# Anwendung neuronaler Netzer zur Verkehrsflussoptimierung

Till Hildebrandt (inf102835)

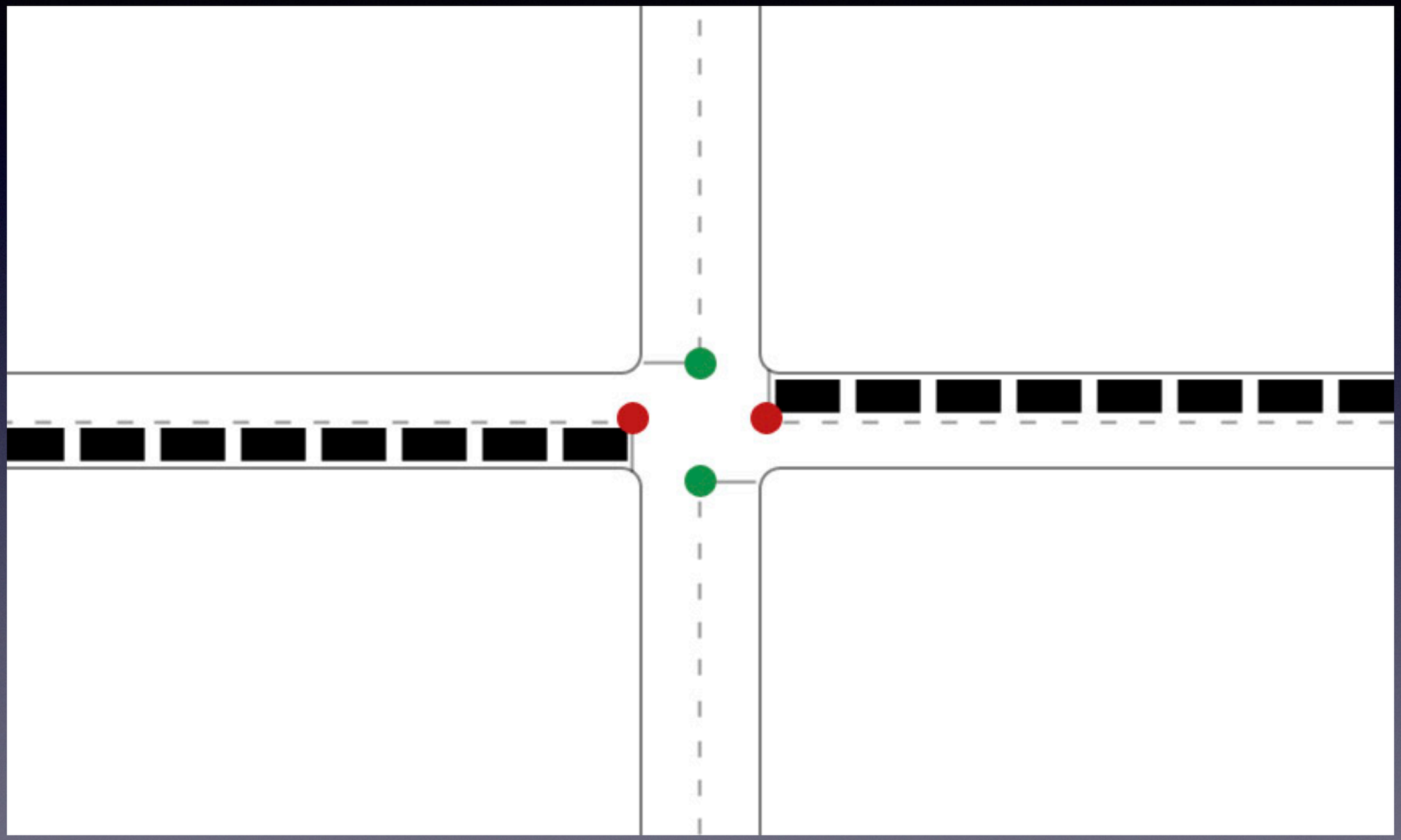
# Inhalt

- Motivation
- Neuronale Netze
  - Grundprinzipien
  - Lernen
- Verkehrsmodelle
- Das Hopfield-Netz und der Verkehrsfluss
- Resultate und Fazit

# Motivation

Aria
THE COSMOPOLITAN
MARQUEE
planet hollywood
ph
Panasonic

# Motivation



# Motivation

Im Allgemeinen: Warum sollten wir uns Gedanken über den Verkehrsfluss machen?

- Energieaufwändige Prozesse
- Klimawandel und aktuelle politische Situation
- Erhöhtes Aufkommen an Fahrzeugen
  #TODO Zahlen
- Haufen positiver Effekte 👍

# Motivation

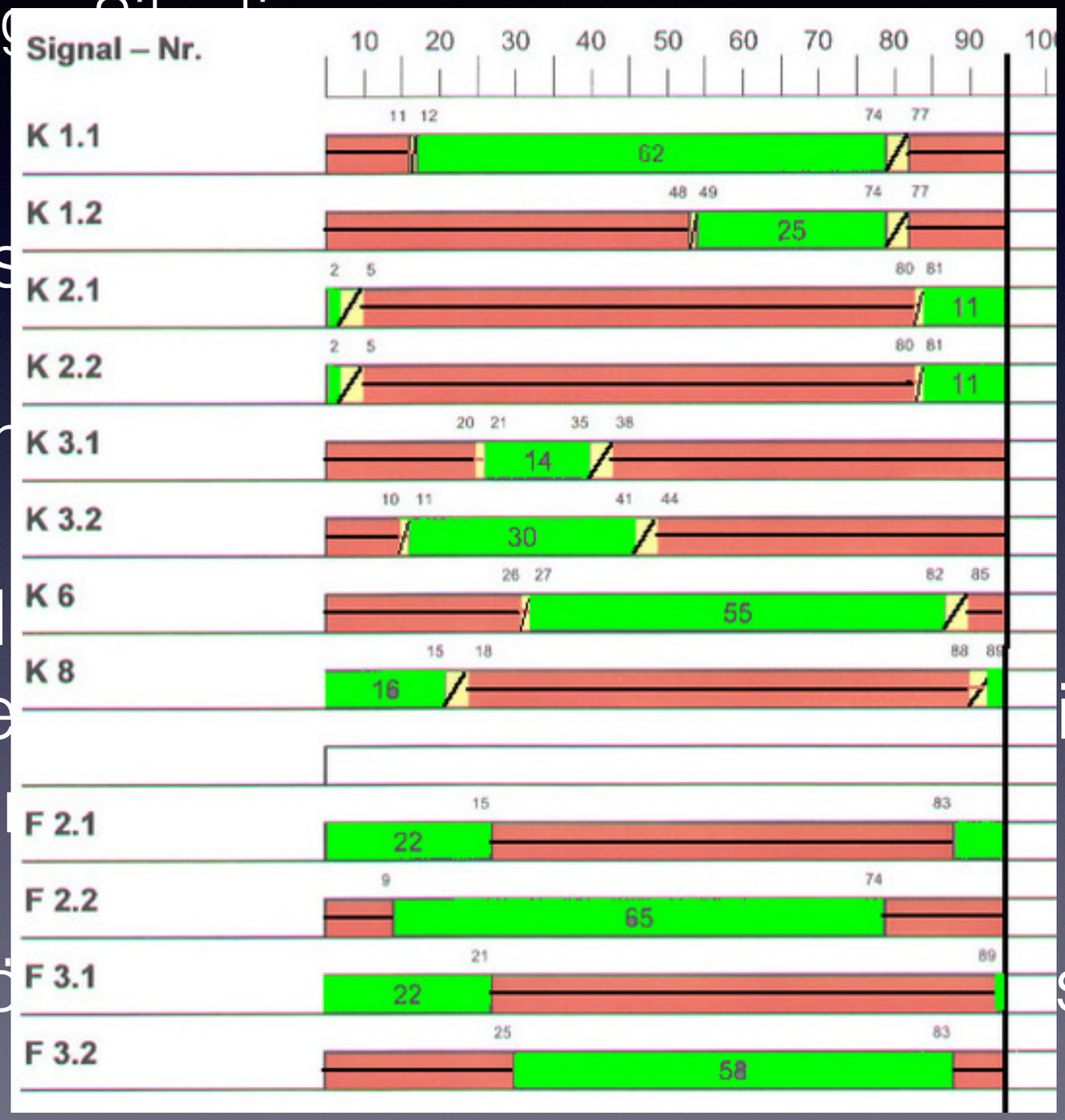
## Im Konkreten: Warum sollten wir uns Gedanken über die Verwendung neuronaler Netze machen?

- Gutes Werkzeug für (Probleme, Lösung), die in irgendeiner Form einen einen logisch strukturellen oder statistischen Zusammenhang aufweisen
- Schrifterkennung
- Spiel KIs (Schach, Go, etc.)
- Aktienkursanalysen
- Videosynchronisierung
- Kaufempfehlungen
- Verkehrsflussoptimierung? 😱

# Motivation

Gegenwärtig Situati

- Statisch
- Verkehrs
  - Weller
  - Vielerl
    (Bewe ifen,
    Kamer
  - Insellö sung



# Neuronale Netze

## Wofür sind neuronale Netze?

- Andere Herangehensweise, als klassische Deterministische Algorithmen
- Keine Folge konkreter Anweisungen
- Statistische Analyse
- Modell -> (Eingabe, Ausgabe)
- Soft Computing

# Neuronale Netze

## Was sind neuronale Netze?

- Neuronale Netze (Modelle) bestehen aus einer (halbwegs homogenen) Struktur von (künstlichen) Neuronen.

*Die Arbeitsweise ist erstaunlich einfach: Immer wenn die Summe der Eingangssignale einen bestimmten Schwellenwert überschreitet, sendet die Zelle ein Ausgangssignal. Bleibt die Eingangserregung unter der Grenze, reagiert die Zelle nicht. […]*

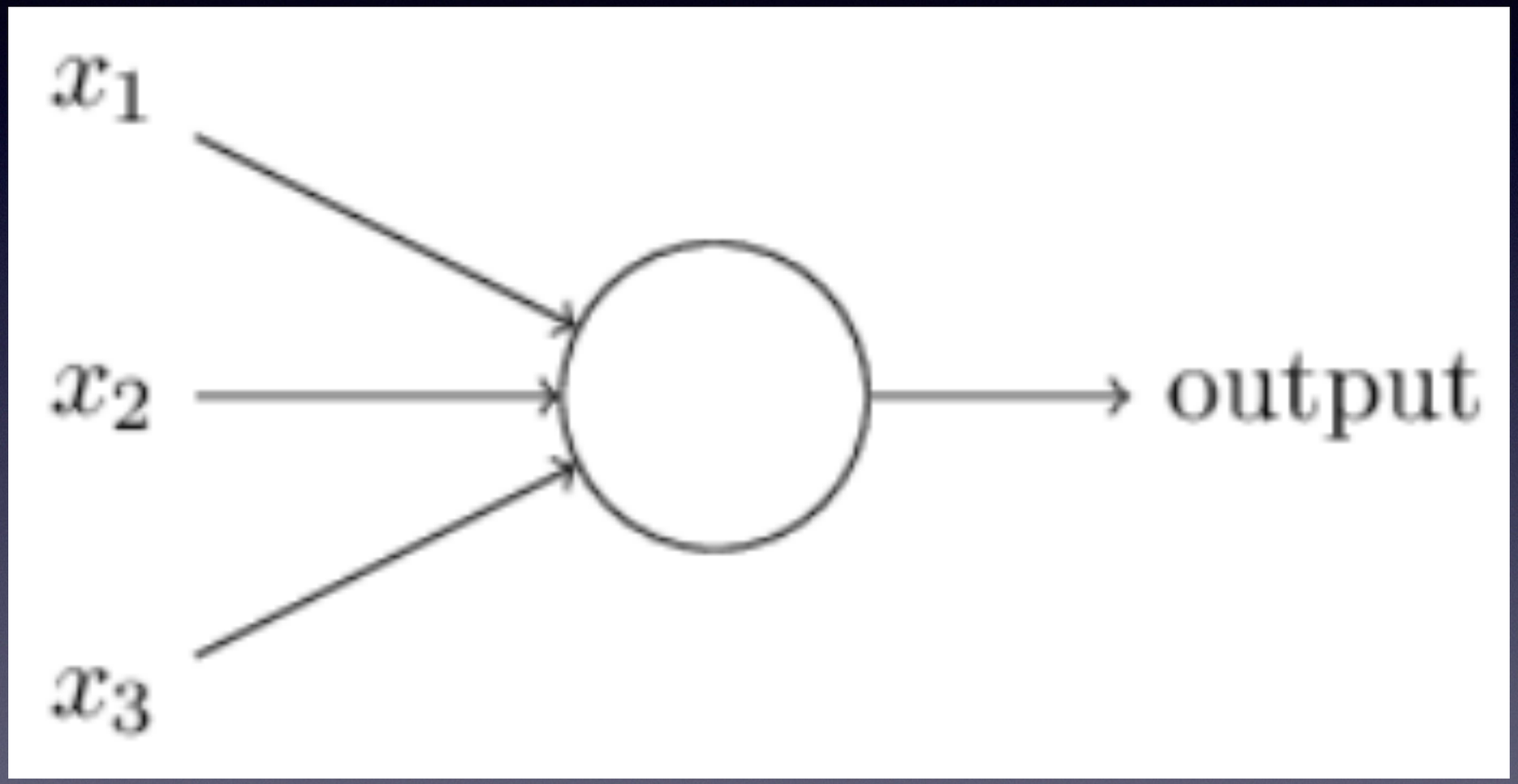
# Neuronale Netze

Was sind neuronale Netze nicht?

- Biologische Gehirne
  - Strukturen innerhalb eines Netzes mit unterschiedlichen Aufgaben für unterschiedliche Bereiche
- Computational Neuroscience

# Neuronale Netze

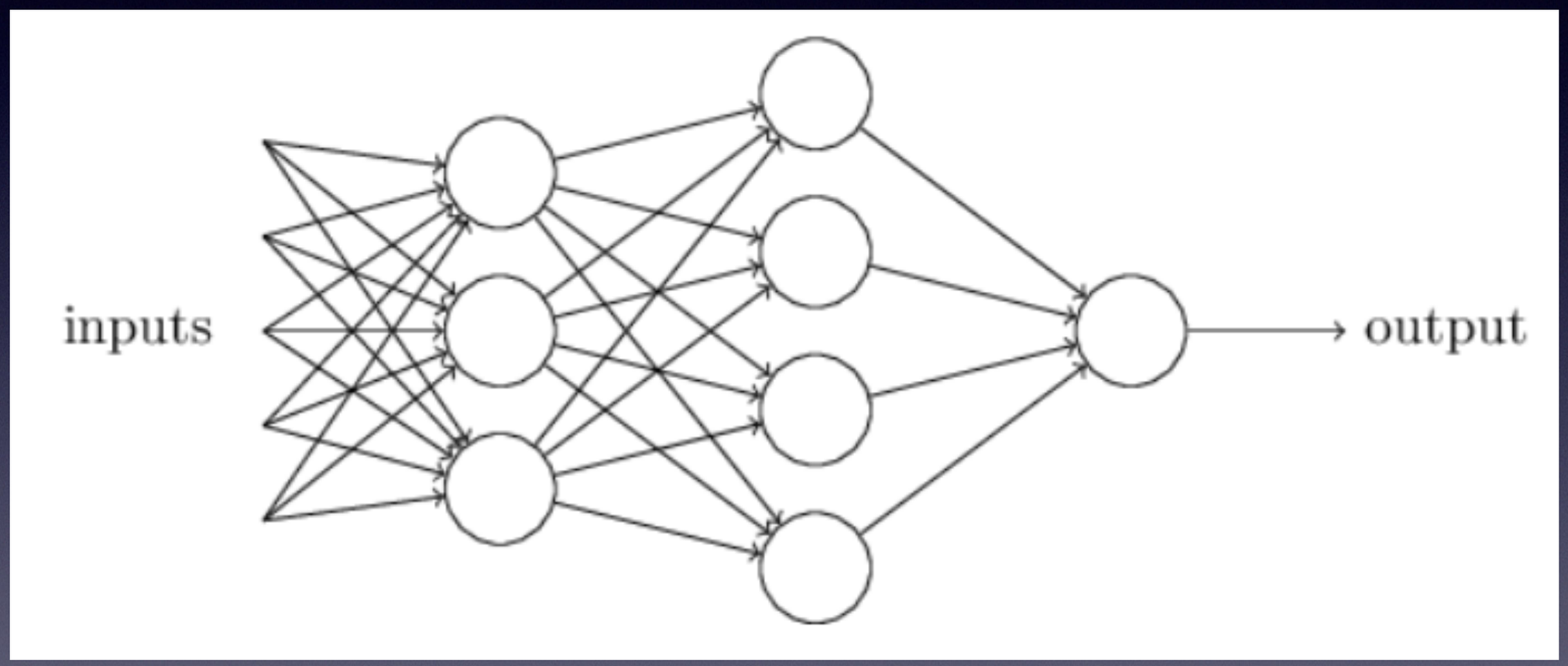
Und wie sieht das jetzt aus? Das Perzeptron




$$output = \begin{cases} 0 & \text{if } \sum \omega_i x_i \leqslant \text{Schwellwert} \\ 1 & \text{if } \sum \omega_i x_i > \text{Schwellwert} \end{cases}$$

# Neuronale Netze

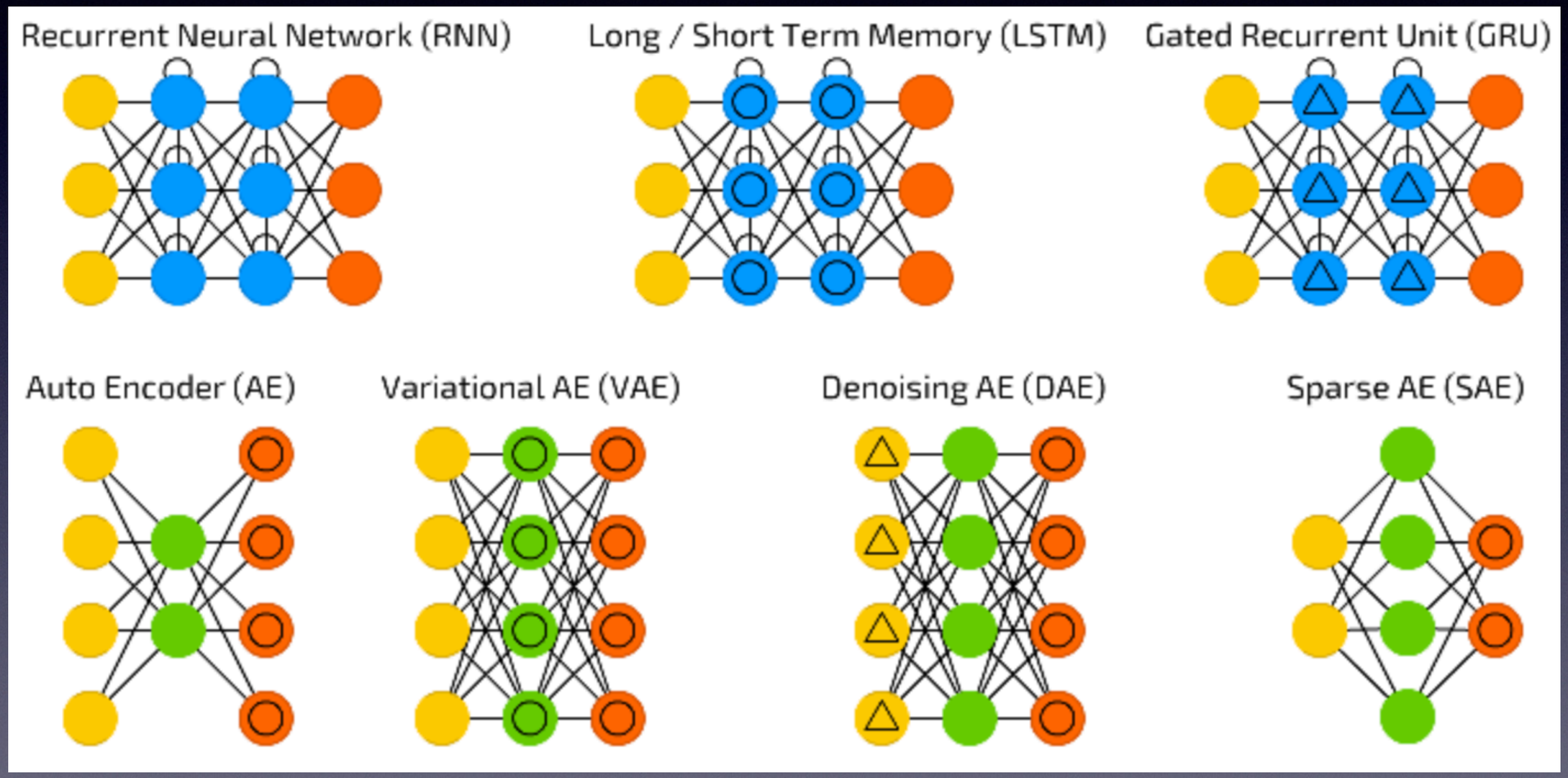
## Netzstruktur I




$$output = \begin{cases} 0 & \text{if } \sum \omega \cdot x + b \leq 0 \\ 1 & \text{if } \sum \omega \cdot x + b > 0 \end{cases}$$

# Neuronale Netze

## Netzstruktur II



# Neuronale Netze

## Das Lernen

- Anhand von Beispielen (Eingabe, Ausgabe)
- Kosten- oder Verlustfunktion
  - Bewertung der 1/Güte eines Ergebnisses
  - Minimierung
  - Problem: lokale Minima

$$C(w, b) \equiv \frac{1}{2n} \sum_{x} \| \, y(x) - a \, \|^2$$

# Neuronale Netze

Fragen? 🤔

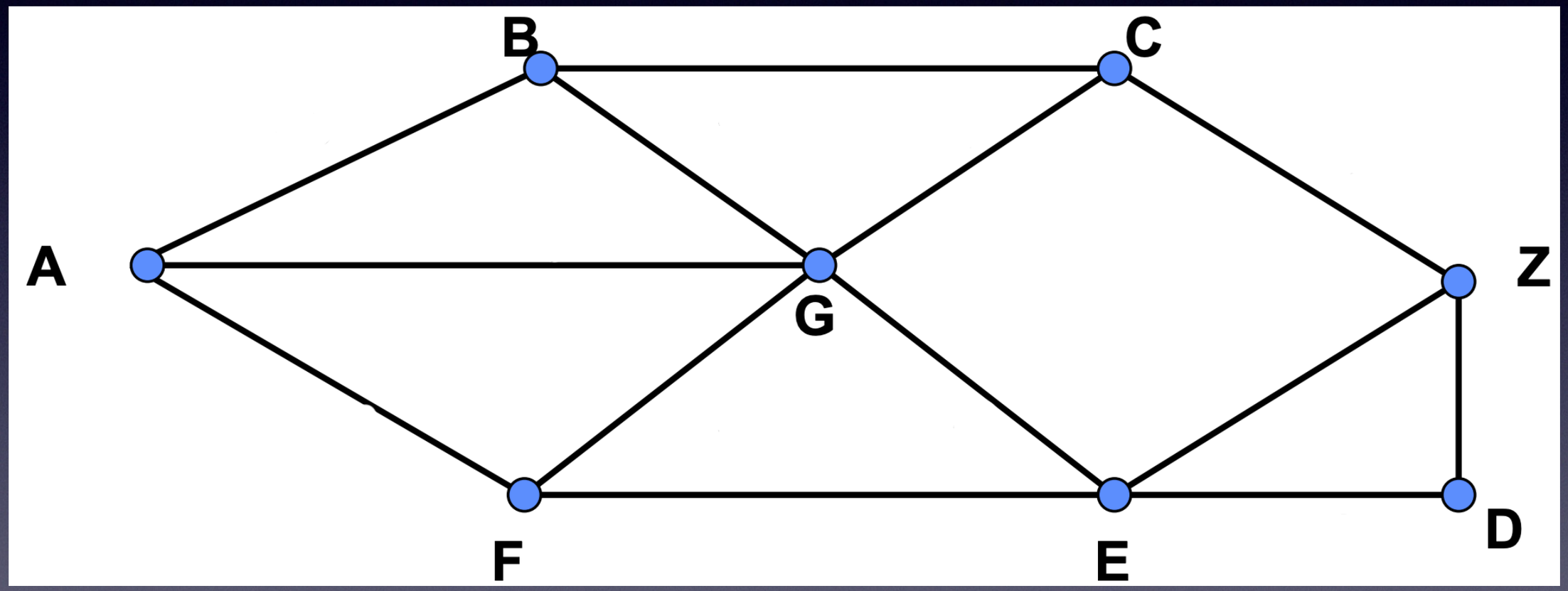
# Verkehrsmodelle

Wie lassen sich Verkehrssysteme in mathematischen Modellen abbilden? I

- Streckennetz / Verkehrsgraph
- Verkehrsteilnehmer
- Weitere Einflussfaktoren werden im Folgenden nicht berücksichtigt

# Verkehrsmodelle

Wie lassen sich Verkehrssysteme in mathematischen Modellen abbilden? II



# Verkehrsmodelle

## Wie lassen sich Verkehrssysteme in mathematischen Modellen abbilden? III

- Grundsätzlich unterschieden werden:
  - Mikroskopische Modelle
  - Makroskopische Modelle

# Verkehrsmodelle

## Mikroskopische Modelle I

- Feingranular
- Basieren auf individuellem Verhalten Einzelner
  - Position
  - Abstand
  - Geschwindigkeit

# Verkehrsmodelle

## Mikroskopische Modelle - „Car Following“ I

- Fun Fact: General Motors
- Grundlegend: Abhängigkeit der Beschleunigung vom Vorausfahrenden

$$[Response]_n \quad \alpha \quad [Stimulus]_n$$

$$a_n^t = f_{stimulus}(v_n, \Delta x_n, \Delta v_n)$$

# Verkehrsmodelle

## Mikroskopische Modelle - „Car Following“ II

- Umso höher die Geschwindigkeit umso höher der Abstand zum Vorausfahrenden, aber niemals unterhalb eines bestimmten Sicherheitsabstands

Sei $\Delta x_{n+1}^{t}$ der Abstand zwischen $x_n$ und $x_{n+1}$ zum Zeitpunkt $t$.

$\Delta x_{sicher}$ der festgelegte Sicherheitsabstand und $v_n$ die Geschwindigkeit des n-ten Objekts

# Verkehrsmodelle

## Mikroskopische Modelle - „Car Following“ III

$$x_{n+1}^t - x_n^t = \Delta x_{sicher} + \tau v_{n+1}^t$$

Abstandsfunktion

$$v_{n+1}^t - v_n^t = \tau a_{n+1}^t$$

Geschwindigkeitsfunktion

$$a_{n+1}^t = 1/\tau(v_{n+1}^t - v_n^t)$$

Beschleunigungsfunktion

# Verkehrsmodelle

## Mikroskopische Modelle - „Car Following“ IV

Sensitivitätskoeffizient von General Motors:

$$a_{n+1}^t = \frac{\alpha_{l,m}(v_n^t)^m}{x_{n+1}^t - x_n^t}[v_{n+1}^t - v_n^t]$$

| | | |
|---|---|---|
| $m$ | Geschwindigkeitsexponent | $[-1, +4]$ |
| $l$ | Abstand zum Vorausfahrenden | $[-2, +2]$ |
| $\alpha$ | Sensitivitätskoeffizient | |

# Verkehrsmodelle

## Makroskopische Modelle I

- Nicht so Feingranular
- Basieren auf statistischen / durchschnittlichen Werten
  - Geschwindigkeit
  - Dichte
  - Fluss
- Fun Fact: deutlich homogeneres Thema

# Verkehrsmodelle

## Makroskopische Modelle II

- Geschwindigkeit ($v$)

  (Time Mean Speed || Space Mean Speed)

$$\bar{v}_t = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} v_i$$

$$\bar{v}_s = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{v_i}\right)^{-1}$$

$$\bar{v}_s = \frac{N}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{v_i}}$$

# Verkehrsmodelle

## Makroskopische Modelle III

- Dichte ($k$) - Anzahl an Fahrzeugen auf einem Streckenabschnitt
  - Kritische Dichte $k_c$
    maximale erreichbare Dichte eines freien Flusses.
  - Staudichte $k_j$
    maximale erreichbare Dichte.

$$K(L, t_1) = \frac{1}{\bar{s}(t_1)}$$

# Verkehrsmodelle

## Makroskopische Modelle IV

- Fluss ($q$) - Anzahl an Fahrzeugen, die einen Referenzpunkt in einer gegebene Zeit passiert.
  - Das Inverse $h = 1/q$ beschreibt die Zeit, die zwischen dem Vorbeifahren des $n$-ten und $(n+1)$-ten vergeht.
    In Stausituationen gilt: $\lim_{q \to 0} h = 1/q \to \infty$

$$q = kv \qquad q = 1/h \qquad q(x_1) = \frac{1}{\bar{h}(x_1)}$$

# Verkehrsmodelle

Fragen? 🤔

# Das Hopfield-Netz und der Verkehrsfluss

- Basierend auf dem Paper
  „*Traffic Management Applications of Neural Networks*“
  John F. Gilmore und Khalid J. Elibiar.
  Georgia Institute of Technology, 1993
- Verwobene Anordnung von Straßen —> Graphen
- Ampelschaltung ist eine maßgebliche Dimension für den Fluss
- Keine Daten vorhanden —> Lernen unüberwacht
- Hopfield-Netz

# Das Hopfield-Netz und der Verkehrsfluss

## Was ist ein Hopfield-Netz? I

- Feedback-Netze
- Bestehen aus einer Schicht an Neuronen
- sind *fully-connected*
- Rückgabewerte der Aktivierungsfunktion sind: $\{+1; -1\}$
- Verbindungen der Neuronen sind **gewichtet** und **symmetrisch**, heißt: $w_{ii} = 0 \forall i$

$$w_{ij} = w_{ji}$$

# Das Hopfield-Netz und der Verkehrsfluss

## Was ist ein Hopfield-Netz? II

- Energiefunktion
  - Grundlegender Parameter (skalarer Wert) eines Hopfield-Netzes —> Energie
  - Beispiel: $E = -\frac{1}{2}\sum_{i,j} w_{ij} s_i s_j + \sum_i \theta_i s_i$
  - Ziel ist es, diesen Funktionswert zu minimieren.

# Das Hopfield-Netz und der Verkehrsfluss

## Was ist ein Hopfield-Netz? III

- Aktualisierungsverfahren
  - weil *fully-connected*, wichtig
  - Synchron und Asynchron
  - Synchron kann zu Problemen führen und gilt als unrealistisch
- Die monotone Abnahme der Energie-Funktion ist für symmetrische Gewichte der Verbindungen und asynchrones Updaten garantiert.
  - Fun Fact: bewiesen von Hopfield, dem Erfinder der Netze, selbst.

# Das Hopfield-Netz und der Verkehrsfluss

## Im Konkreten… I

- Grundgedanke: Verkehrsnetze passen genau auf die Struktur von Hopfield-Netzen
- Kreuzungen entsprechen den Neuronen, die Verbindungen den beteiligten Straßensegmenten
- Ampeln haben zwei Phasen (Rot und Grün)
- Entweder fließt der Verkehr in Ost-West- oder in Nord-Süd-Richtung
- Die Werte der Neuronen liefern {+1; -1}

# Das Hopfield-Netz und der Verkehrsfluss

Im Konkreten… II

$$E = -\frac{1}{2}\sum_{i,j} w_{ij} s_i s_j + \sum_i \theta_i s_i$$

$\theta_i$ sei ein Potential, dass eine Ampel *schaltet*

$w_{ij}$ sei die Verbindung zweier Kreuzungen

# Das Hopfield-Netz und der Verkehrsfluss

Im Konkreten… III

| | | | |
|---|---|---|---|
| $n$ | Anzahl Kreuzungen | $c_i$ | Kapazität |
| $i$ | Index | $d_{a,b}$ | Kapazitätsunterschied |
| $s_i$ | Neuronaler Output | $t_i$ | Zeit eines Zustands |
| $p_i$ | Priorität einer Ampel | $r_i$ | % pass. Fahrzeugen |

$$E = -\sum_{i=1}^{n} s_i\left(\frac{p_i}{1+t_i}\right)\left(c_i + \sum_{j=1}^{m} r_j d_{a,b_i} + s_j \sum_{k=1}^{l} s_k d_{b_j,c_k}\right)$$

# Das Hopfield-Netz und der Verkehrsfluss

Fragen? 🤔

# Resultate und Fazit

Resultate schmächtig…

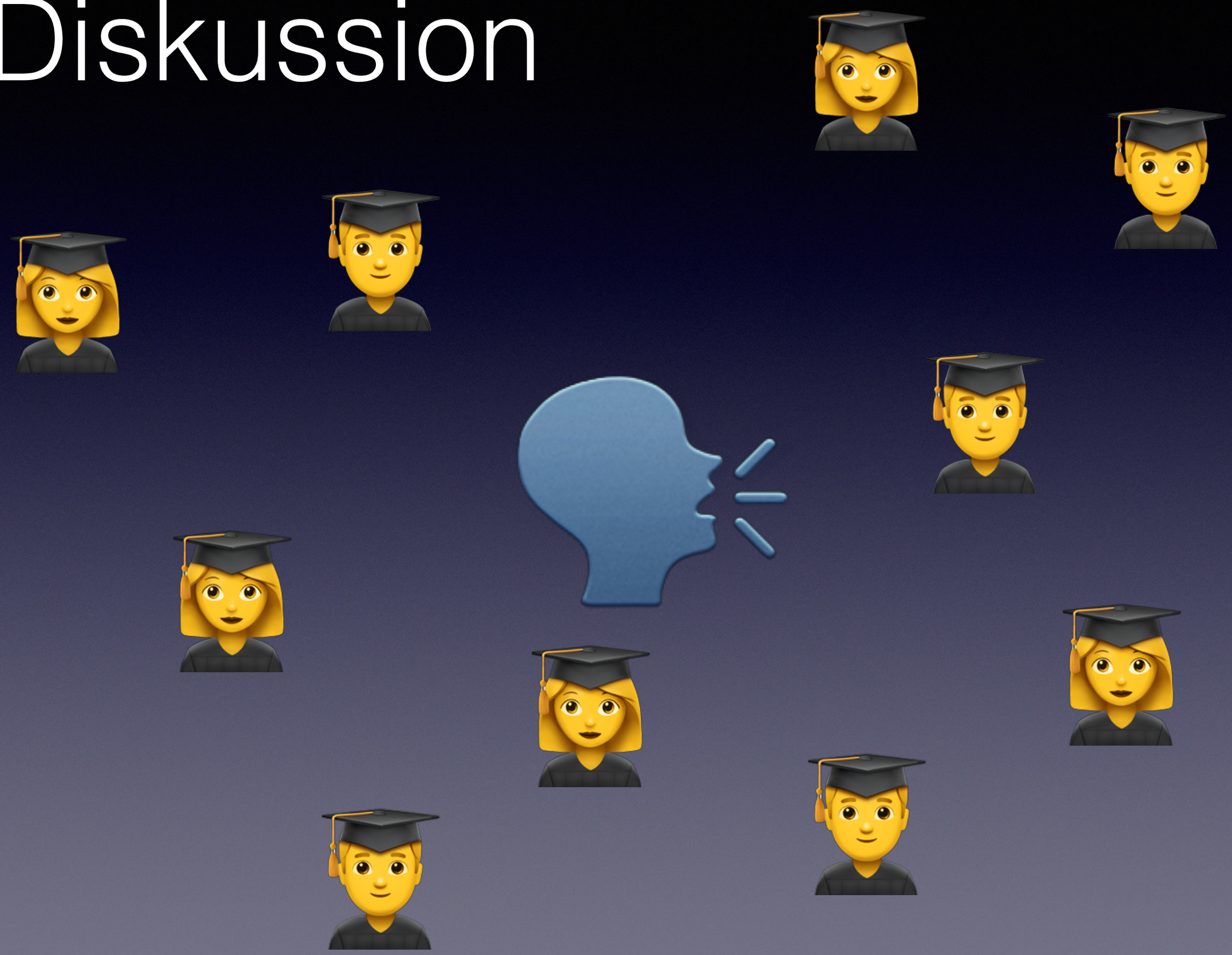
- Teil des Papers
- Angewandt in einigen Spezialfällen
- Olympische Spiele 1996, Atlanta
- Interessanter Gedankengang

# Resultate und Fazit

## Hick-Ups vorhanden…

- Darstellungsprobleme
  - Straßen mit ungleichen Kapazitäten je Richtung, z.B. Einbahnstraßen
  - Ampeln haben nicht nur zwei Phasen
  - Ost-West-Richtung / Zwei Phasen etwas wenig
    - Abbieger
    - Ausgeschlatete Ampeln
- Statische Verkehrsbelastung
- Paper ist recht alt
- Teil einer Lösung, Hauptrouten

# Diskussion



# Danke