

Heiko Hamann

# Schwarm- intelligenz

**Springer** Spektrum

# Inhaltsverzeichnis

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| <b>1</b>   | <b>Biologische Grundlagen</b>                    | <b>1</b>  |
| <b>1.1</b> | <b>Verhalten, Agenten, Multi-Agenten-Systeme</b> | <b>2</b>  |
| 1.1.1      | Verhalten  | 2         |
| 1.1.2      | Agent  | 3         |
| 1.1.3      | Multi-Agenten-System und Interaktion             | 5         |
| <b>1.2</b> | <b>Soziale Insekten</b>                          | <b>6</b>  |
| 1.2.1      | Ameisenstaaten                                   | 7         |
| 1.2.2      | Honigbienenvölker                                | 13        |
| 1.2.3      | Termitenstaaten                                  | 14        |
| 1.2.4      | Heuschreckenschwärme                             | 16        |
| 1.3        | <b>Schwarmintelligenz beim Menschen?</b>         | 19        |
| <b>1.4</b> | <b>Weiterlesen</b>                               | <b>21</b> |
| <br>       |  |           |
| <b>2</b>   | <b>Grundkonzepte</b>                             | <b>23</b> |
| <b>2.1</b> | <b>Schwärme und Schwarmverhalten</b>             | <b>24</b> |
| <b>2.2</b> | <b>Selbstorganisation und Feedback</b>           | <b>26</b> |
| 2.2.1      | Positives Feedback                               | 27        |
| 2.2.2      | Negatives Feedback                               | 29        |
| <b>2.3</b> | <b>Lokale Interaktion und Kommunikation</b>      | <b>30</b> |
| <b>2.4</b> | <b>Stigmergie</b>                                | <b>31</b> |
| <b>2.5</b> | <b>Skalierbarkeit und Schwarmleistung</b>        | <b>31</b> |
| 2.5.1      | Gruppenleistung bei Menschen                     | 34        |
| 2.5.2      | Gruppenleistung bei Tieren                       | 34        |
| 2.5.3      | Superlinearer Leistungsanstieg                   | 35        |
| 2.5.4      | Schwarmleistung                                  | 37        |
| <b>2.6</b> | <b>Weiterlesen</b>                               | <b>40</b> |
|            | <b>Aufgaben</b>                                  | <b>40</b> |
| <br>       |  |           |
| <b>3</b>   | <b>Szenarien</b>                                 | <b>45</b> |
| <b>3.1</b> | <b>Aggregation</b>                               | <b>46</b> |
| <b>3.2</b> | <b>Dispersion</b>                                | <b>48</b> |
| <b>3.3</b> | <b>Flocking</b>                                  | <b>50</b> |
| <b>3.4</b> | <b>Sortieren</b>                                 | <b>53</b> |
| <b>3.5</b> | <b>Futtersuche und Optimierung</b>               | <b>56</b> |
| 3.5.1      | Futtersuche                                      | 56        |
| 3.5.2      | Optimierung                                      | 58        |
| <b>3.6</b> | <b>Kollektiver Transport</b>                     | <b>62</b> |
| <b>3.7</b> | <b>Kollektives Bauen</b>                         | <b>63</b> |
| <b>3.8</b> | <b>Weiterlesen</b>                               | <b>65</b> |
|            | <b>Aufgaben</b>                                  | <b>65</b> |

|        |   |            |
|--------|---|------------|
| 4      | <b>Modelle</b>                                  | 69         |
| 4.1    | <b>Mikro und Makro</b>                          | <b>70</b>  |
| 4.2    | <b>Ratengleichungen</b>                         | <b>72</b>  |
| 4.3    | <b>Räumliche Modelle</b>                        | <b>76</b>  |
| 4.3.1  | Mikroskopisches Modell                          | 77         |
| 4.3.2  | Makroskopisches Modell                          | 80         |
| 4.4    | <b>Schwarmverhalten erkennen und erzeugen</b>   | <b>82</b>  |
| 4.4.1  | Schwarmverhalten erkennen                       | 83         |
| 4.4.2  | Schwarmverhalten erzeugen                       | 86         |
| 4.4.3  | Perspektiven zur Erzeugung von Schwarmverhalten | 90         |
| 4.5    | <b>Weiterlesen</b>                              | <b>91</b>  |
|        | <b>Aufgaben</b>                                 | <b>91</b>  |
| 5      | <b>Kollektives Entscheiden</b>                  | 93         |
| 5.1    | <b>Entscheiden</b>                              | 95         |
| 5.2    | <b>Entscheiden in der Gruppe</b>                | <b>97</b>  |
| 5.2.1  | Gruppenentscheidungen formalisieren             | 98         |
| 5.2.2  | Kollektive Bewegung als kollektives Entscheiden | 99         |
| 5.3    | <b>Modelle für kollektives Entscheiden</b>      | <b>101</b> |
| 5.3.1  | Urnenmodelle                                    | 102        |
| 5.3.2  | Wählermodell (engl, voter model)                | 110        |
| 5.3.3  | Mehrheitsregel (engl, majority rule)            | 111        |
| 5.3.4  | Modell nach Hegselmann und Krause               | 111        |
| 5.3.5  | Kuramoto-Modell                                 | 113        |
| 5.3.6  | Axelrod-Modell                                  | 115        |
| 5.3.7  | Ising-Modell                                    | 115        |
| 5.3.8  | Faserbündelmodell                               | 117        |
| 5.3.9  | Sznajd-Modell                                   | 118        |
| 5.3.10 | Bass-Diffusionsmodell                           | 119        |
| 5.3.11 | Soziophysik und Gegenspieler                    | 120        |
| 5.4    | <b>Implementierungen aus der Schwarmrobotik</b> | <b>123</b> |
| 5.4.1  | Entscheiden mit 100 Robotern                    | 123        |
| 5.4.2  | Kollektive Wahrnehmung als Entscheiden          | 125        |
| 5.4.3  | Aggregieren als implizites Entscheiden          | 127        |
| 5.5    | <b>Weiterlesen</b>                              | <b>128</b> |
|        | <b>Aufgaben</b>                                 | <b>130</b> |
|        | <b>Serviceteil</b>                              |            |
|        | Literatur                                       | 134        |
|        | Sachverzeichnis                                 | 145        |