

Rekenen met neuronen 1a: Perceptron

Fleur Zeldenrust
Van Perceptie tot Bewustzijn, 2017

- Fleur Zeldenrust (F.Zeldenrust@uva.nl)
- Natuurkunde en neuroscience gestudeerd (en bèta-gamma)
- Gepromoveerd bij Wytse Wadman op modellen van cellen die bursten
- Post-doc in Parijs bij Sophie Denève en Boris Gutkin over Bayesiaanse modellen, docent computational neuroscience UvA
- Onderzoek nu hoe knaagdieren voelen (snorharen) op het Donders Instituut in Nijmegen

Tentamenstof

Hoe kan je iets (een wortel) herkennen met een netwerk van neuronen?

Je kunt de eigenschappen van verschillende coding-, neuron- en netwerkmodellen beschrijven en de modellen uitleggen.

Leerdoelen

Aan het eind van het vak kan de student:

- de eigenschappen van verschillende neuron- en netwerkmodellen beschrijven, waaronder het **perceptron**, **attractor netwerken** en **balanced networks**
- verschillende vormen van **neural coding** onderscheiden, het verschil tussen **encoding** en **decoding** uitleggen, en in eenvoudige voorbeelden berekenen wat de **informatie** en **entropie** zijn

Tentamenstof

Hoe kan je iets (een wortel) herkennen met een netwerk van neuronen?

- Slides (blackboard)
- Kandel: Appendix E & F
 - Focus: netwerken/neuronen, (Hebbian) learning komt bij 'leren&geheugen'
- Online boek Gerstner et al. 'Neural Dynamics':
neuronal Dynamics.epfl.ch
 - Hoofdstukken: 1, 7 (behalve 7.4 en 7.5), 12 en 17
 - Focus: houd als leidraad de colleges aan wat betreft wiskunde
- Hoofdstuk 15 uit Wallisch et al. 'MATLAB for Neuroscientists' (blackboard)
 - Focus: niet MATLAB code, wel rekenvoorbeeld 15.2.3 - 15.2.5
- Oefenopgaven (blackboard)

Overzicht

- Introductie neurale netwerken en neural coding
- Encoding modellen
 - college 1a: binair neuron & feed-forward perceptron
 - college 1b: rate neuron & recurrenente 'attractor' netwerken
 - college 2a: integrate-and fire neuron & recurrenente 'balanced' netwerken
- Decoding
 - college 2b: wat is informatie?

NB Verder met neurale netwerken:

- Leren in modelnetwerken: Leren en Geheugen
- Data-analyse en modellen programmeren: Cognitive Computational Neuroscience en Signal Analysis

Overzicht

- Introductie neurale netwerken en neural coding
- Encoding modellen
 - college 1a: binair neuron & feed-forward perceptron
 - college 1b: rate neuron & recurrenente 'attractor' netwerken
 - college 2a: integrate-and fire neuron & recurrenente 'balanced' netwerken
- Decoding
 - college 2b: wat is informatie?

NB Verder met neurale netwerken:

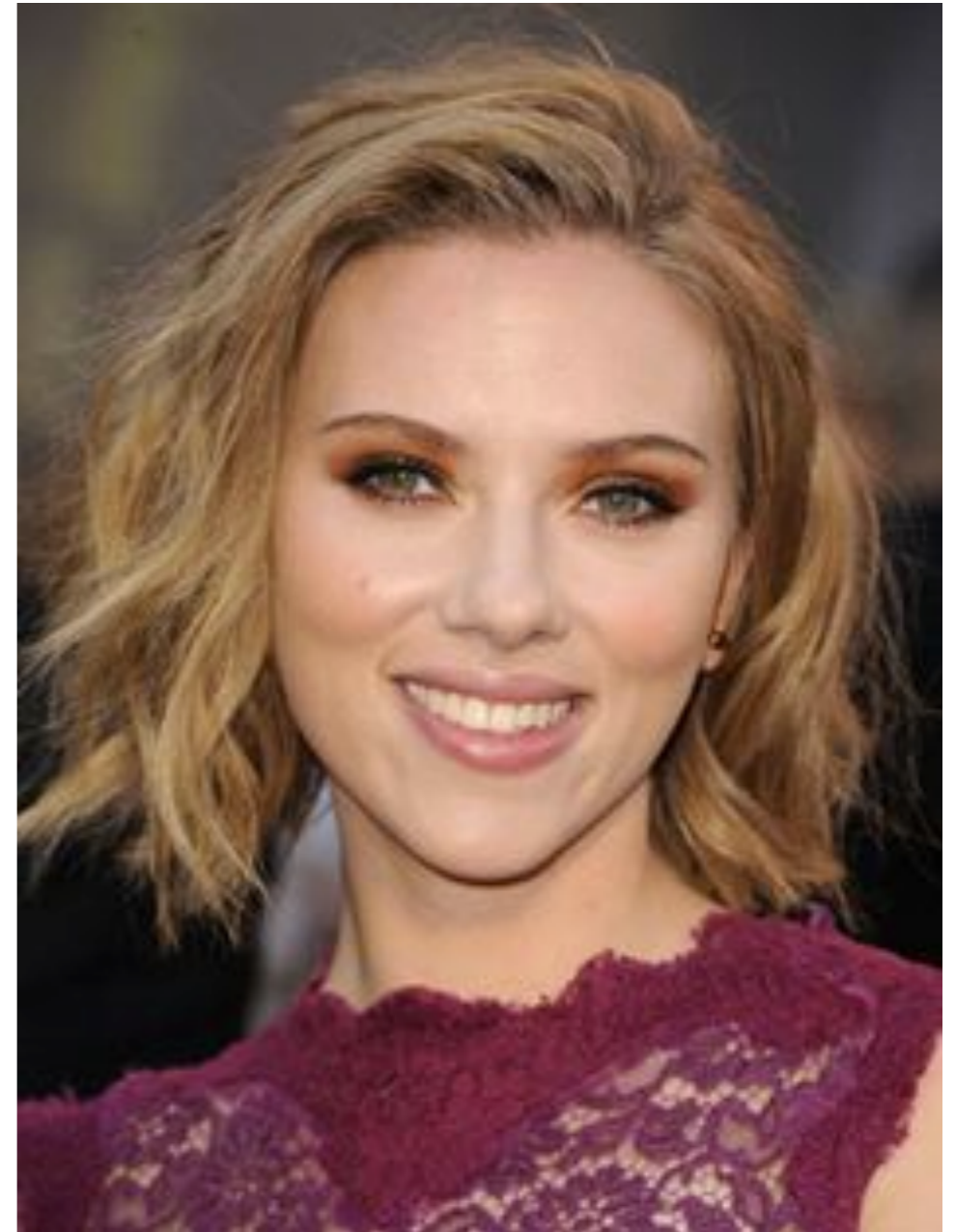
- Leren in modelnetwerken: Leren en Geheugen
- Data-analyse en modellen programmeren: Cognitive Computational Neuroscience en Signal Analysis

College 1a/b

- Introductie neurale netwerken en neural coding
 - Encoding modellen
 - binair neuronmodel
 - Booleaanse logica
 - Perceptron
-
- local versus distributed codes
 - firing rate neuronmodel
 - recurrente netwerken
 - Hopfield
 - attractor

College 1a/b

- Introductie neurale netwerken en neural coding
 - Encoding modellen
 - binair neuronmodel
 - Booleaanse logica
 - Perceptron
-
- local versus distributed codes
 - firing rate neuronmodel
 - recurrente netwerken
 - Hopfield
 - attractor

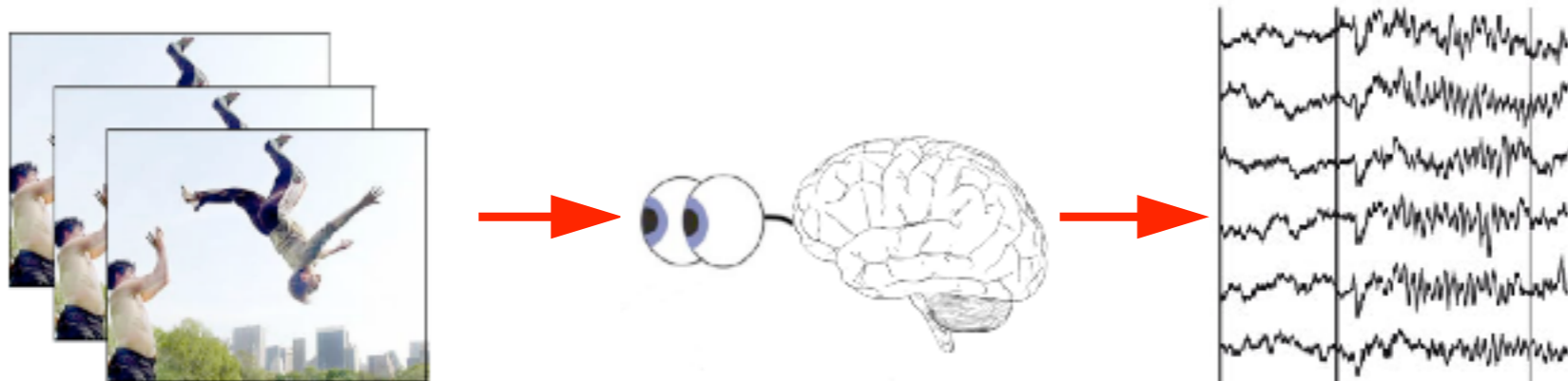


Neural coding

Er is een relatie tussen de wereld, de activiteit van onze hersenen, ons gedrag en wat we waarneming noemen.

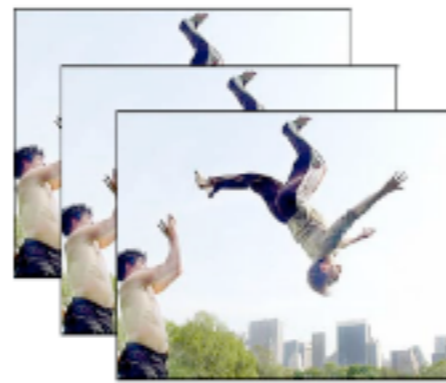
Wat is deze relatie? Neural coding

Representaties: wordt wat we waarnemen weergegeven in hersenactiviteit?



Encoding / Decoding

encoding model: hoe reageert een neuron / netwerk op stimuli?



decoding: wat vertelt neurale activiteit me over de stimulus?



Abstracte neurale netwerken

- Maak een model dat beschrijft hoe ik Jennifer Anniston kan herkennen op de basis van de activiteit van fotoreceptoren in de retina.
- Wat voor soort berekeningen liggen hieraan ten grondslag?
- Hoe kunnen de hersenen deze berekeningen doen?

Selectiviteit en invariantie

Een goed model van perceptie moet tenminste het volgende verklaren:

- **selectiviteit:** ik kan het verschil zien tussen Jennifer Aniston en andere blonde actrices (Scarlett Johansson)
- **invariantie:** ik kan Jennifer Aniston herkennen ongeacht of ze in de zon of schaduw staat, of ik haar van opzij of van voren zie

College 1a/b

- Introductie neurale netwerken en neural coding
 - Encoding modellen
 - **binair neuronmodel**
 - Booleaanse logica
 - Perceptron
-
- local versus distributed codes
 - firing rate neuronmodel
 - recurrente netwerken
 - Hopfield
 - attractor

Neurofysiologie

- Neuronen communiceren met elkaar dmv actiepotentialen
- Dit zijn 'alles of niets' signalen
- Een neuron vuurt als het genoeg excitatoire input ontvangt van andere neuronen
- De verbindingen tussen neuronen liggen aan de basis van leren

McCulloch & Pitts (1943)

Abstract neuron

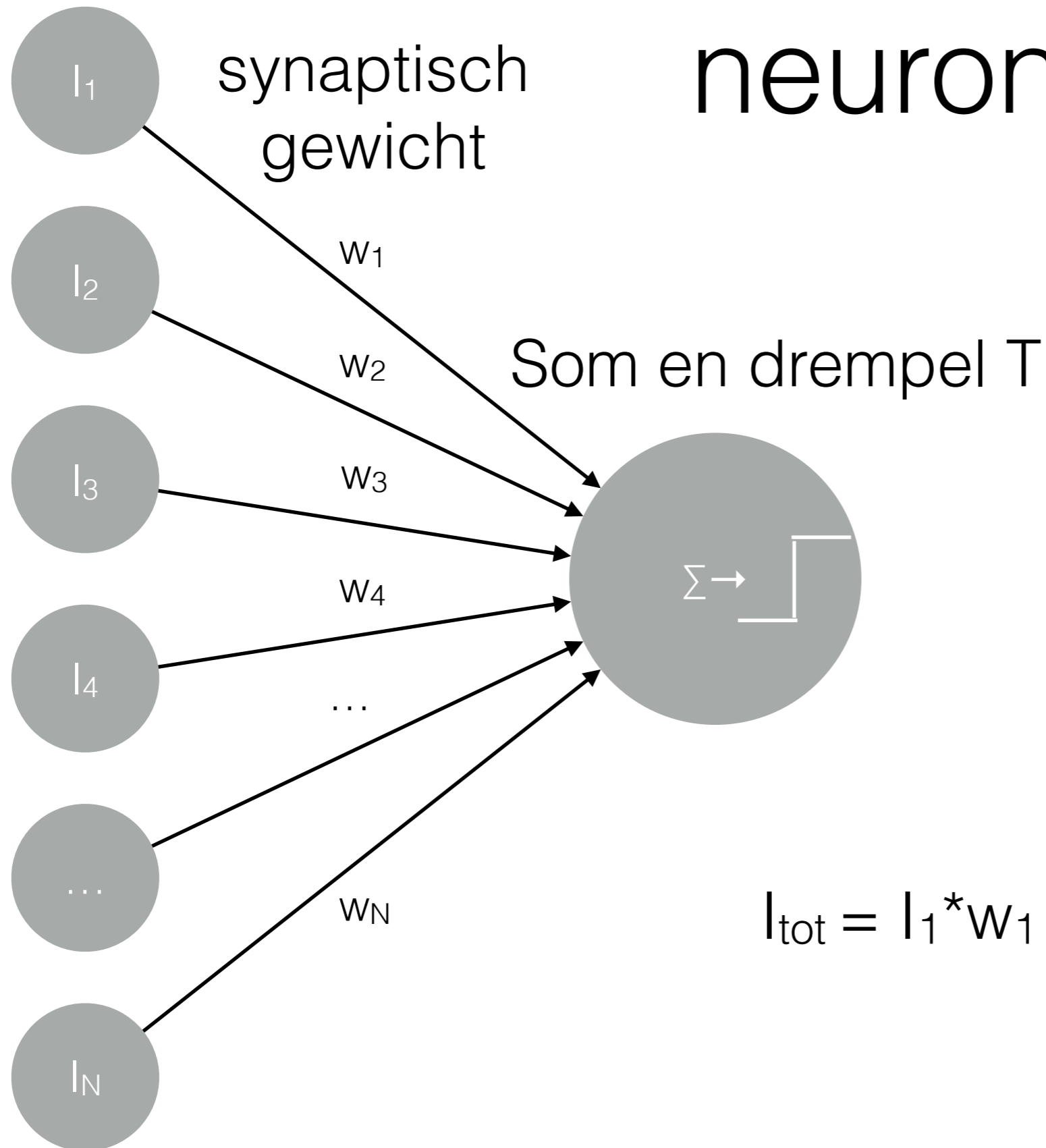
- Maak tijd discreet (verdeel in 'stapjes': t_1, t_2, \dots, t_n)

t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9	t_{10}	t_{11}	t_{12}
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	----------	----------	----------

- Op elk tijdstip t_n vuurt neuron i wel (stuurt signaal 1) of niet (stuurt signaal 0): $x_i(t_n) = 0$ of $x_i(t_n) = 1$
- Ontvangt input van andere neuronen (ook 0 of 1)
- Een neuron i vuurt als de ontvangen input groter is dan een drempelwaarde: $x_i(t_{n+1}) = 1$ als $I_{\text{tot}}(t_n) > T$

Input (0 of 1)

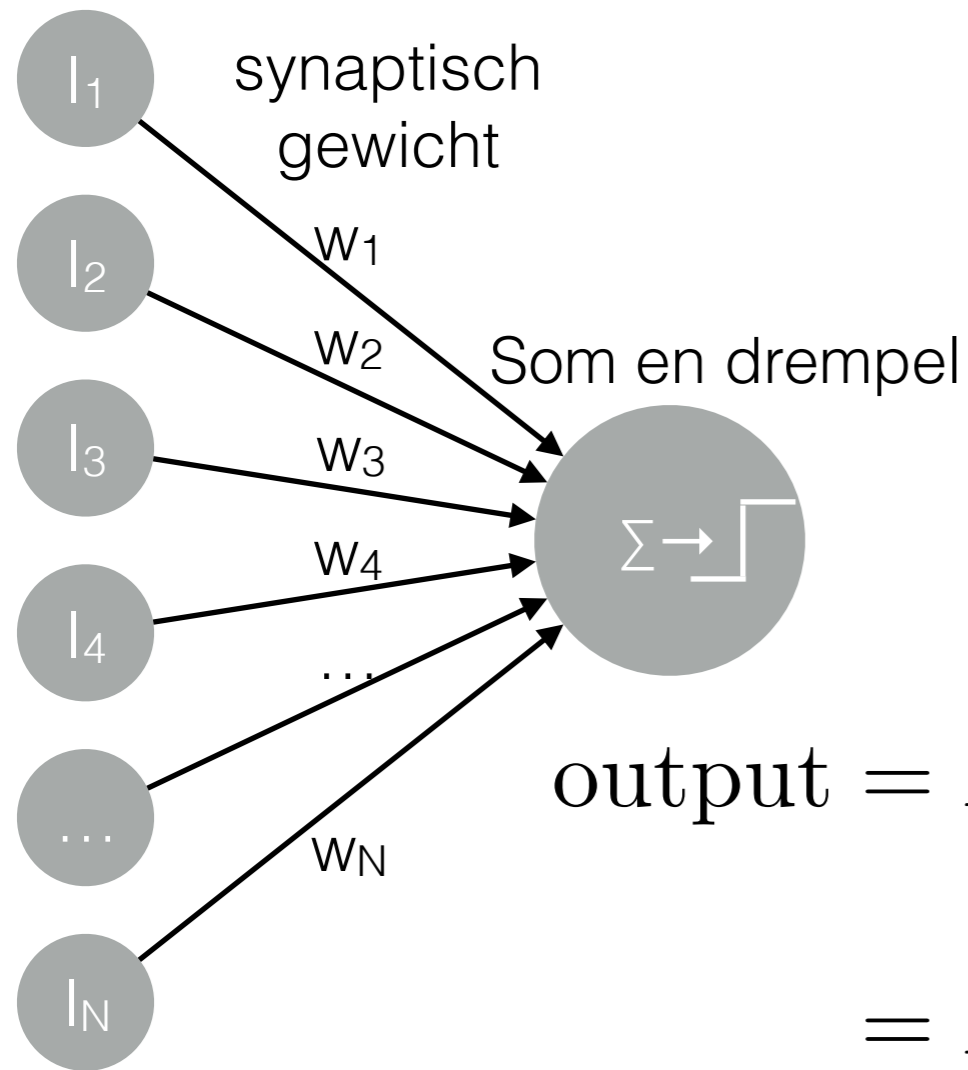
McCulloch & Pitts neuron (MPN)



$$I_{\text{tot}} = I_1 * w_1 + I_2 * w_2 + \dots + I_n * w_n$$

McCulloch & Pitts neuron (MPN)

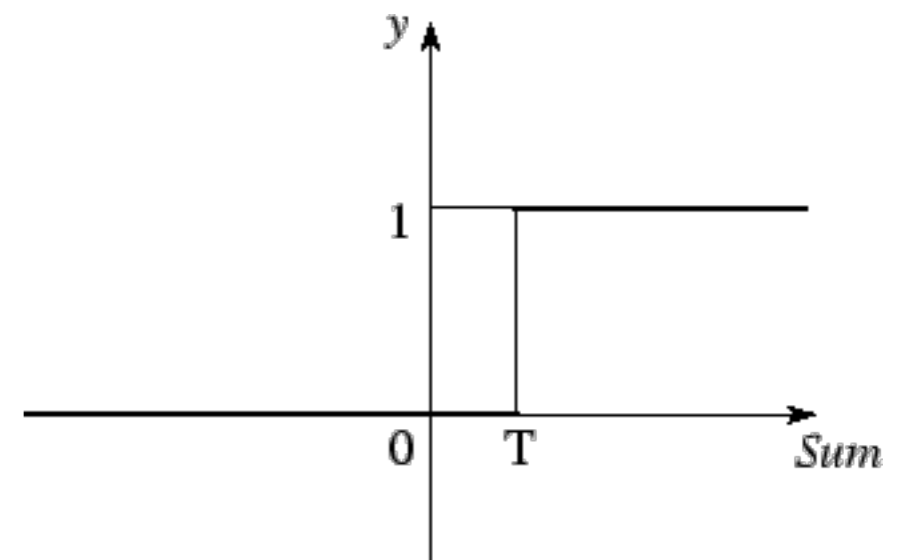
Input (0 of 1)



$$\text{output} = H(\text{input}_1 * w_1 + \text{input}_2 * w_2 + \dots - T)$$

$$= H\left(\sum_{n=1}^N \text{input}_n * w_n - T\right)$$

Heaviside step $y = H(x-T)$



College 1a/b

- Introductie neurale netwerken en neural coding
 - Encoding modellen
 - binair neuronmodel
 - Booleaanse logica
 - Perceptron
-
- local versus distributed codes
 - firing rate neuronmodel
 - recurrente netwerken
 - Hopfield
 - attractor

Intermezzo: Booleaanse logica

Logica: studie van redeneren (wiskunde)

Iets is waar (true, 1) of niet waar (false, 0)

Bestudeer de relaties in een waarheidstabel

Is dit een sinaasappel?

rond?	oranje?	eetbaar?	conclusie
1	1	1	1
0	1	1	0 (wortel)
1	0	1	0 (appel)

Klassiekers: EN

AND

Conjunction

\wedge

Voorbeeld:

(Alleen) als een vrucht
oranje EN rond is, is het
een sinaasappel.

input 1	input 2	output
1	1	1
1	0	0
0	1	0
0	0	0

Klassiekers: OF

OR

Disjunction

\vee

Voorbeeld:

Als een vrucht groen OF rood is, is het een appel.

input 1	input 2	output
1	1	1
1	0	1
0	1	1
0	0	0

Klassiekers: NIET

NOT

Negation, inverter

\neg

Voorbeeld:

Een banaan is niet rood

input	output
0	1
1	0

Dit kun je combineren

- $(1 \wedge \neg 0) = \dots?$
- $(1 \wedge \neg 0) \vee (1 \wedge 0) = \dots?$
- $\neg((1 \vee 0) \wedge (1 \wedge \neg 0)) = \dots?$

En veralgemeniseren

Booleaanse functie:

- input: 001001011.....
0100
- output: 0 of 1
- 'classifier' (voor sommige patronen 'uit', voor andere 'aan', 'sinaasappelherkenner')

input 1	input 2	...	input n	output
1	1	...	1	1
1	0	...	0	0
0	1	...	1	0
0	0	...	1	0
...
0	1	...	0	1

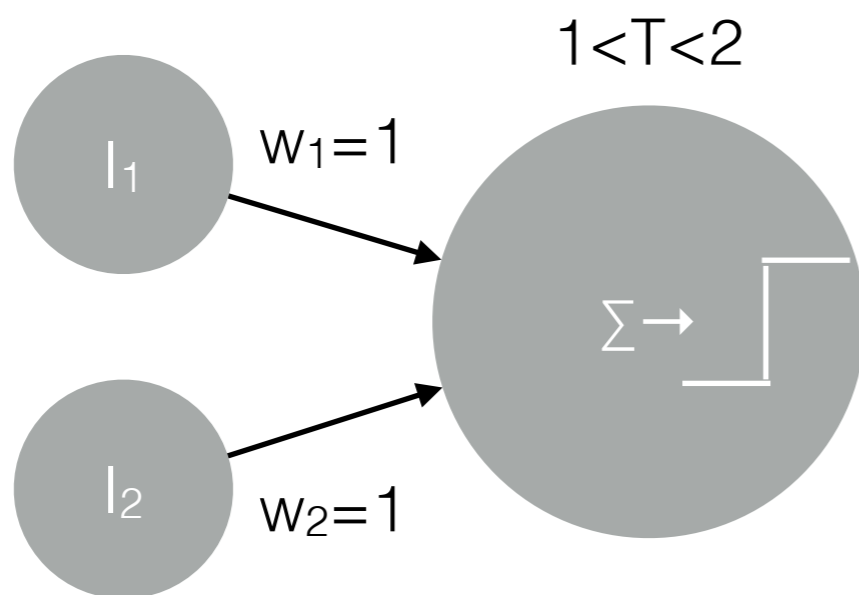
Booleaanse logica

- Basis van alle programmeertalen, computers, etc
- Elke Booleaanse functie kan gemaakt worden door een combinatie van OR, AND en NOT

College 1a/b

- Introductie neurale netwerken en neural coding
 - Encoding modellen
 - binair neuronmodel
 - Booleaanse logica
 - Perceptron
-
- local versus distributed codes
 - firing rate neuronmodel
 - recurrente netwerken
 - Hopfield
 - attractor

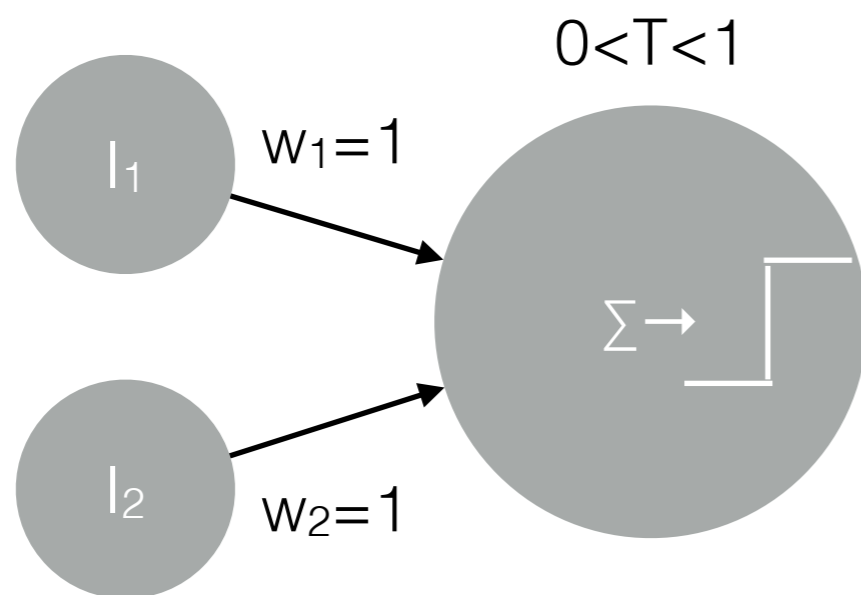
Booleaanse logica met MPN: AND



input 1	input 2	output
1	1	1
1	0	0
0	1	0
0	0	0

Dus: hoge drempelwaarde

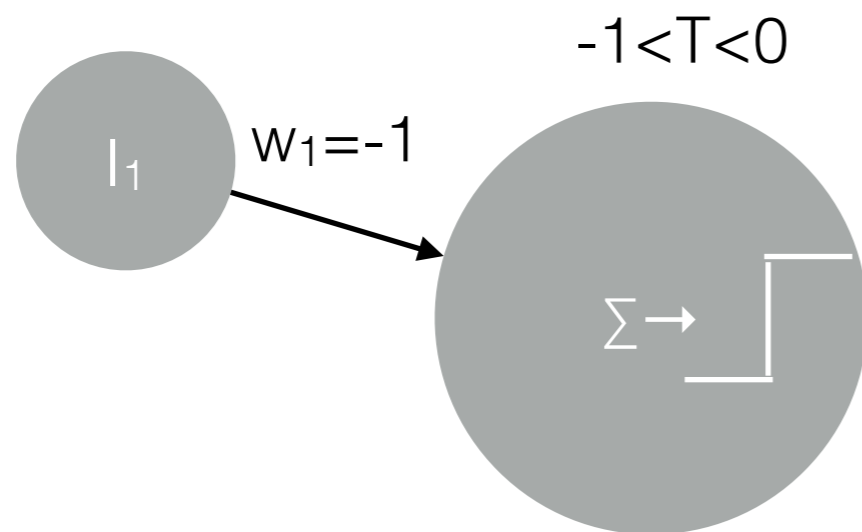
Booleaanse logica met MPN: OR



input 1	input 2	output
1	1	1
1	0	1
0	1	1
0	0	0

Dus: lage drempelwaarde

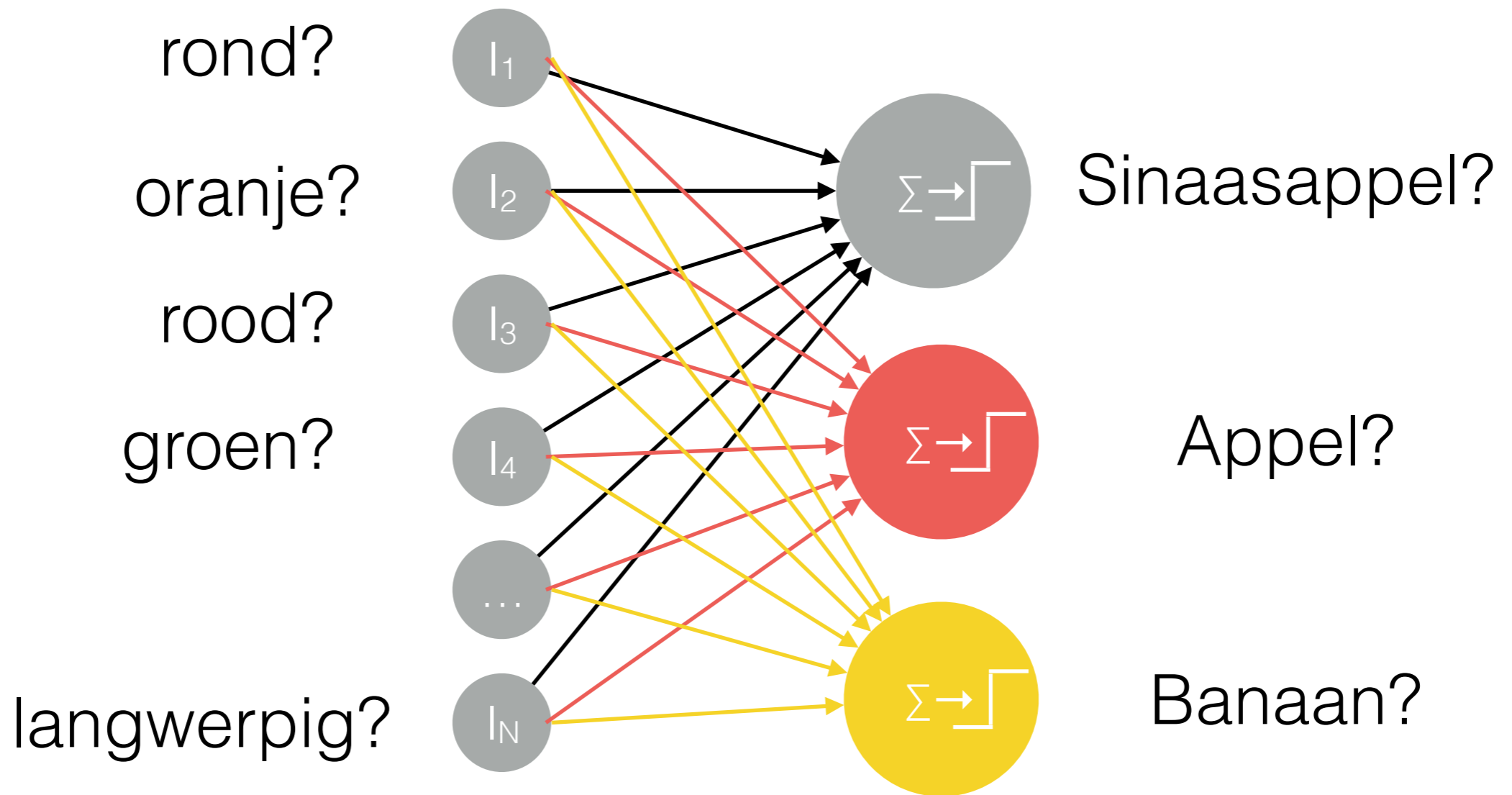
Booleaanse logica met MPN: NOT



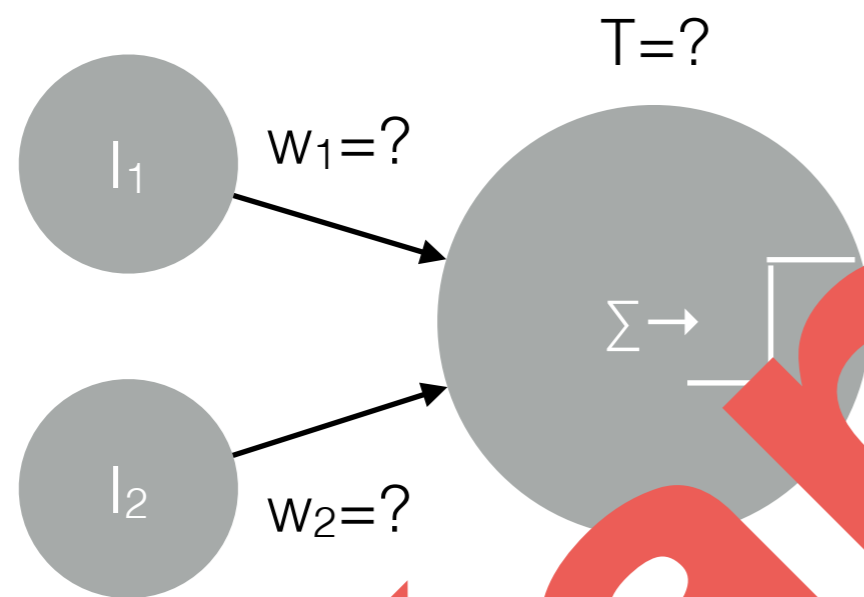
input	output
0	1
1	0

Dus: negatieve gewichten

Dus je kunt nu een 'fruit-herkenner' maken



Booleaanse logica met MPN: XOR (exclusive OR)

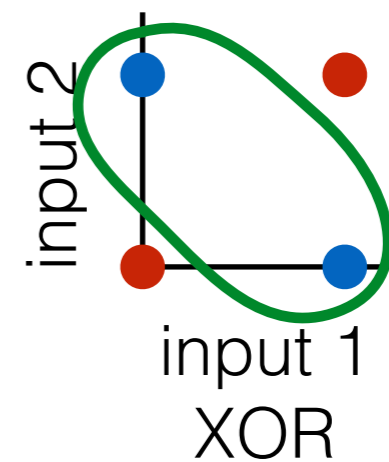
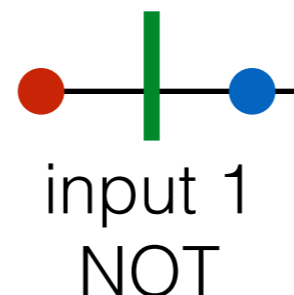
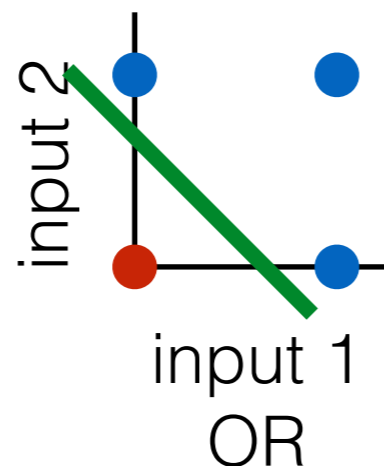
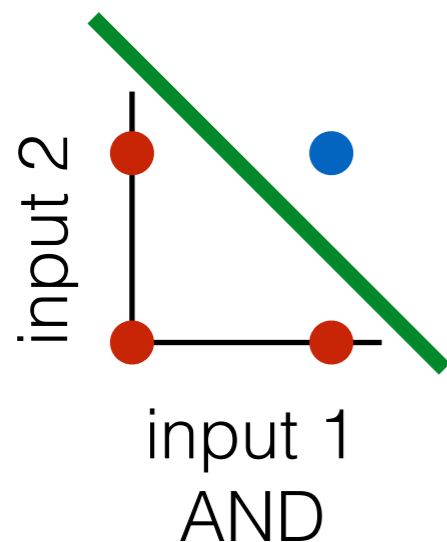


input 1	input 2	output
1	1	0
1	0	1
0	1	1
0	0	0

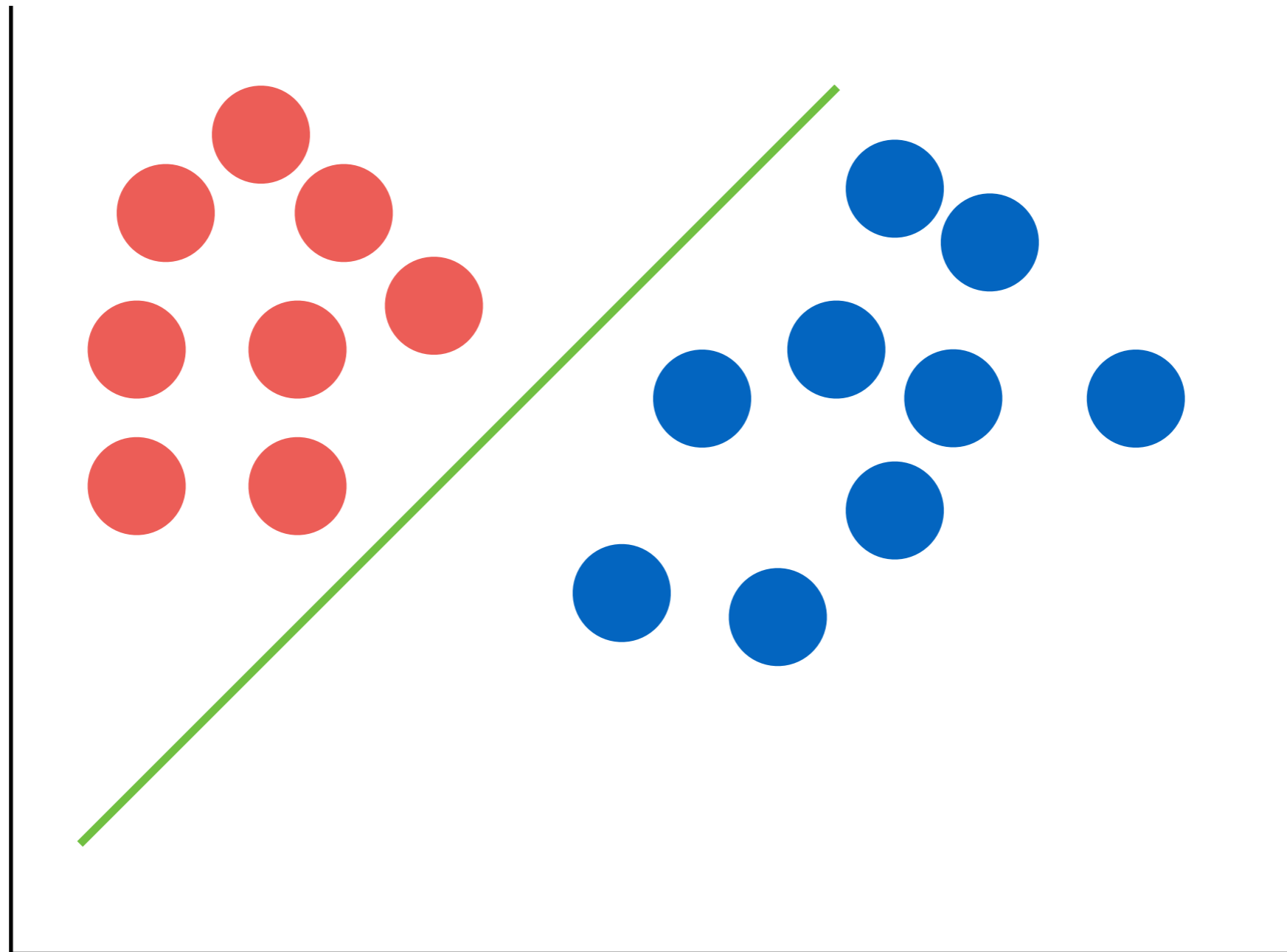
Minsky en Papert, 1969

Hoe zit dat?

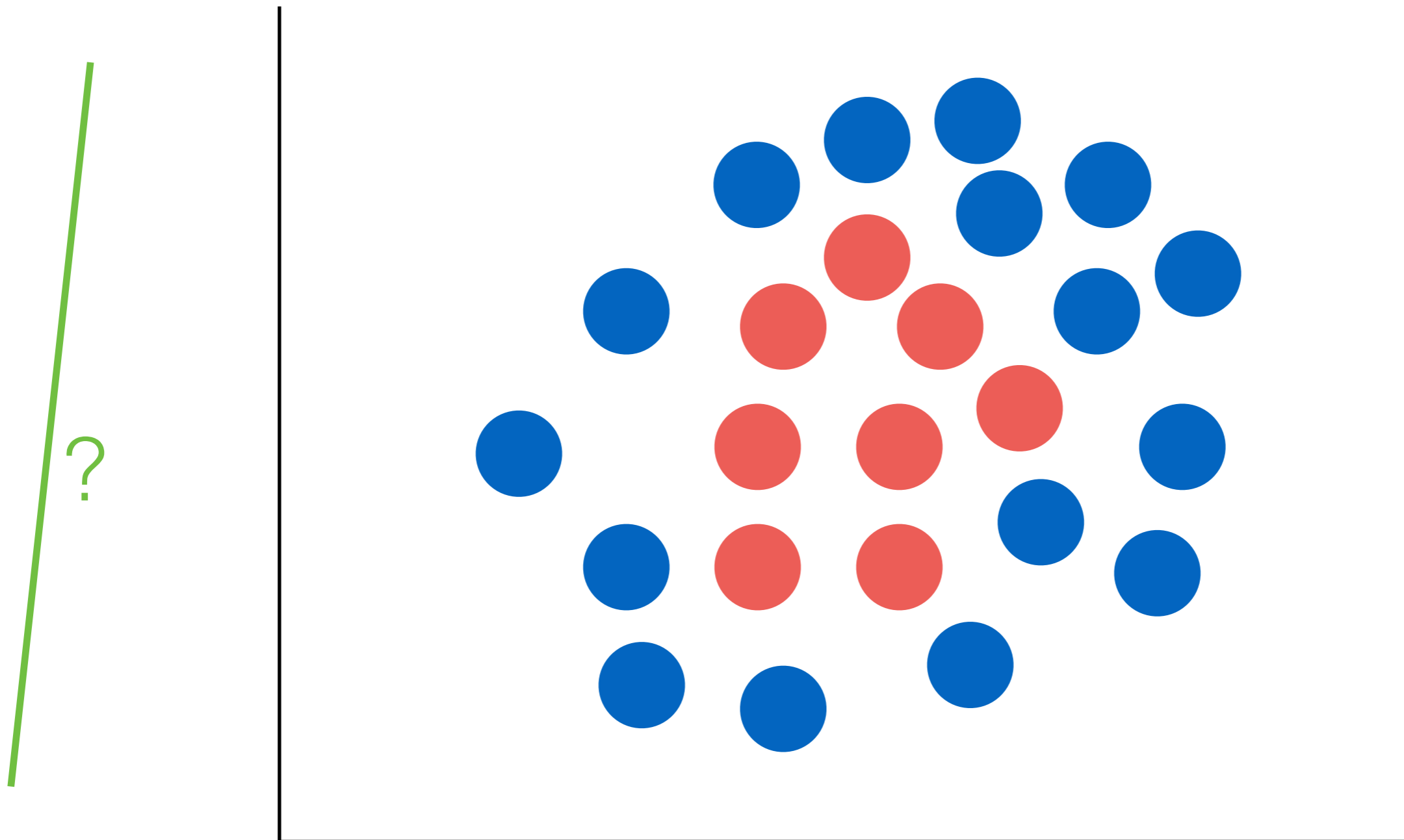
- Simpel enkellaags perceptron kan alleen 'lineair separabele' problemen oplossen - ('linear classifier')
- dus waarbij je een lijn kan trekken (of 'hypervlak') tussen groepen
- dat kan niet met XOR ('linearly unseparable')



Lineair separabel

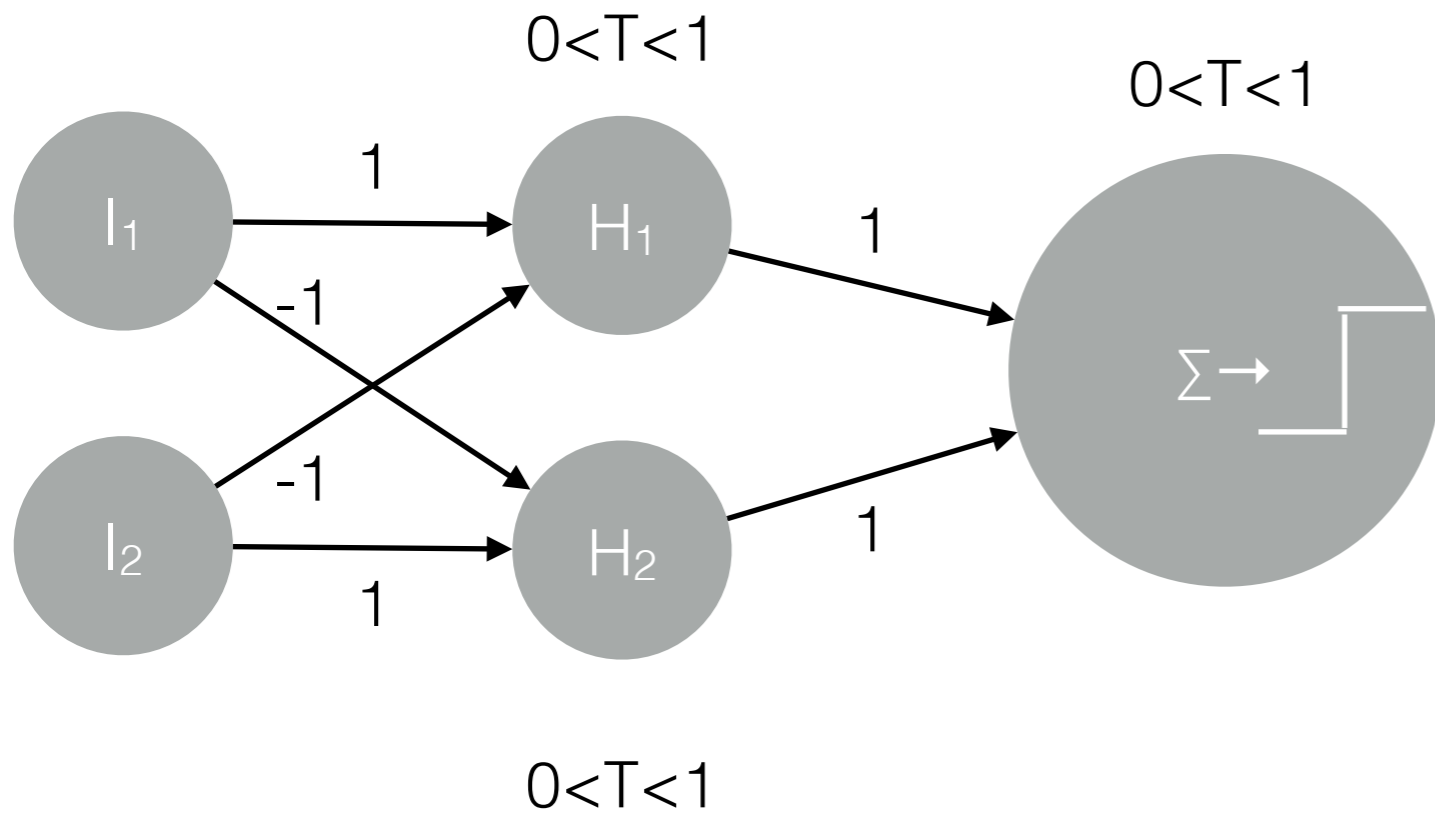


Lineair niet separabel



Oplossing XOR (exclusive OR)

- Extra laag neuronen ('hidden layer')



Werbos, 1974
Rosenblatt, 1962

I_1	I_2	H_1	H_2	output
1	1	0	0	0
1	0	1	0	1
0	1	0	1	1
0	0	0	0	0

AND
& NOT

OR

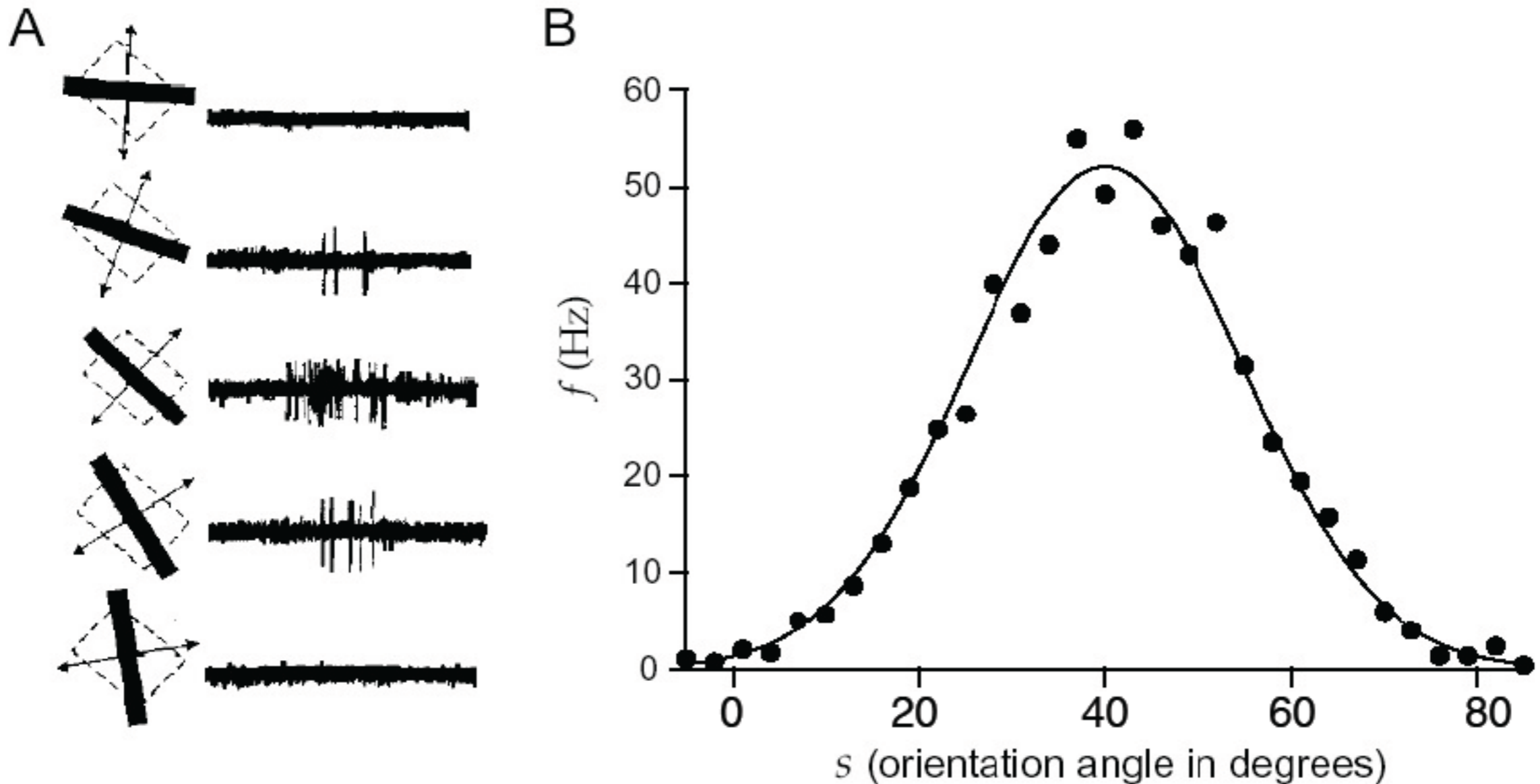
'Perceptron'

- Kan elke Booleaanse functie oplossen, mits het meerdere lagen heeft
- Hoe de gewichten geleerd kunnen worden wordt behandeld bij 'Leren en Geheugen'
- Feedforward netwerk (verbindingen gaan één kant op)
- Berekeningen zowel parallel (neuronen binnen een laag) als opeenvolgend (van laag naar laag)

Rosenblatt, 1962

Hubel & Wiesel

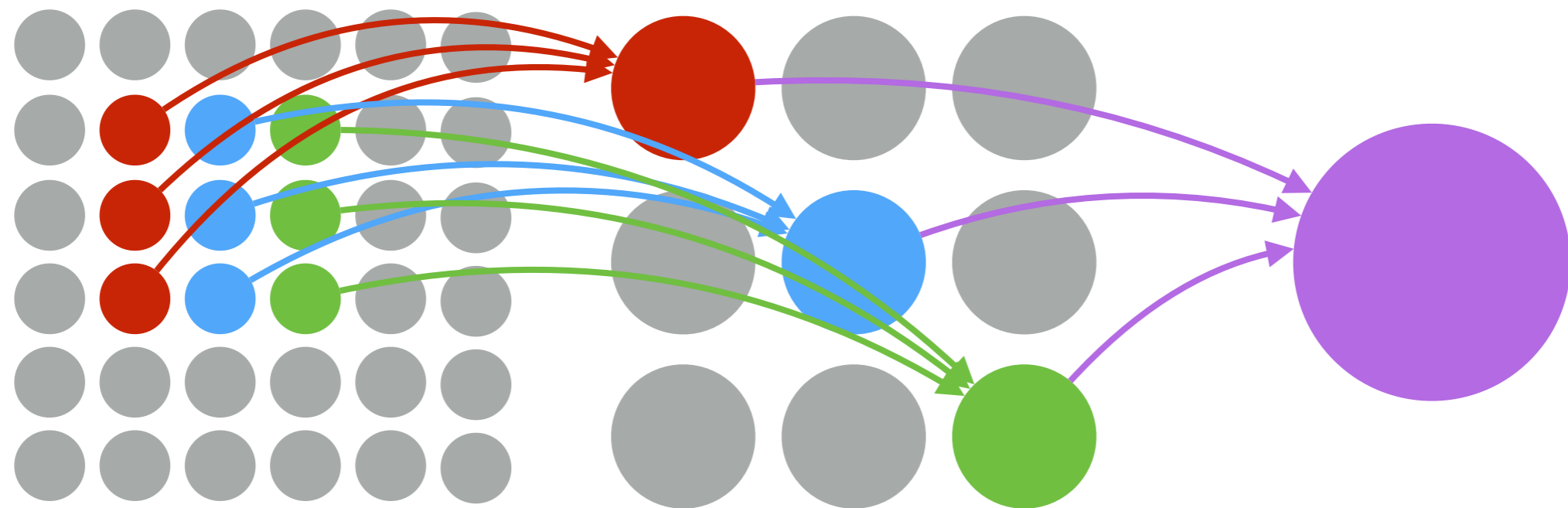
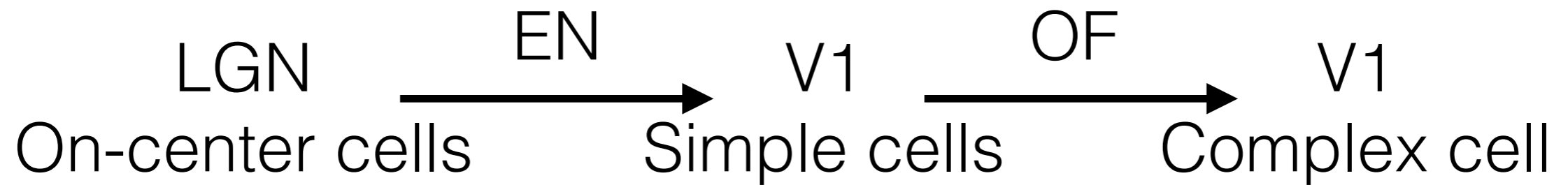
Hoe kun je dit verklaren dmv een Perceptron?



Hubel & Wiesel (60's)

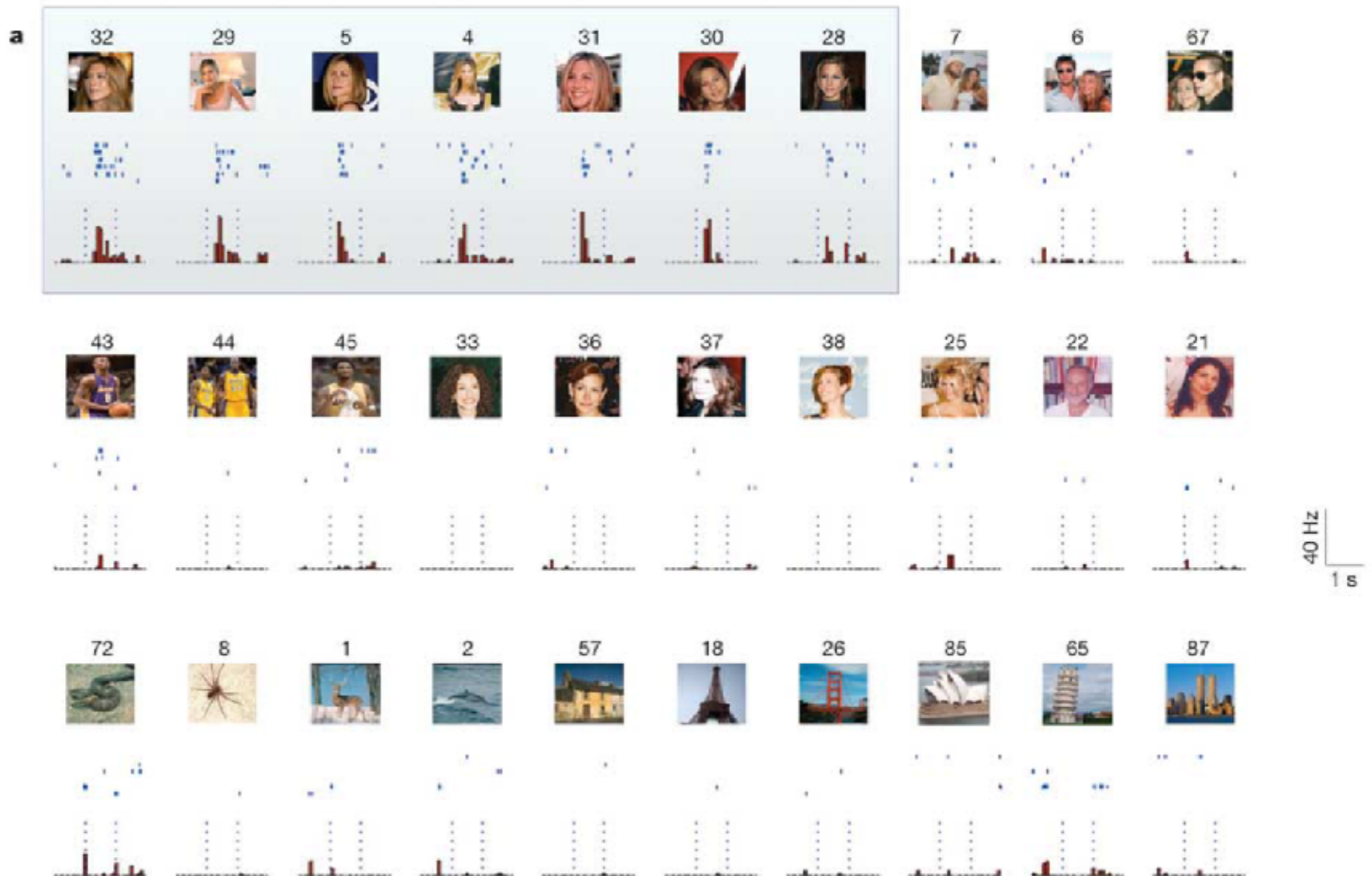
Visual Cortex
Mapping receptive fields

V1 Perceptron model



Selectief (door EN)
Invariant (door OF)

De Jennifer Aniston cel



Quiroga et al. 2005

Conclusie: Perceptron

- Model van herkennen van objecten in visuele systeem
- Abstract neuron: discrete tijd (actief/niet-actief), sommeren input en drempel
- Feedforward netwerk: verbindingen één kant op
- Door meerdere lagen kun je alle Booleaanse functies maken
- Selectief en invariant
- Lijkt op visuele systeem: steeds meer abstractie

Pauze

