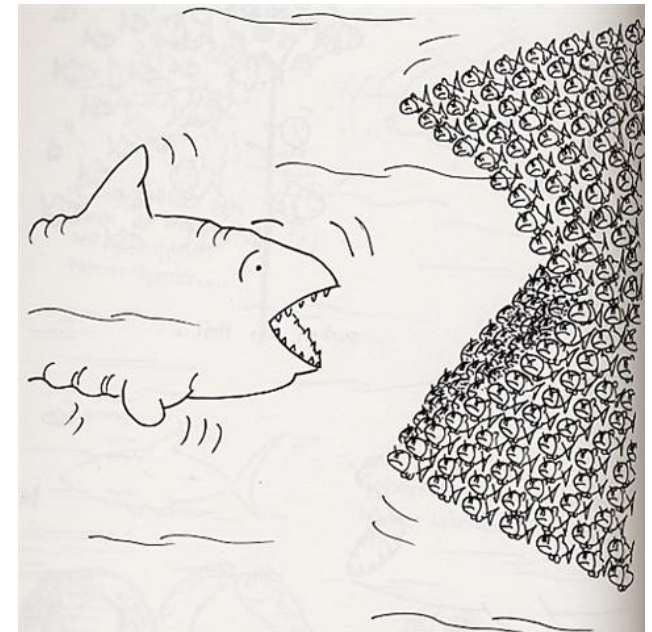


# Künstliche Intelligenz

## 3. Schwarm Intelligenz



Prof. Dr. Klaus Dorer



# Übersicht

Einführung
Agentensysteme
<b>Schwarmintelligenz</b>
Robotik
Genetische Algorithmen
Entscheidungsbäume
Neuronale Netzwerke
Reinforcement Learning
Autonomes Fahren

## ■ Schwarm Intelligenz

- Schwarmbildende Tiere
- Anwendungen
- Schwarm Simulationen

## ■ Ziele

- Einblick in emergente Intelligenz
- Anwendungsmöglichkeiten einschätzen können

# Quellen

- Uwe Käßner, Schwarm-Intelligenz mit Mikro-Agenten, Diplomarbeit Hochschule für Technik und Wirtschaft Zwickau (FH), 2002
- Andreas Klose, Metaheuristiken für kombinatorische Optimierungsprobleme/ Ameisenkolonien, 2002
- Dirk Helbing, Illés Farkas, and Tamas Vicsek: Simulating dynamical features of escape panic. Nature 407, 487-490 (2000)
- Eric Bonabeau, Marco Dorigo, Guy Theraulaz, 1999. Swarm Intelligence – From Natural to Artificial Systems. Oxford University Press, Oxford
- Ruud Schoonderwoerd, Owen Holland, Janet Bruten and Leon Rothkrantz, 1997. Ant-based load balancing in telecommunications networks
- [www.panics.org](http://www.panics.org)
- [www.swarm.org](http://www.swarm.org)
- <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>
- [www.wikipedia.de](http://www.wikipedia.de)

# Vorbild Natur

## ■ Schwarmsysteme

- Eingeschränktes Verhaltensrepertoire der einzelnen Individuen
- Komplexes Verhalten des Gesamtsystems
- Hohe Zuverlässigkeit des Gesamtsystems trotz relativer Unzuverlässigkeit des einzelnen
- Keine zentrale Kontrollinstanz



# Definitionen

## ■ Schwarm Intelligenz

- „Schwarm-Intelligenz ergibt sich nicht aus der Intelligenz eines einzelnen Individuums, sondern aus dem Zusammenspiel aller. Jedes Teil des Gesamtsystems führt einfache Regeln aus, was zu einem komplexen, bemerkenswert wirksamen, globalen Verhalten führt“ [Schoonderwoerd et. al.]

## ■ Emergenz

- „Spontane Herausbildung von Phänomenen oder Strukturen auf der Makroebene eines Systems auf der Grundlage des Zusammenspiels seiner Elemente. Dabei lassen sich die emergenten Eigenschaften des Systems nicht offensichtlich auf Eigenschaften der Elemente zurückführen, die diese isoliert aufweisen“ [wikipedia]

# Experiment: Wort - Rätsel

## ■ Beispiel

- 1000 = G s e KG ==> 1000 Gramm sind ein Kilogramm

■ 26 = B i A

■ 7 = W W

■ 12 = S Z

■ 8 = P i S S

■ 19 = G R i G G

■ 0 = G C i d T b d W g

■ 18 = L a d G P

■ 90 = G i r W

■ 4 = Q i e K J

■ 24 = S h d T

■ 2 = R h e F R

■ 11 = S i e F M

■ 29 = T h d F i e S J

■ 32 = K i e S B

■ 64 = F a e S B

■ 5 = F a e H

■ 16 = B L h D L

■ 60 = S h e M

■ 3 = W a d M L

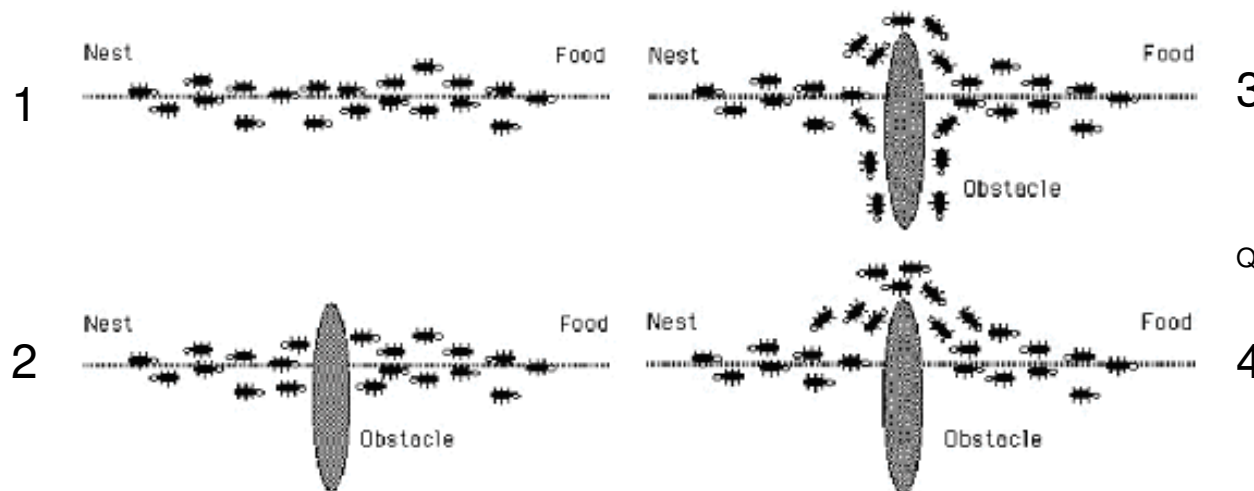
■ Alle = W f n R



# Anwendung

## ■ Traveling Salesman Problem (TSP)

- Ein Handlungsreisender soll alle vorgegebenen Städte genau einmal besuchen und dabei die Fahrstrecke minimieren
- Vorbild: Wanderverhalten von Ameisen
  - Natürliche Ameisen wählen ihren Weg nach der Pheromonkonzentration auf diesem Weg
- Simulation
  - Künstliche Ameisen wählen an jedem Knoten den Weg mit maximalem Pheromon / (Weg – dx \* Weg)
  - Für gewählten Weg wird Pheromon Konzentration erhöht, für andere erniedrigt (minimal 0,1)



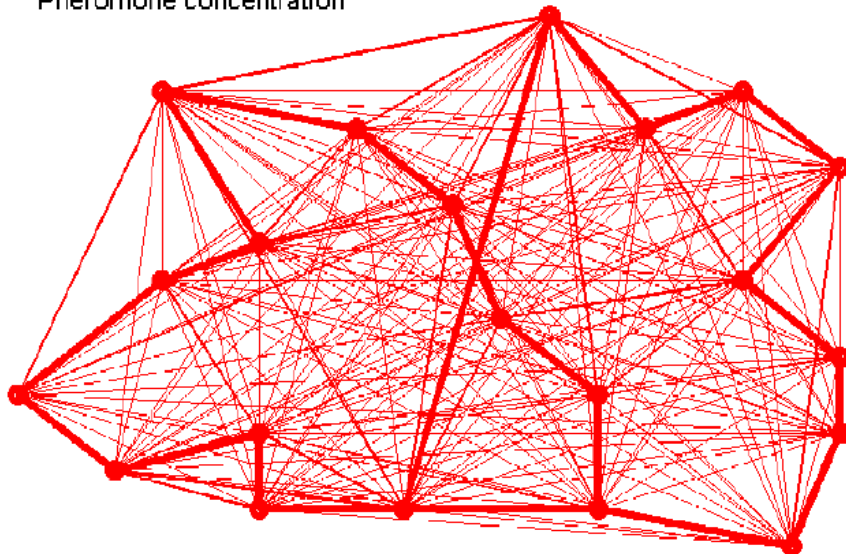
Quelle: Klose

# Anwendung

## ■ Beispiel 21 Städte

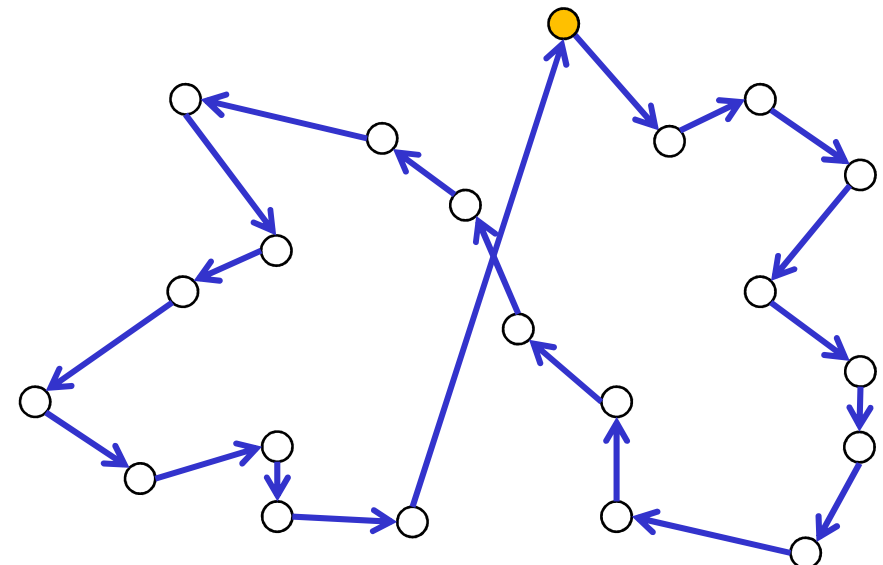
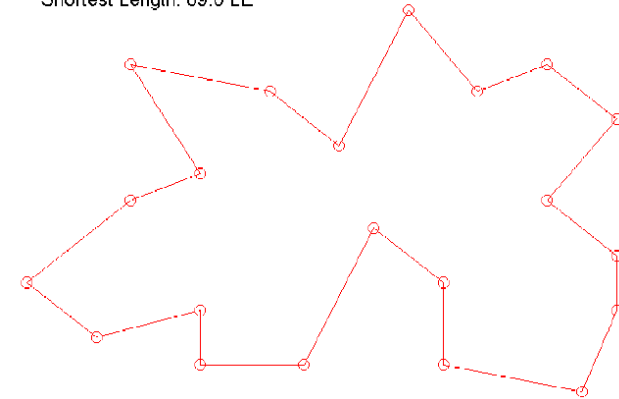
- Pheromonverteilung
- Daraus entstehende Rundreise

Solution: Ant  
Pheromone concentration



Quelle: Käßner

Solution: Ant  
Shortest Length: 69.0 LE





# Anwendung

## ■ Ergebnisse

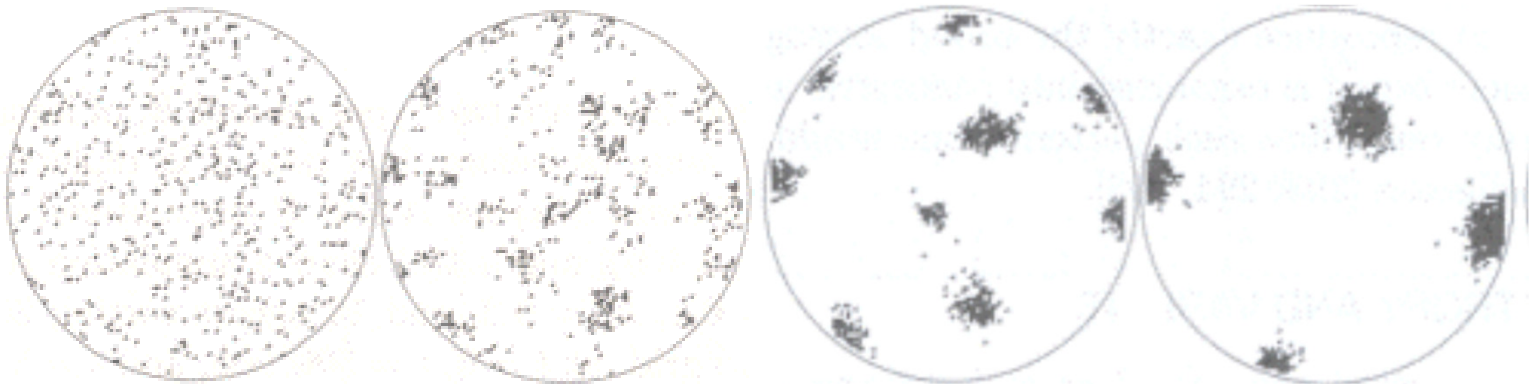
- Ant Algorithmen schneiden besser ab, als einfache heuristische Ansätze
- Die Laufzeit ist entsprechend höher

Algorithmus	21 Städte			52 Städte		
	Länge	Abw.%	Zeit (ms)	Länge	Abw.%	Zeit (ms)
Exakt	69	-	-	7542	-	-
Nearest Neighbor	78	13	20	8181	8	91
Nearest Addition	76	10	50	9116	21	851
Farthest Addition	72	4	60	8010	6	1002
Ant	69	0	5768	7542	0	321852

# Anwendung

## ■ Data Mining

- Bank will Kunden in verschiedene Kategorien einteilen
- Vorbild: Sortieren von Brut, Nahrung und toten Artgenossen bei Ameisen
  - Tote Artgenossen werden um so wahrscheinlicher aufgehoben, je weniger tote Artgenossen in der Nähe liegen
  - Tote Artgenossen werden um so wahrscheinlicher abgelegt, je mehr tote Artgenossen in der Nähe liegen



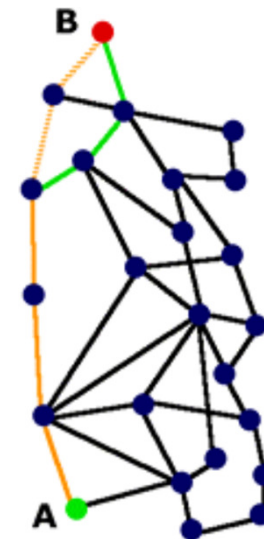
Quelle: Bonabeau et. al.

# Anwendung

## ■ Lastverteilung in Netzwerken

- Durchsatz von Netzwerken soll durch intelligente Lastverteilung erhöht werden
- Vorbild: Nahrungssuche bei Ameisen
  - Ameisen sondern Duftstoff (Pheromon) ab, wenn sie Nahrung gefunden haben und auf dem Rückweg zum Nest sind
  - Andere Ameisen wählen an Gabelungen ihren Weg an Hand der Konzentration von Pheromonen

Algorithmus	Durchschnittl. Signalfehler
Kürzester Pfad	12.57%
Ant	1.79%

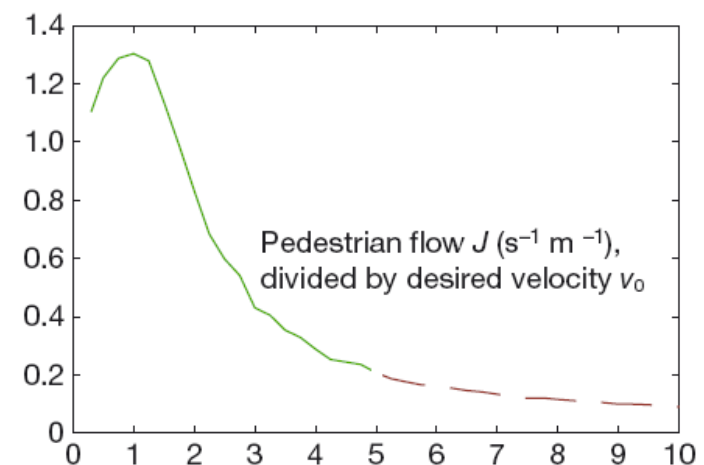
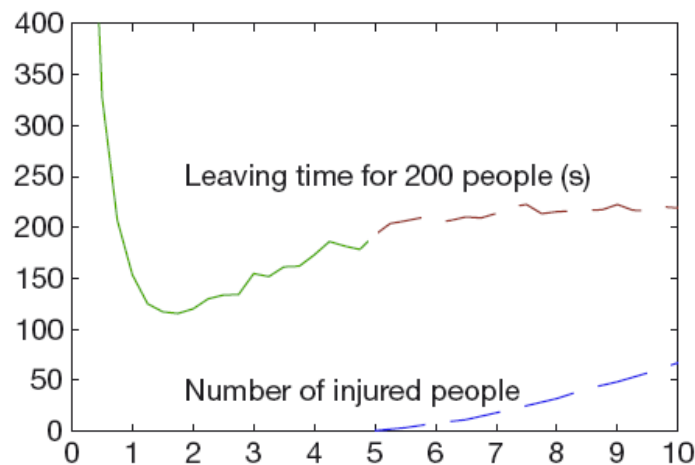


Quelle: Schoonderwoerd et. al.

# Anwendung

## ■ Simulation von Menschenmassen

- Sicherheit eines Stadions bei einer Panik soll untersucht werden
- Vorbild: Menschengeschwärme
  - Im Schwarm Verhalten sich Menschen oft nicht rational
  - Daher kann man mit einfachen Regeln für Individuen gut tatsächliches Verhalten von Menschenmassen simulieren
- Erste Erkenntnis: je schneller das einzelne Individuum hinaus will, desto weniger schaffen es (ab einem kritischen Punkt)

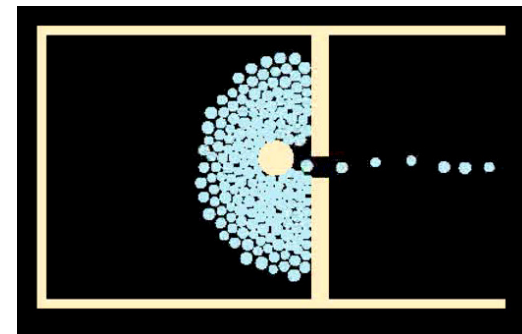
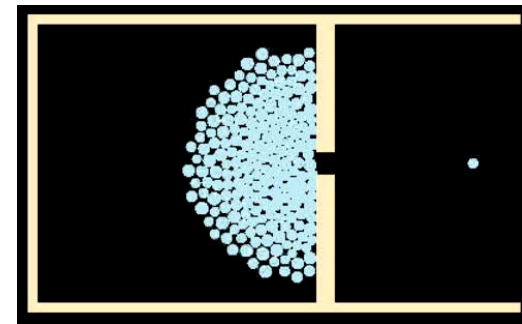


Quelle: Helbing, Farkas, Vicsek

# Anwendung

## ■ Simulation von Menschenmassen

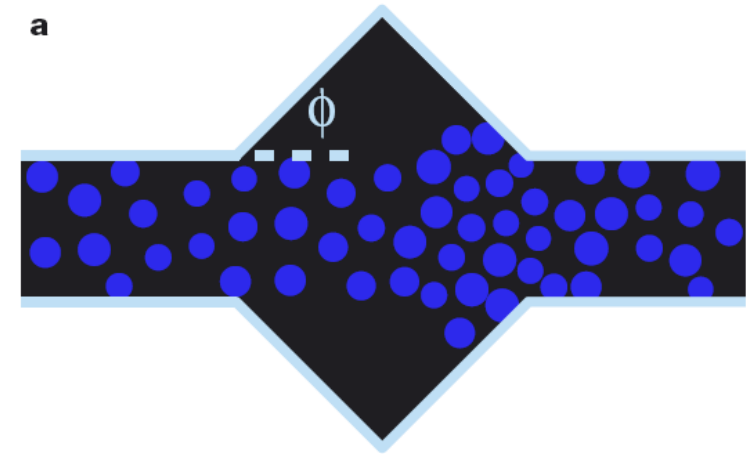
- 80 Tote bei Panik in einem Fußballstadion in Guatemala 1996
- Simulation mit 200 Agenten
- Eine Säule hätte vermutlich geholfen



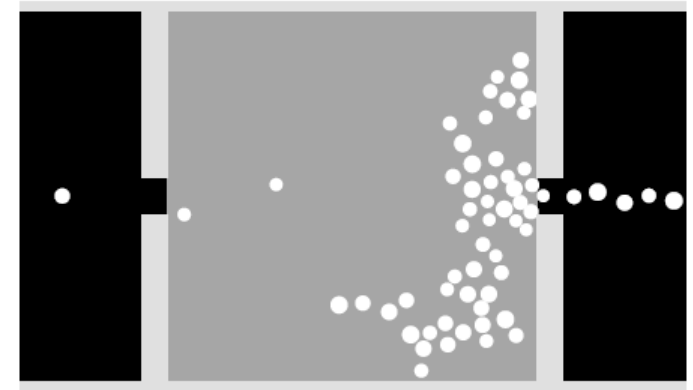
# Anwendung

## ■ Simulation von Menschenmassen

- Zwischenzeitliche Aufweitungen eines Fluchtwegs führen zur Verschlechterung des Menschenflusses durch Stockungen



- Herdenverhalten führt zu ungleichmäßiger Verteilung an Notausgängen bei eingeschränkter Sicht

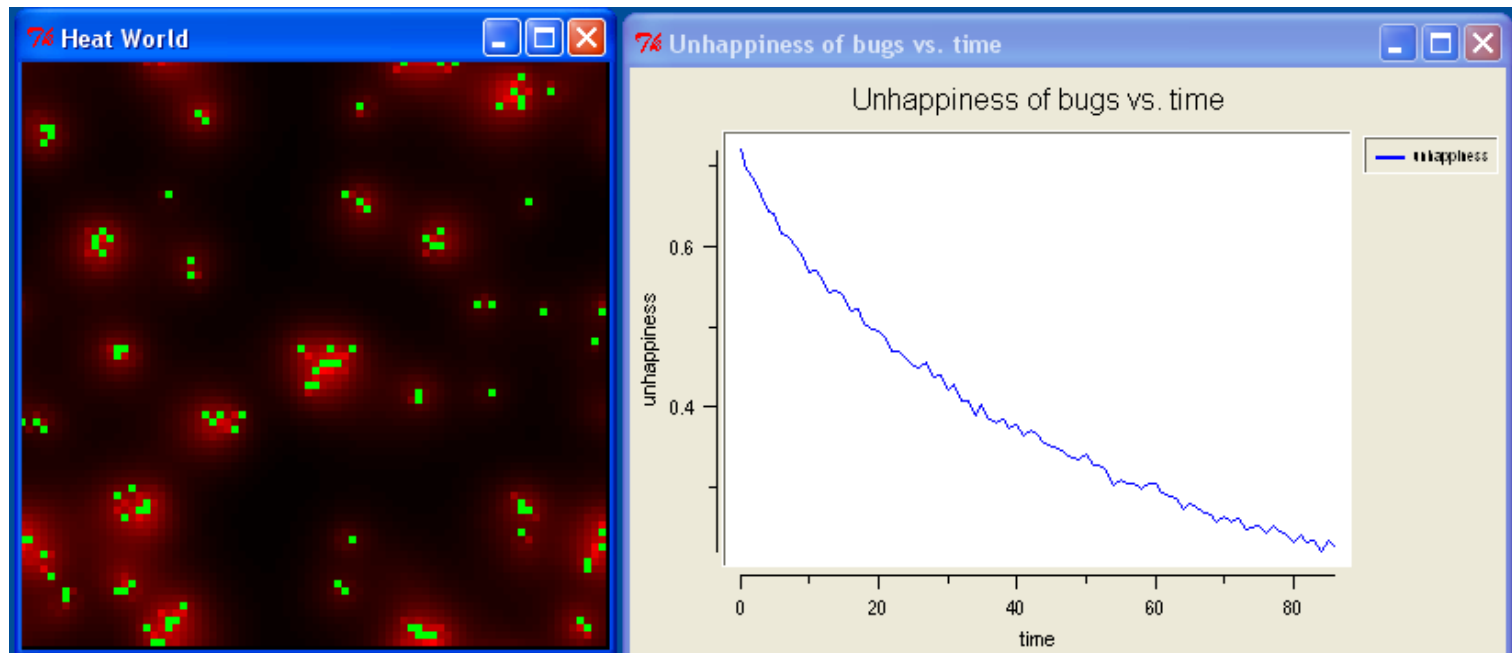




# Schwarmsysteme

## ■ Swarm

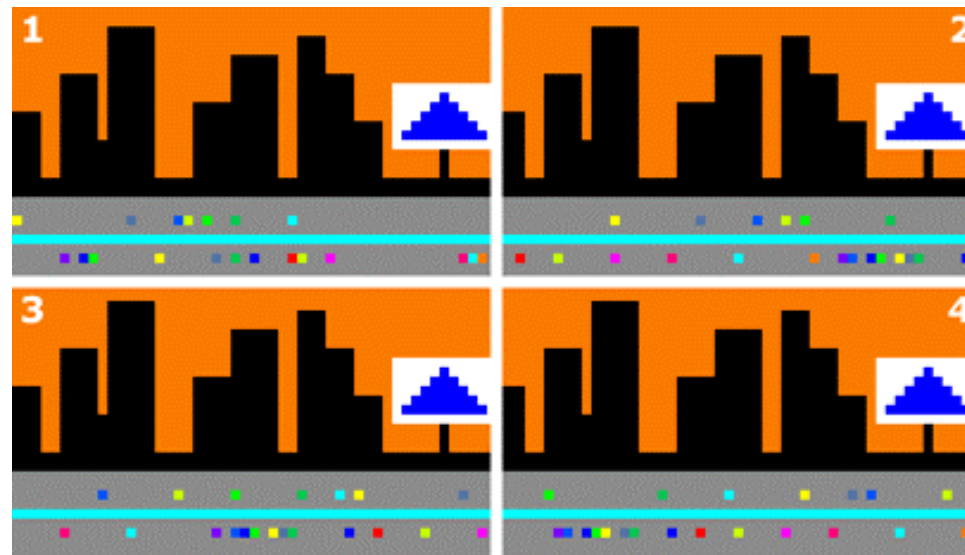
- Von Chris Langton 1994 (Santa Fe) gestartet
- Bibliothek für Schwarmsysteme (Objective-C und Java)
- Beispiel: Modellierung von Gruppierungsverhalten



# Schwarmsysteme

## ■ StarLogo

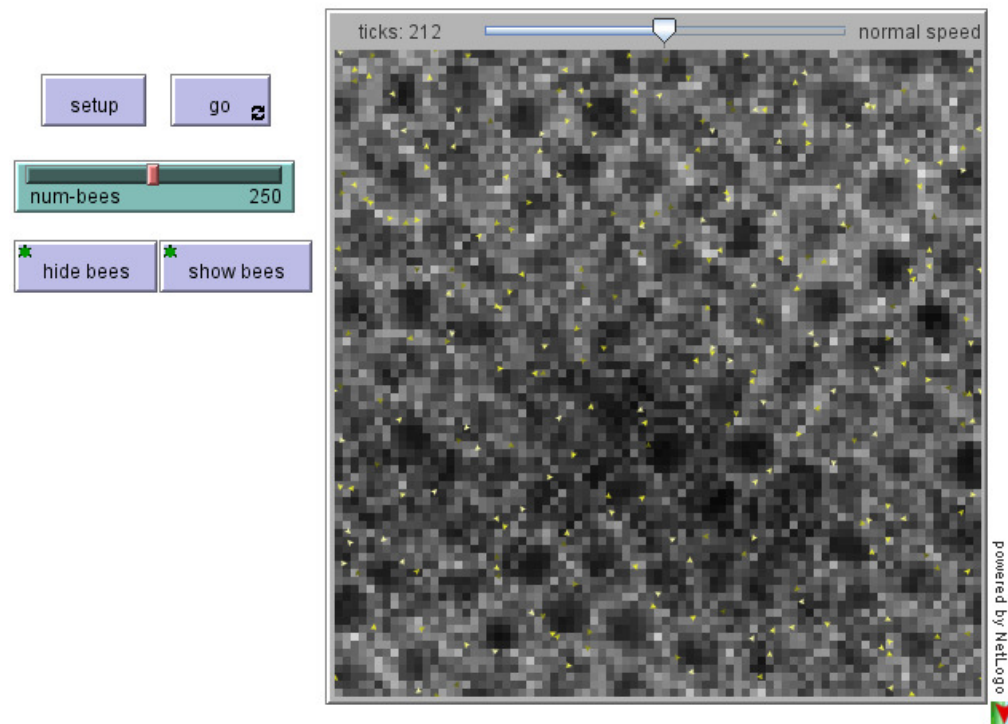
- Entwickelt am MIT
- Bibliothek für Schwarmsysteme (StarLogo und Java)
- Beispiel: Modellierung von Verkehrsfluss



# Schwarmsysteme

## ■ NetLogo

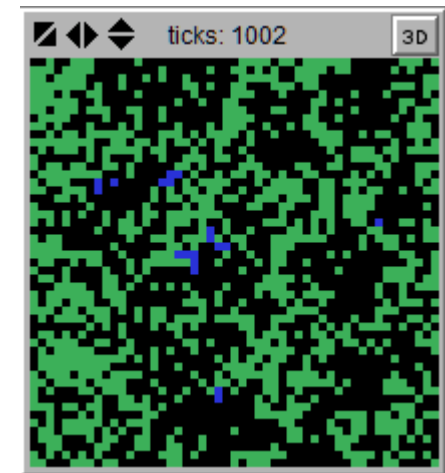
- <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>
- Entwickelt am Northwestern's Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling (CCL)
- Beispiel: Wie entsteht bei Bienen die Sechseck-Struktur



# NetLogo

## ■ Patches

- Unbewegliche Felder
- Eingebaute Eigenschaften
  - `pcolor`, `plabel`, `pxcor`, `pycor`
- Eigene Eigenschaften
  - `patches-own` [ `var1 ...`]
- Nachbarschaft
  - `neighbors` (8), `neighbors4`
- Bevölkerung
  - `turtles-here`
- Bevölkern
  - `sprout` *anzahl* (erzeugt die angegebene Anzahl turtles auf dem patch)
- Zelluläre Automaten



# NetLogo

## ■ Turtles



- Bewegliche Agenten
  - forward, backward, left, right, jump, move-to, face, uphill
- Sensoren
  - can-move?, distance *agent*, patch-here, patch-ahead *dist*, turtles-here, agentset in-cone *distance angle*; ...
- Eingebaute Eigenschaften
  - breed, color, label, xcor, ycor, heading, shape (bug, car, ...), ...
- Eigene Eigenschaften
  - turtles-own [ var1 ...]
- Eigene Spezies
  - breed [ plural singular ] definiert eine eigene Art (Untermenge) Turtles
- Bevölkern
  - create-<breeds>, hatch, sprout

# NetLogo

## ■ Agentsets

- Mengen von Agenten, auch einelementig
- Aktionen/Kommandos ausführen
  - `ask agentset [commands]`
    - Bsp: `ask turtles [ fd 1 ]`
- Auswahl
  - `one-of agentset`: ein zufälliger Agent der Menge
  - `max-one-of agentset [reporter]`: Agent mit höchstem Wert für reporter
    - Bsp: `show max-one-of ants [pheromon]`
  - `agentset with [reporter]`: alle Agenten für die reporter wahr liefert
    - Bsp: `show count ants with [pheromon > 0.5]`
  - `turtles-here, agentset in-radius distance`
    - Bsp: `ask turtles [ ask patches in-radius 3 [ set pcolor red ] ]`
  - `other agentset`: agentset ohne mich (`myself`)
- Fragen
  - `any?`: gibt es einen in einem AgentSet



# Zusammenfassung

- Die Summe der Intelligenz einer Gruppe ist höher als die eines Einzelnen
- Anwendungen
  - Optimierung
  - Simulation (Menschenmassen, Verkehr, Film...)
- Schwarmsysteme
  - StarLogo, Swarm, Massive, ...
- Fürs Leben
  - Gemeinsam sind wir stark