootjes uit...

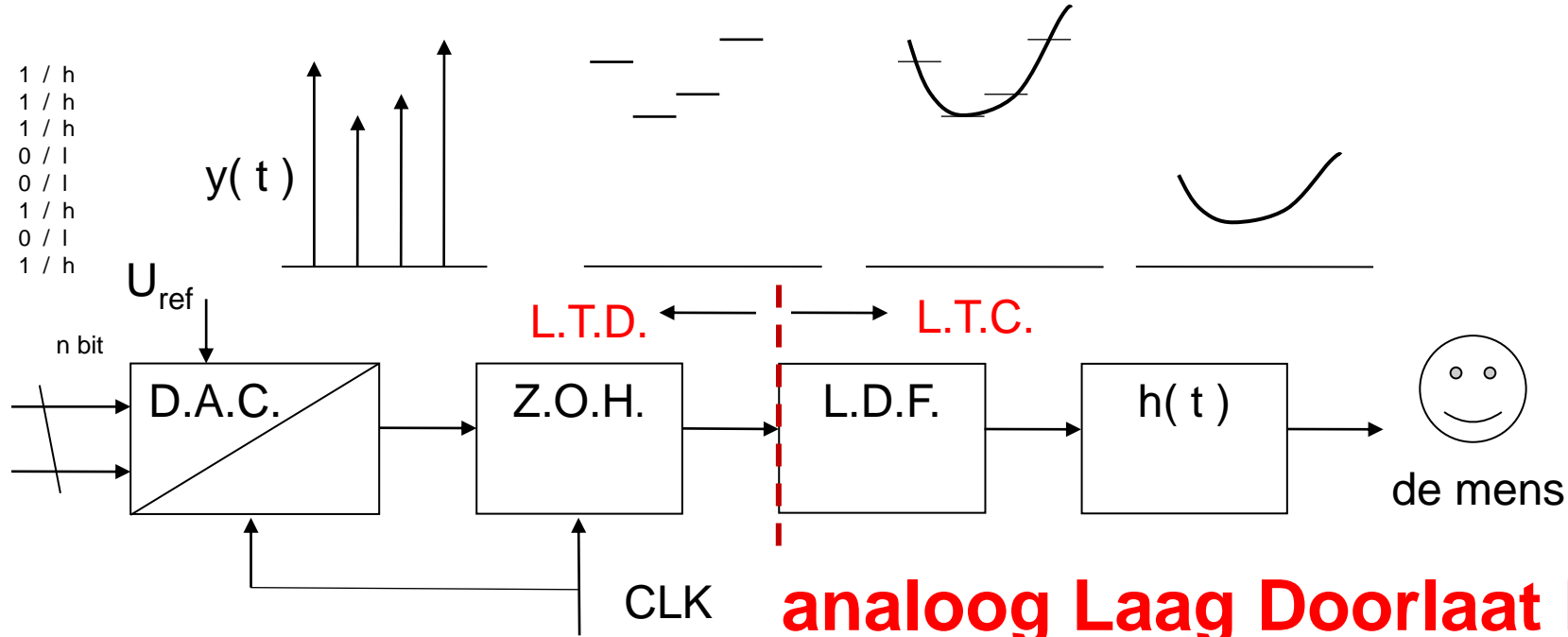
De OC?? Lagentransistor; Long Tailed Pair



Relais – hydraulisch - pneumatisch – electronenbuis – RDT – ECL – TTL - CMOS
De elektronische deurbel, opgebouwd uit componenten van de 100 kHz reeks met enkele honderden bouwstenen voor het jubileum van onze teamleider woog 24 kg... De bel speelde alleen: “London Bridge”
Nu bevat een chip van 1,5 cm² miljarden keer zoveel digitale bouwblokken en je kunt zoveel muziek componeren als je lief is!

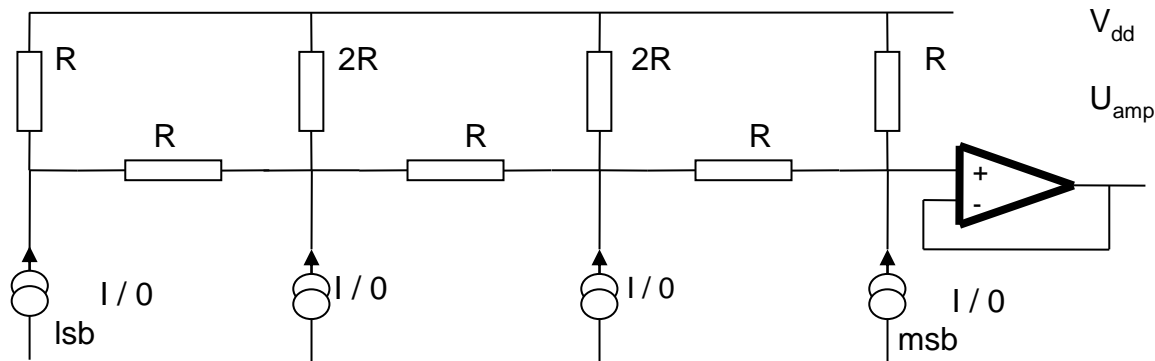
Hoe vorm je een **digitaal LTD** signaal om tot een **analoog LTC** signaal?

DAC
LTD input
 Géén Ruis
 Geniaal weerstand netwerk
Hold-schakeling



analoog Laag Doorlaat Filter
Analoge overdracht $h(t)$

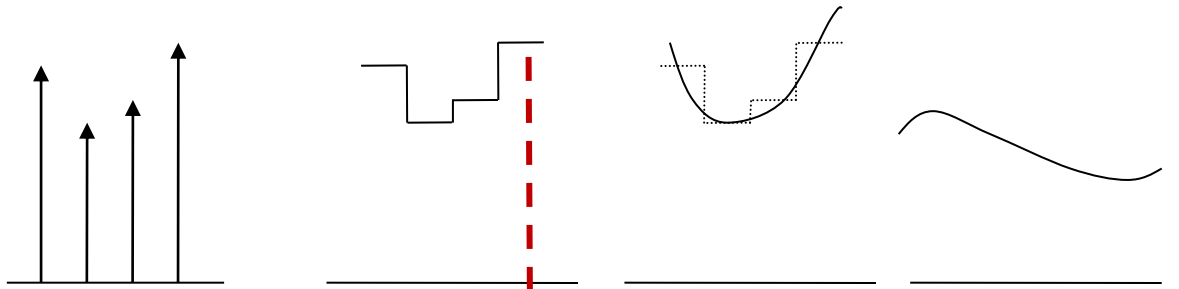
De mens ervaart en reageert zo nodig



L.T.D. digitaal

1 / h
0 / l
1 / h
1 / h
1 / h
0 / l
0 / l
0 / l
1 / h

1 / h
1 / h
1 / h
0 / l
0 / l
1 / h
0 / l
0 / l
1 / h

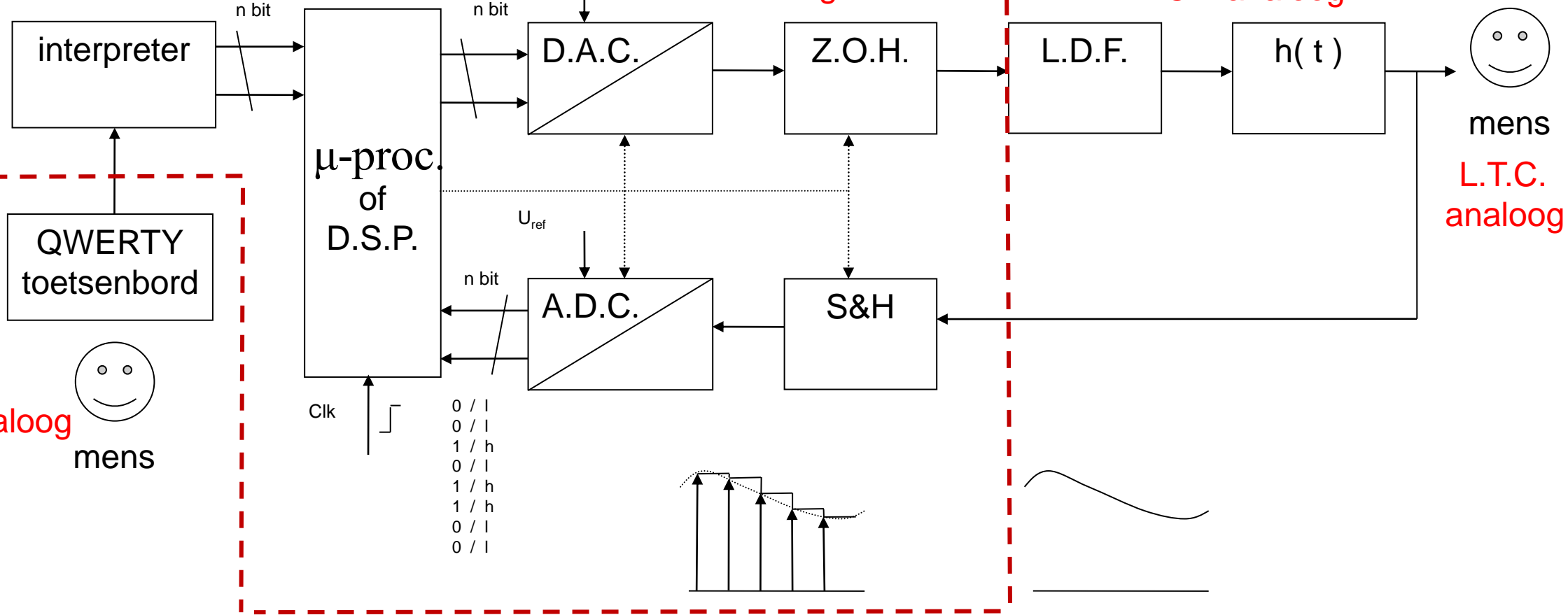


L.T.D. digitaal

L.T.C. analoog

L.T.C. analoog

L.T.C. analoog



De processor is het hart van de computer.

De processor voert de instructies uit die zijn opgeslagen in het werkgeheugen. Het programmeren van de processor stelt ons in staat om, op een gedetailleerd niveau, controle uit te oefenen over hoe de processor werkt en hoe de taken worden uitgevoerd.

Maatwerk:

Door de processor te programmeren kunnen nieuwe toepassingen worden ontwikkeld en nieuwe technologieën worden verkend. Dát kan dan weer leiden tot de ontwikkeling van nieuwe producten en diensten en zo worden aangepast aan de specifieke behoeften van een project.

Optimalisatie:

Door de processor te programmeren kunnen de prestaties van een apparaat worden verbeterd en worden geoptimaliseerd. Minder energieverbruik, snellere (ver)-werking en minder belasting van het systeem.

Innovatie:

Door de processor te programmeren biedt dit de programmeur betere controle, flexibiliteit en innovatiemogelijkheden waardoor alsmaar betere oplossingen worden ontwikkeld.

De nieuwe processor ontwerpt de volgende generatie processoren!

Rekenvoorbeeld van de geheugenomvang van een TV gemist programma.

We gaan uit van een 16 : 9 beeldverhouding op een beeldscherm.

We gaan er van uit dat het TV - beeld 1920 pixels horizontaal en 1080 pixels verticaal heeft.

Daarmee zijn er dan 2.073.600 aan te sturen kleurpixels of kleurstippen.

Drie kleuren per stip, dat geeft dan $2.073.600 \times 3 = 6.220.800$ pixels

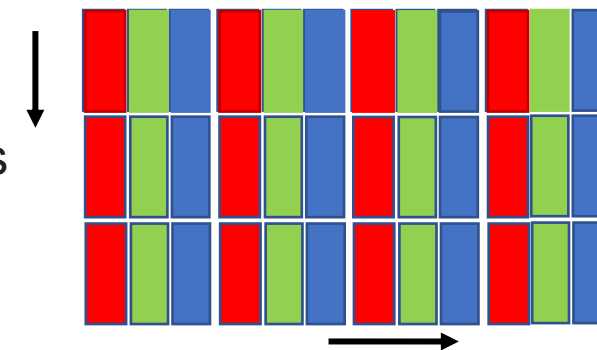
Elke pixel moet met een intensiteit worden aangestuurd: 8 bits 256 intensiteit niveaus

Derhalve $6.220.800 \times 8 = 50$ miljoen bits per beeld.

24 beelden per seconde: $50 \times 24 = 1,2$ miljard bits per seconde.

Dat zijn per minuut: $1,2 \times 60 = 72$ miljard bits per minuut

Ofwel per uitzending van een uur: $72 \times 60 = 4,320$ giga bits. Voor een voetbalwedstrijd 12 giga bits.



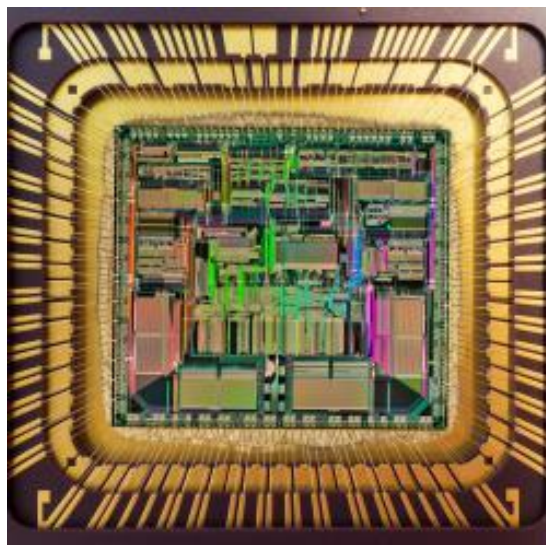
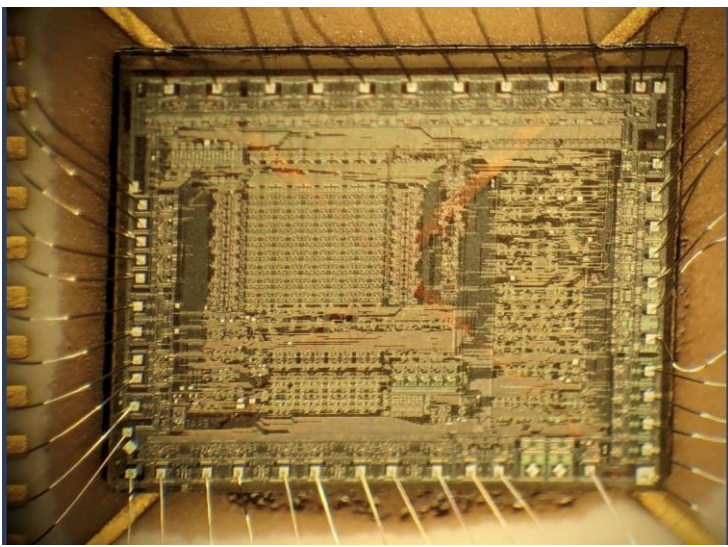
Bedenk dat je onder “TV-gemist” op een willekeurig moment zo’n programma kunt bekijken!

Om ons heen is er een gigantische opslag van data die in geheugens 24-7 tot onze beschikking moeten staan!

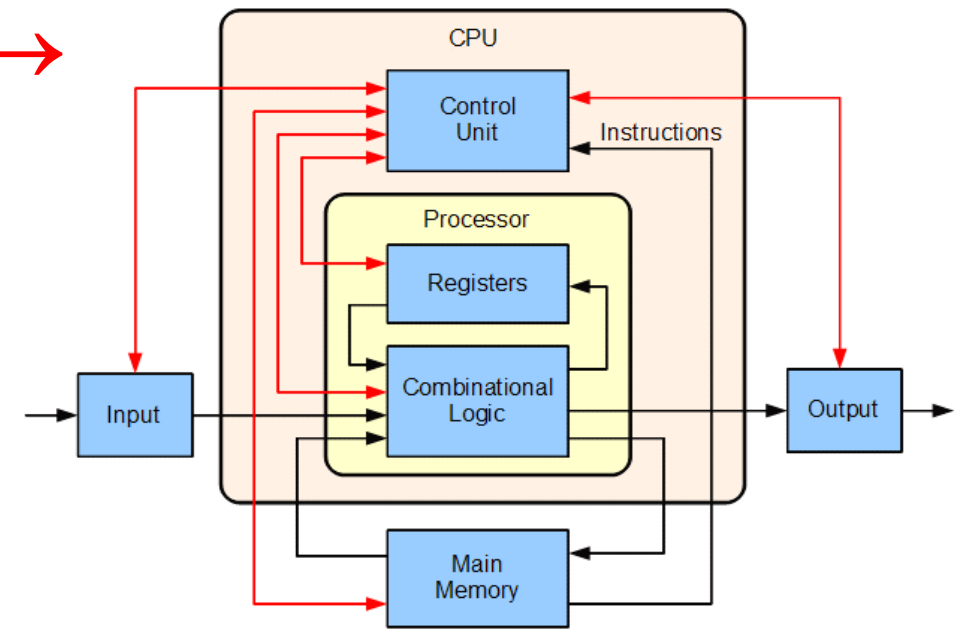
Het is data die elk moment opgeroepen en weggeschreven moet kunnen worden. In het landschap verrijzen enorme, elektrische energie slurpende, blokkendoosgebouwen waarin talloze computers vele, vele geheugens aansturen... Gebouwen die honderden miljoenen €€€ kosten, waarin nauwelijks mensen werken en die voortdurend een enorme energie opslurpen en aan warmte uitstoten...

De data waar het hier om gaat is data van ons allemaal:

Denk aan e-mailverkeer, app-geheugen, Cloud opslag met foto’s en video’s en onze totale administratie, bankverkeer, bitcoins, overheid en nog veel, véél meer...



CPU →



Bouwblokken zoals een CPU met daarin de Alu, geheugens, registers en input - output eenheden komen uit ontwerpbibliotheken met standaard schakelingen die in omvang programmeerbaar zijn.

Het ontwerpen van een microprocessor een klus van honderd manjaren valt dan uiteen in een klus voor honderd technici in een jaar!

Geheugens in **gigabytes**, CPU voor 16, 32 of 64 bits **zijn eenvoudig programmeerbaar**. (de mens: 1 petabyte = 1 miljoengigabyte)

Varia

Geheugen **“In The cloud”**: nou ja... gewoon in een lelijke “doos” op aarde!

Input en output schakelingen hebben op de chip in verhouding met andere schakelingen zéér grote oppervlakken!

**Ga derhalve zo weinig mogelijk naar binnen of naar buiten,
blijf zo lang mogelijk op het oppervlak binnen!**

Dát gegeven bepaalt uiteindelijk de maximale frequentie en de complexiteit van de aan te sturen systemen. Dáárom willen we steeds meer schakelingen op één oppervlak

Juist dáárom krijgt China de modernste ASML- technologie voor **DSP** niet.

Controle systemen voor raketten moeten in de tijd stabiel regelbaar zijn en in de tijd exact en razendsnel reageren.

Systemen met meerdere microprocessors zijn dan domweg veel te traag voor hun taak!

Varia vervolg

Het ontwerpen van een μ -processor is **een klus van honderden manjaren**.
Die klus valt uiteen in **een klus voor honderden technici in één jaar!**

Want: digitale bouwblokken mag je zondermeer aan elkaar koppelen

Ontwerpers programmeren een nieuwe **CPU** m.b.v. ontwerpbibliotheken.
In die bibliotheken staan standaard schakelingen die in omvang programmeerbaar zijn.

Bottom up - Top Down **Meet in the middle niveau steeds hoger**

Vb.: **CPU** Central Processing Unit en **ALU** ARITHMETIC Logic Unit

Bouwblokken domweg aan elkaar knopen zonder onderlinge beïnvloeding is een essentiële eigenschap van digitale circuits

Dit, zoals al gememoreerd, in tegenstelling tot analoge schakelingen.

Varia vervolg

We weten nu precies hoe we digitale chips moeten ontwerpen!
Het was vanaf het begin onmogelijk om transistor voor transistor een plaatsje op het oppervlak te zoeken...

Bottom Up / Top Down / Meet in the middle (bij U meet in the middle meneer)

De kennis betreffende het gestructureerd ontwerpen van digitale chips en de verbeteringen die in de loop van de afgelopen 30 jaar over de wereld aan de circuits óp die chips zijn opgedaan hebben gezorgd voor uiterst uitgekende structuren die in omvang programmeerbaar zijn!

Er ontstond een 30 jaar durende race met gelijke tred tussen technologie en ontwerptechniek (elke 2 jaar een verdubbeling van het aantal componenten) die per twee jaar een nieuwe generatie computers opleverde!

Dat laatste was het verdienstelijke werk van mijn generatie technici.

Materialen voor het fabriceren van digitale chips

Het basismateriaal voor het fabriceren van digitale chips is silicium

Silicium is een halfgeleider materiaal
verontreiniging: fosfor, borium en arseen



Nou: van silicium hebben we wereldwijd nog wel wat liggen...

Metalen: het veel voorkomende **koper** en **lood** en de zeldzame metalen **goud**, **zilver**, **titanium**, **tantalium**, **platina** en **cadmium**

Zuren om te etsen