

# Ausbalancieren von Kosten und Nutzen von Lernfähigkeit

Steffen Brandl

Paper: **Balancing the Costs and Benefits of Learning Ability**  
by *Kai Olav Ellefsen*

# Übersicht

- ▶ Einführung
- ▶ Hintergrund
- ▶ Baldwin-Effekt
- ▶ Sensitive Phasen
- ▶ Ellefsens Hypothese
- ▶ Versuchsdurchführung
- ▶ Ergebnisse
- ▶ Fazit

# Einführung

- ▶ Lernen erhöht die Fitness von Individuen
- ▶ bringt auch Kosten mit sich
  - ▶ energetische Kosten für Lernmaschinerie
  - ▶ Kosten für eventuelle Fehlversuche
- Evolution versucht die Menge des Lernens zu minimieren
- stattdessen Vererbung von Strategien
- ▶ Lösung: Lerne so viel wie nötig in Zeiten, in denen es am meisten bringt
  
- ▶ in diesem Paper werden zwei Phänomene untersucht
  - ▶ Baldwin Effekt
  - ▶ Sensitive Phasen

# Hintergrund - Lernen: Kosten und Vorteile

- ▶ viele Studien über die Vorteile von Lernen
- ▶ Kosten werden oft nicht mit in Theorien einbezogen
- ▶ Balance zwischen Kosten und Lernen entscheidet über beste Strategie
- ▶ Giles Mayley gibt 1996 Überblick über verschiedene Kosten
  - ▶ Energieverbrauch für Lernen
  - ▶ „time-wasting“-Kosten
- ▶ Plastizität braucht adaptiven Wert
- ▶ Kosten und Nutzen variieren bei jedem Individuum
  - ▶ auch beim gleichen Individuum in verschiedenen Situationen
- ▶ Vorteile bei einem „Kind“ höher als bei einem „Erwachsenen“

# Hintergrund - Modellierung der Kosten

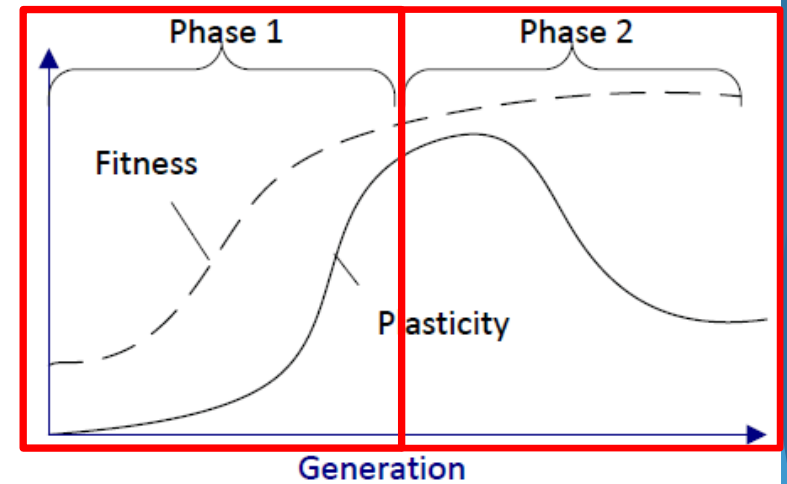
- ▶ Benjamin Kerr und Marcus William Feldman 2003:
  - ▶ entscheidend ist die Variabilität der Umgebung
  - ▶ „Goldilock principle“
  - ▶ bei schnellen Veränderung ist Kurzzeitgedächtnis wichtig
  - ▶ komplett zuverlässige Welt braucht kein Lernen
- ▶ keine Einbeziehung von mehreren Generationen

# Hintergrund - Modellierung der Kosten

- ▶ Aimee Dunlap und David Stephens (2009):
  - ▶ Versuchsreihe über 30 Generationen von Fruchtfliegen
  - ▶ „aversion learning“-Experiment
  - ▶ „best-action fixity“
    - ▶ bis zu welchem Punkt ist beste Aktion immer gleich
  - ▶ „reliability of experience“
    - ▶ Beziehung zwischen bester Aktion und Erfahrung
    - ▶ bis zu welchem Punkt ist „aversion learning“ möglich
- ▶ Ellefsen glaubt, dass Dunlap und Stephens etwas übersehen haben
  - ▶ Beständigkeit der „best-action“ sinkt ausreichend → Entscheidung gegen Lernen

# Baldwin Effekt

- ▶ James Mark Baldwin (1896):
  - ▶ Evolution reguliert Plastizität über Generation um Kosten zu senken
  - ▶ gelernte Aktionen gehen in Erbgut ein
- ▶ Phase 1:
  - ▶ es tritt Umweltveränderung ein
  - ▶ Lernen beschleunigt Evolutionsrate
  - ▶ schwache Individuen werden stärker
- ▶ Phase 2:
  - ▶ genetische Anpassung
  - ▶ Population beinhaltet Individuen, denen gute Strategien angeboren sind
  - ▶ Plastizität der Population nimmt ab



# Baldwin Effekt - Modellierung

- ▶ James Watson et al (2002)
  - ▶ Beziehung Komplexität und Stabilität  $\Leftrightarrow$  genetische Anpassung
  - ▶ höchst instabile Umgebung  $\rightarrow$  größte genetische Anpassung, Eliminierung des Meistlernenden
  - ▶ etwas stabilere Umgebungen  $\rightarrow$  Lernen nimmt zu, genetische Anpassung ab
- ▶ Giles Maley (1996)
  - ▶ Kosten von Lernen
  - ▶ „Neighborhood“-Korrelation zwischen Genotyp und Phenotyp
  - ▶ Korrelation und Lernkosten sind notwendig für genetische Anpassung



# Baldwin Effekt - Modellierung

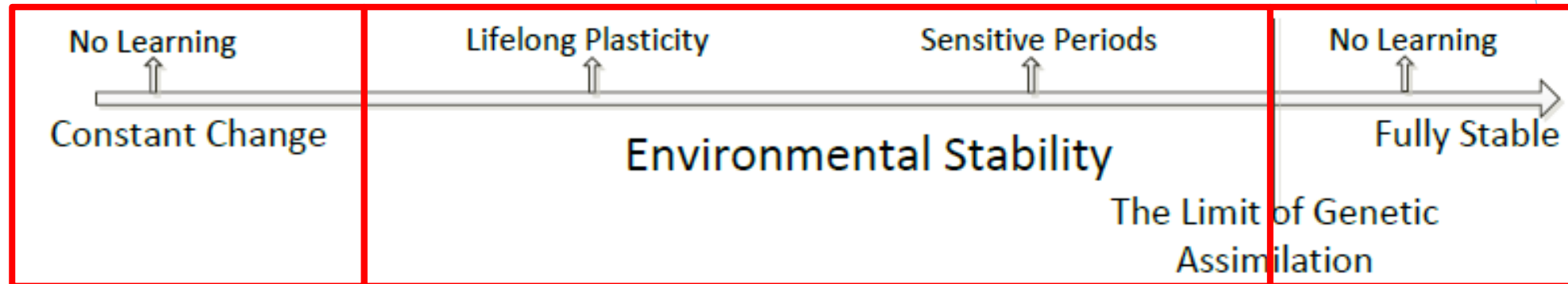
- ▶ Takahiro Sasaki und Mario Tokoro (1999)
  - ▶ verschiedene Raten von Vererbbarkeit von angelernten Charakteristika zwischen Populationen
  - ▶ Auswirkung von verschiedenen Veränderungsraten
  - ▶ relativ kleiner Grad von Dynamik in Umgebung → Baldwin Effekt
  - ▶ Umgebung mit mehr Dynamik → keine genetische Anpassung
  - Baldwin Effekt braucht gewissen Grad an Stabilität
- ▶ Ergebnisse von Ellefsen unterstützen diese Aussage

# Sensitive Phasen

- ▶ Abschnitt im Leben, in der Umwelteinflüsse eine bedeutende Rolle spielen
- ▶ David Hubel und Torsten Wiesel Katzenversuch (1970)
- ▶ John Bullinaria (2003):
  - ▶ Simulation über das menschliche blickmotorische System
  - ▶ „age-dependent neural plasticity“
- ▶ Senkung der Lernkosten, durch Reduzierung der Plastizitäts-Phasen
- ▶ Ellefsen vergleicht die genetische Anpassung unter sensitiven Phasen und unter lebenslanger Plastizität

# Ellefsens Hypothese

- ▶ Verknüpfung des Baldwin Effektes mit sensitiven Phasen und Kosten/Vorteil-Balance von Plastizität
- ▶ Regulierung von Kosten/Vorteil-Balance durch Umgebungsveränderungsrate

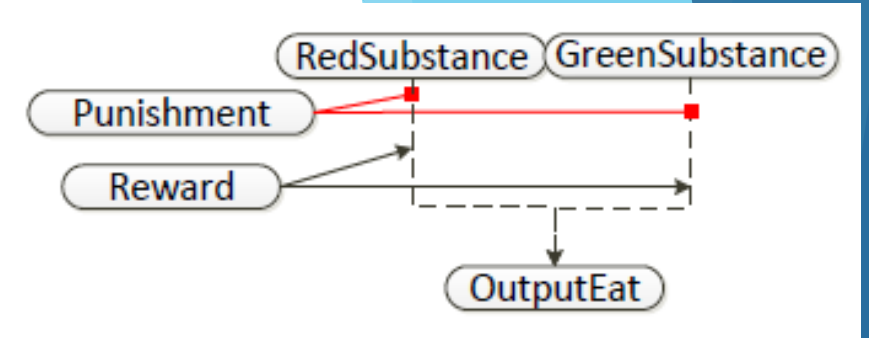


# Versuchsdurchführung - Die Umgebung

- ▶ Modifizierung von Peter Todd und Geoffrey Miller (1991)
  - ▶ einfache Unterwasser-Kreatur wird in eine Umgebung gesetzt
  - ▶ Substanzen zweier Farben schwimmen vorbei
  - ▶ Entscheidung der Kreatur, ob essen oder nicht (giftig oder nahrhaft)
  - ▶ Assoziation zwischen Farbe und Genießbarkeit
- ▶ zwei Erweiterungen durch Ellefsen:
  - ▶ Lernen ist mit Kosten verknüpft (Simulation der biologischen Kosten)
  - ▶ Umgebung ändert sich in bestimmten festgelegten Intervallen

# Versuchsdurchführung - Die Agenten

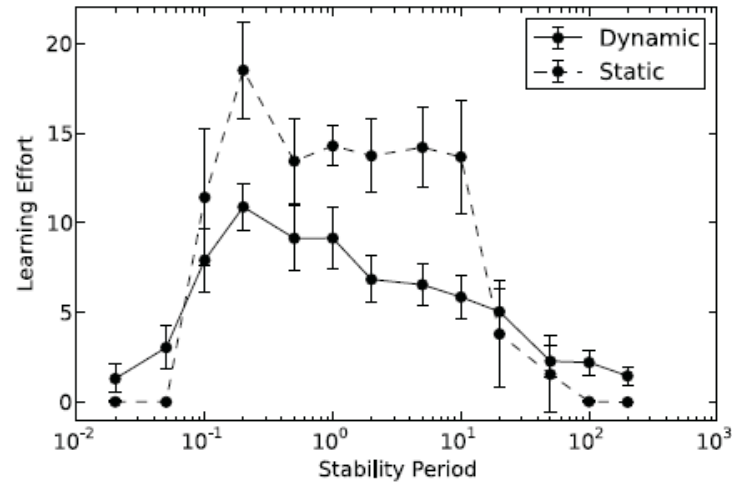
- ▶ künstliches neuronales Netz
- ▶ Evolutionsalgorithmus legt die initialen Verbindungsgewichte fest
- ▶ gestrichelte Linien haben evolutionsfähige Gewichte und Lernraten
- ▶ Bestrafung und Belohnung beeinflussen die Lernraten (Neuromodulatoren)
- ▶ Neuberechnung der Werte:  $\Delta w_{ij} = \eta * mod * |x_i x_j|$
- ▶ modulierender Wert *mod* entscheidet über Richtung des Updates



# Versuchsdurchführung - Plastizität

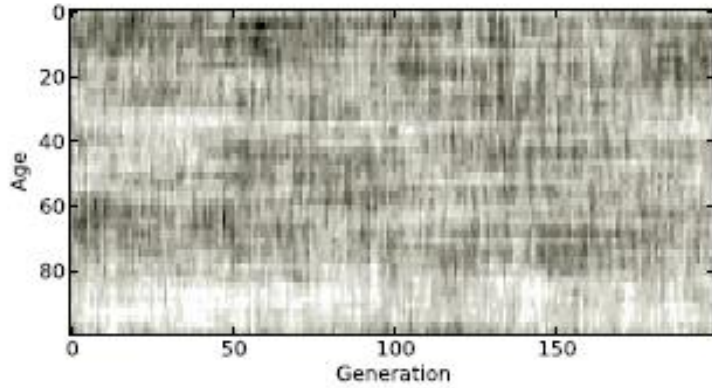
- ▶ zwei verschiedene Plastizitätstypen
- ▶ statische Plastizität
  - ▶ konstant über die ganze Lebensdauer eines Individuums
- ▶ dynamische Plastizität
  - ▶ kann sich alle zwei Zeitschritte ändern (Agent lebt 100 Zeitschritte)
  - ▶ für Darstellung werden die nächsten 7 Zeitschritte mit einbezogen
  - ▶ jedem Zeitschritt wird Wert zwischen -2 und 2 zugeordnet
  - ▶ Durchschnitt gibt Plastizitätswert für den Zeitschritt an

# Ergebnisse - Änderungsraten und Lernaufwand

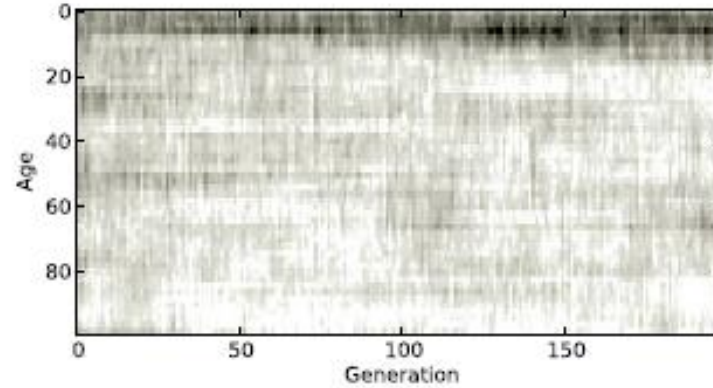


- ▶ Stabilitätsperiode wird in Generationen dargestellt
- ▶ für dynamische Plastizität sind die vier Strategien erkennbar
- ▶ „Goldilock“-Prinzip bestätigt sich
- ▶ Stabilitätswert zwischen 0,1 und 50 nötig
- ▶ 0,1 - 1: Plastizität über gesamte Lebensdauer
- ▶ 1: Wendepunkt, Individuen haben frühe sensitive Phase

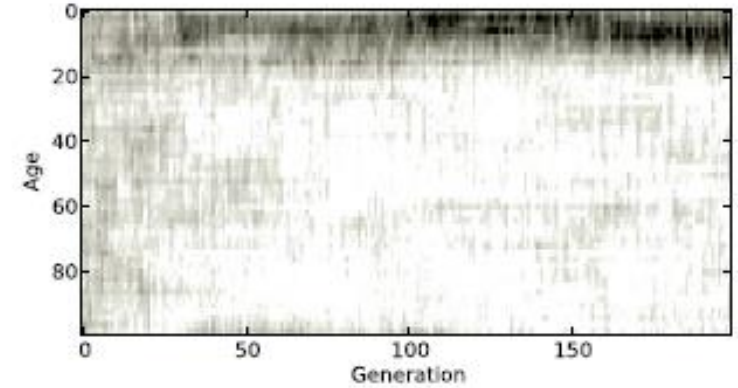
# Ergebnisse - Änderungsraten und Lernaufwand



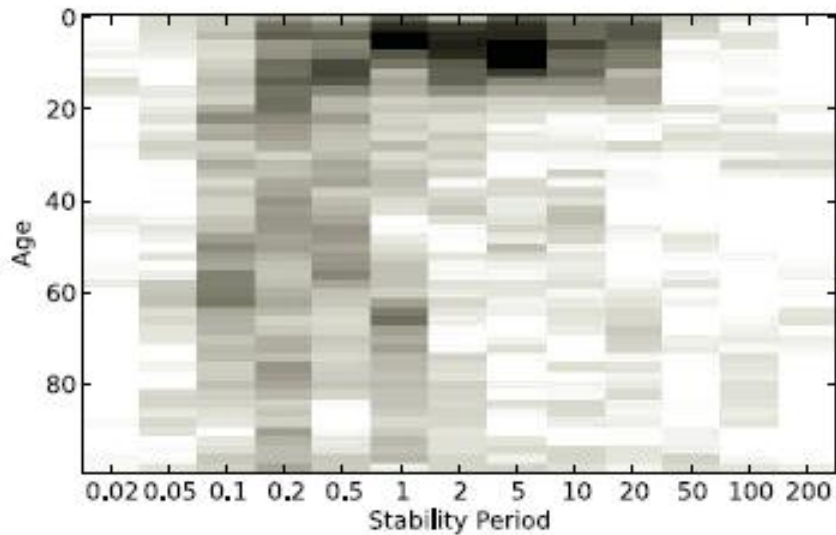
(a) 5 changes per generation



(b) 1 change per generations



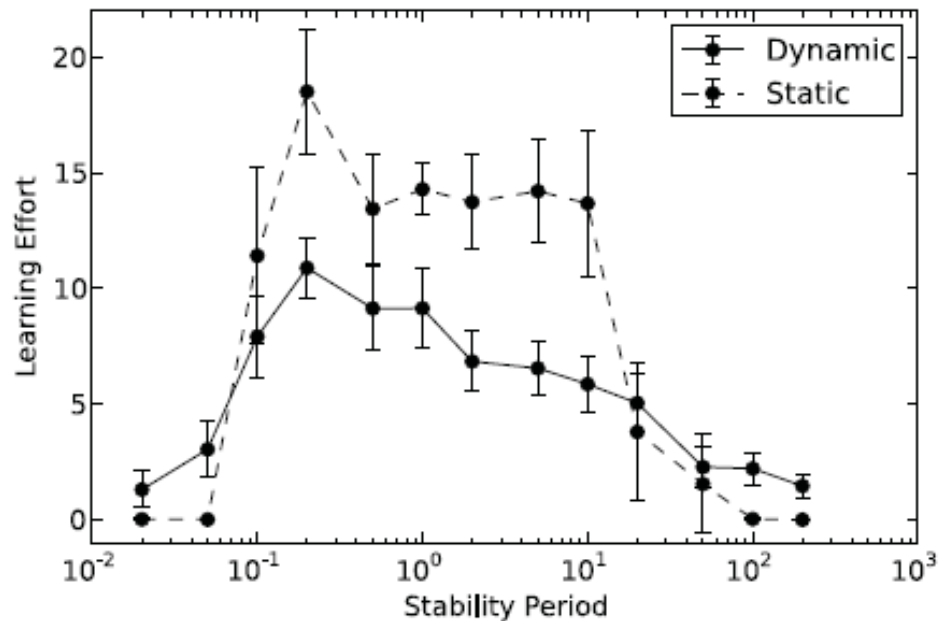
(c) Changes every fifth generation





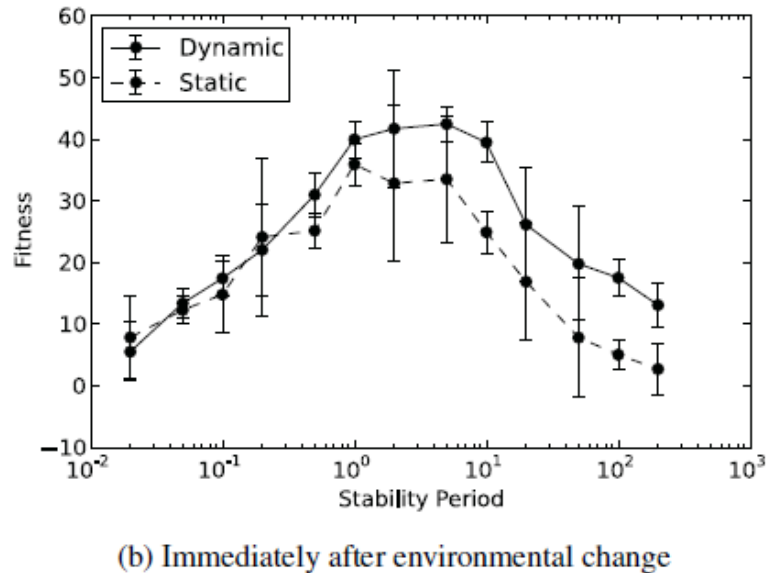
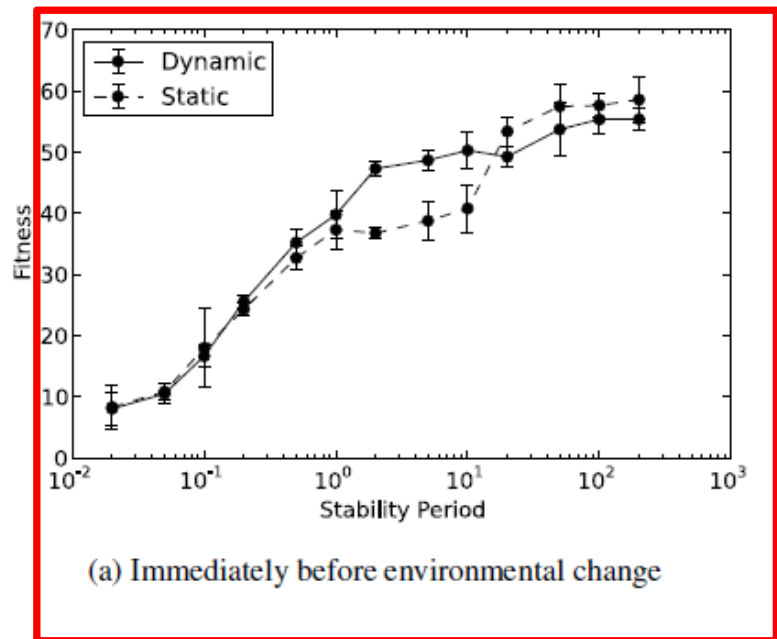
# Ergebnisse - Statisch oder Dynamisch?

- ▶ Hauptunterschied: Dynamische Lernen können Lernrate variieren, angepasst an Veränderungsrate
- ▶ statische Lerner haben „on/off“ Modus



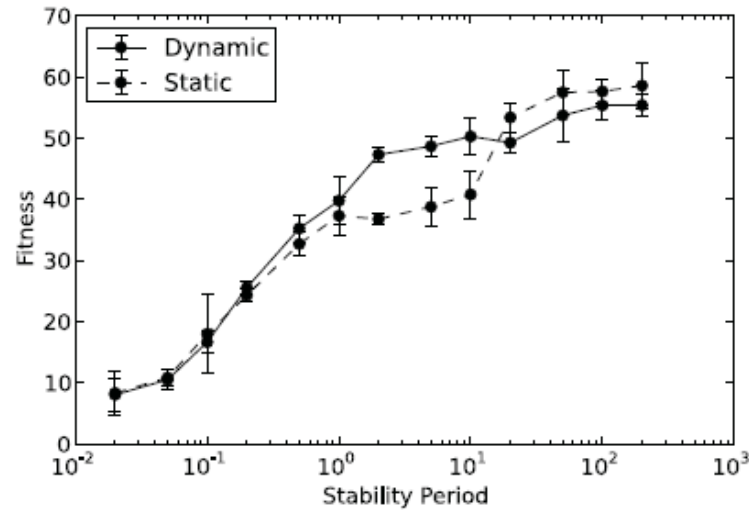
# Ergebnisse - Statisch oder Dynamisch?

- ▶ Fitness VOR Veränderung:
  - ▶ starke Fitnesszunahme bei dynamischem Lernen bis zu einer Stabilitätsperiode zwischen jeder Sekunde bis zu 10 Generationen
  - ▶ sensitive Phasen werden entwickelt
  - ▶ geringere Änderungsrate: genetische Anpassung

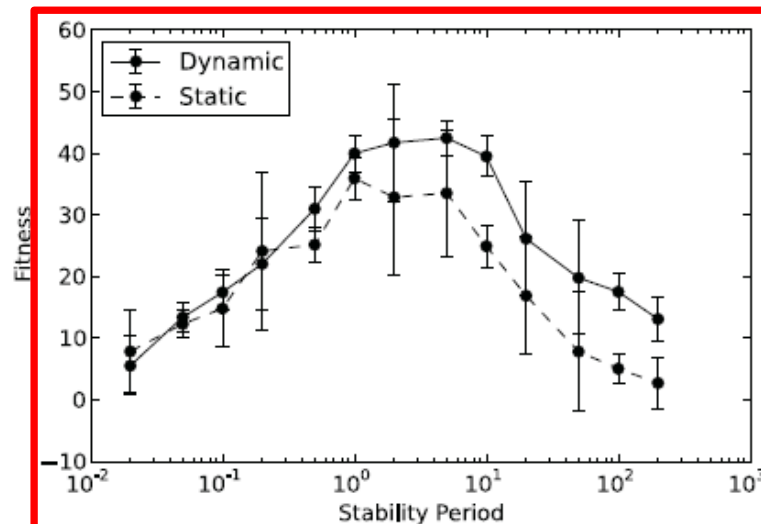


# Ergebnisse - Statisch oder Dynamisch?

- ▶ Fitness NACH Veränderung:
  - ▶ dynamische Lerner deutlich im Vorteil
  - ▶ statische Lerner verlassen sich zu viel auf genetische Anpassung
  - ▶ Error-Balken: bestes Individuum vor der Veränderung hinterher mit großen Fehlern



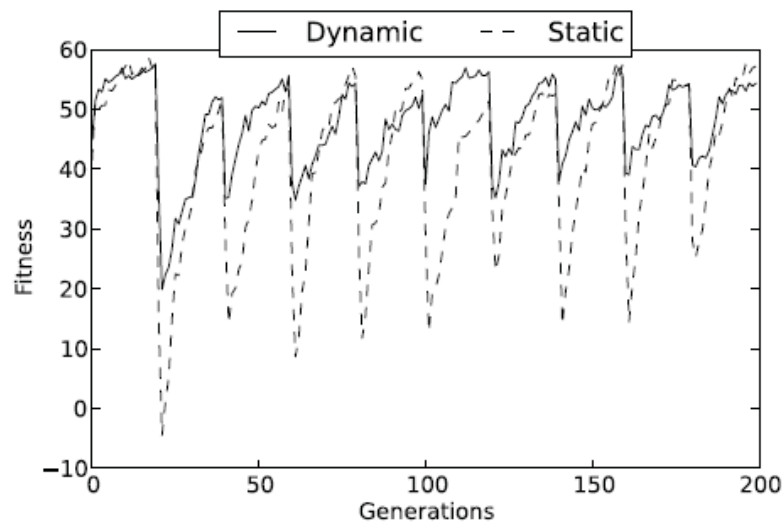
(a) Immediately before environmental change



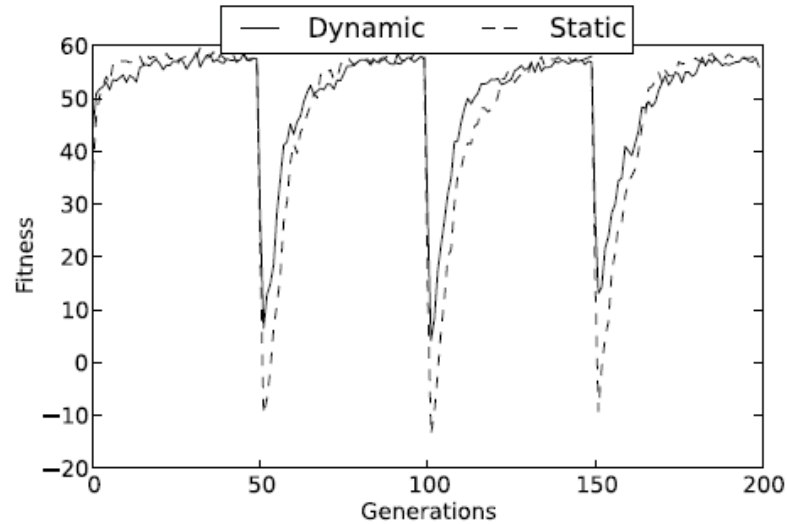
(b) Immediately after environmental change

# Ergebnisse - Statisch oder Dynamisch?

- ▶ keine Kosten für Lernen eingerechnet
- ▶ Menge von gegessenem Futter minus giftiges Futter
- ▶ statische Lebewesen haben deutlicheren Abfall → Verlass auf genetische Anpassung
- ▶ dynamische Lerner können sich schneller wieder anpassen



(a) Stability period of 20



(b) Stability period of 50

# Fazit

- ▶ vier Lernstrategien beobachtet
  - ▶ zu schnelle oder zu langsame Änderungen → kein Lernen, da Kosten die Vorteile übersteigen würden
  - ▶ lebenslange Plastizität bei hohen Änderungsraten
  - ▶ sensitive Phasen bei geringen Änderungsraten
- ▶ dynamische Individuen können Plastizität regulieren
  - ▶ weniger genetische Anpassung als bei statischen Individuen, wenn wenige Änderungen auftreten
  - ▶ sensitive Phasen können gleiche Vorteile erzeugen wie bei statischen Lebewesen, während geringere Kosten entstehen
- ▶ genetische Anpassung und sensitive Phasen senken beide Kosten
  - ▶ regulieren sich gegenseitig

# Referenzen

- ▶ Ellefsen, K. O. (2013). Balancing the costs and benefits of learning ability. *ECAL 2013: Proceedings of the 12<sup>th</sup> European Conference on the Synthesis and Simulation of Living Systems*, 292-299