

# Inhalt

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 Die Mystik Neuraler Netze</b>                                      | <b>1</b>  |
| 1.1 Wissenschaften und Modeströmungen                                   | 1         |
| 1.2 Ein "Neurales Netz"   | 2         |
| 1.3 Neurale Rechner – Neural Computing                                  | 4         |
| 1.4 Erwartungen an Neurale Netze  | 4         |
| 1.5 Einsatz Neuraler Netze  | 7         |
| 1.6 Beispiele   | 8         |
| 1.7 Charakterisierung Neuraler Netze                                    | 9         |
| 1.8 Praktische Anwendungen für Neurale Netze                            | 11        |
| 1.8.1 Greifen nach einem Objekt, ohne das Gleichgewicht<br>zu verlieren | 11        |
| 1.8.2 Wahrnehmung von Mustern und deren Vervollständigung               | 12        |
| 1.8.3 Inhaltsadressierter Speicherzugriff                               | 14        |
| <b>2 Aus den Anfängen Neuraler Netze</b>                                | <b>16</b> |
| 2.1 Im Anfang war die Kybernetik  | 16        |
| 2.1.1 Frühe Automaten – künstliche "Wesen"                              | 16        |
| 2.1.2 Biologie – Neurone  | 16        |
| 2.1.3 Psychologie – Konditionierung                                     | 18        |
| 2.1.4 Mathematik – Berechenbarkeit                                      | 18        |
| 2.1.5 Weitere grundlegende Ideen  | 19        |
| 2.2 Seit McCulloch & Pitts, 1943  | 19        |
| 2.3 Frühe Lernsysteme   | 23        |
| 2.3.1 Perceptrons   | 23        |
| 2.3.2 Adaline (Adaptive Linear Element)                                 | 29        |
| 2.3.3 Lernmatrix  | 31        |
| <b>3 Neurophysiologische Grundlagen</b>                                 | <b>35</b> |
| 3.1 Aufbau und Funktionsweise von Neuronen                              | 35        |
| 3.1.1 Die Grundbausteine:<br>Neurone, Synapsen – Kommunikation          | 36        |
| 3.1.2 Physiologie kleiner Neuronenverbände, Reflexe                     | 43        |
| 3.2 Das visuelle System   | 48        |
| 3.2.1 Der Aufbau des Auges  | 48        |
| 3.2.2 Rezeptive Felder  | 53        |
| 3.2.3 Die Sehbahn   | 55        |
| 3.2.4 Die Signalverarbeitung  | 56        |
| 3.2.5 Grundlagen der Gestaltwahrnehmung                                 | 59        |

|   |     |
|---|-----|
| <b>4 Künstliche Neurone</b>                       | 60  |
| 4.1 Was von der Biologie bleibt                   | 60  |
| 4.2 McCulloch&Pitts-Neurone                       | 60  |
| 4.3 Aufbau Neuraler Netze                         | 62  |
| 4.3.1 Units                                       | 63  |
| 4.3.2 Aktivierung einer Unit                      | 64  |
| 4.3.3 Outputfunktion                              | 64  |
| 4.3.4 Ausbreitungsregel                           | 66  |
| 4.3.5 Aktivierungsfunktion                        | 66  |
| 4.4 Unit-Typen                                    | 66  |
| 4.4.1 Einfache lineare Units                      | 66  |
| 4.4.2 Lineare Schwellwert-Units                   | 68  |
| 4.4.3 Brain State in a Box (BSB)                  | 69  |
| 4.4.4 Thermodynamische Units                      | 70  |
| 4.4.5 Grossberg-Units                             | 72  |
| 4.4.6 Interactive Activation Units (IAC)          | 73  |
| 4.4.7 Feldmann & Ballard-Units                    | 74  |
| 4.4.8 Sigma-Pi-Units                              | 74  |
| 4.4.9 Sigmoide Units                              | 75  |
| 4.4.10 Übersichtstabelle über Unit-Typen          | 75  |
| 4.5 Repräsentationsformen und Kodierungen         | 76  |
| 4.5.1 Lokale und verteilte Repräsentation         | 76  |
| 4.5.2 Kodierung                                   | 78  |
| 4.6 Hierarchie und Synchronität                   | 82  |
| 4.7 Lernen in Neuralen Netzen                     | 83  |
| <b>5 Lernen in Neuralen Netzen</b>                | 84  |
| 5.1 Übersicht über die wichtigsten Lernansätze    | 84  |
| 5.2 Hebb-Regel                                    | 86  |
| 5.3 Delta-Regel                                   | 87  |
| 5.4 Back Propagation                              | 87  |
| 5.4.1 Das Prinzip                                 | 87  |
| 5.4.2 Die Aufteilung des Fehlers auf Hidden-Units | 90  |
| 5.4.3 Beispiel zur Berechnung eines Fehlersignals | 92  |
| 5.4.4 Die verwendete Output-Funktion              | 93  |
| 5.4.5 Anwendungsbeispiele der Back Propagation    | 93  |
| 5.4.6 Wahl der Lernrate $\kappa$                  | 95  |
| 5.4.7 Gewichtsinitialisierungen                   | 96  |
| 5.4.8 Momentum-Term                               | 97  |
| 5.4.9 Variationen zur Rechenzeitverkürzung        | 97  |
| 5.5 Competitive Learning                          | 99  |
| 5.5.1 Der Competitive Learning-Mechanismus        | 100 |

|  |            |
|--|------------|
| 5.5.2 Eine geometrische Interpretation   | 101        |
| 5.5.3 Eigenschaften des Competitive Learning   | 103        |
| <b>5.6 Boltzmann-Maschinen</b>   | <b>104</b> |
| 5.6.1 Prinzipielle Funktionsweise der Boltzmann-Maschine                                 | 105        |
| 5.6.2 Minimierung der Energie- oder Kostenfunktion                                       | 106        |
| 5.6.3 Störungen zur Überwindung lokaler Minima   | 107        |
| 5.6.4 Lernalgorithmus der Boltzmann-Maschine   | 108        |
| <b>5.7 Lernen durch Verstärkung und Belohnung</b>  | <b>109</b> |
| 5.7.1 Grundlegende Version des Verstärkungslernens                                       | 109        |
| 5.7.2 Lernen mit verzögerter Verstärkung   | 110        |
| 5.7.3 Lernen durch Belohnung   | 111        |
| <b>5.8 Genetische Algorithmen</b>  | <b>112</b> |
| 5.8.1 Grundlegende Version des genetischen Lernens                                       | 112        |
| 5.8.2 Genetisches Lernen und die Belohnungsregel   | 113        |
| <b>5.9 Topologie-erhaltende Abbildungen und<br/>Lernende Vektorquantifizierung (LVQ)</b> | <b>114</b> |
| 5.9.1 Ordnungserhalt   | 114        |
| 5.9.2 Lokale Antworten aufgrund lateraler Interaktion                                    | 115        |
| 5.9.3 Topologie-erhaltende Abbildungen   | 117        |
| 5.9.4 Der Algorithmus in diskreten Zeitschritten   | 119        |
| 5.9.5 Beispiele einfacher Abbildungen  | 120        |
| 5.9.6 Anordnung der Gewichtsvektoren   | 125        |
| 5.9.7 LVQ – Lernende Vektor-Quantifizierung  | 127        |
| <b>6 Modelle</b>   | <b>130</b> |
| <b>6.1 NETtalk (Sejnowski &amp; Rosenberg, 1986)</b>                                     | <b>130</b> |
| 6.1.1 Aufbau von NETtalk   | 131        |
| 6.1.2 Repräsentation der Buchstaben und Phoneme  | 132        |
| 6.1.3 Lernalgorithmus  | 132        |
| 6.1.4 Ergebnisse   | 133        |
| <b>6.2 Hopfield-Netze</b>  | <b>134</b> |
| 6.2.1 Grundmodell  | 134        |
| 6.2.2 Analoge Implementierung  | 136        |
| 6.2.3 Anwendungsgebiete für Hopfield-Netze   | 137        |
| <b>6.3 Fukushimas Neocognitron</b>   | <b>141</b> |
| 6.3.1 Biologische Inspiration  | 141        |
| 6.3.2 Struktur des Netzes  | 143        |
| 6.3.3 Lernen im Neocognitron: Selbstorganisation   | 146        |
| 6.3.4 Funktionsweise   | 148        |
| <b>6.4 Adaptive Resonance Theory (ART)</b>   | <b>152</b> |
| 6.4.1 Aufbau und Funktion des Grundsystems   | 153        |
| 6.4.2 ART1 mit Aufmerksamkeitssteuerung  | 154        |
| 6.4.3 Lernen in ART1   | 155        |

|  |            |
|--|------------|
| 6.4.4 ART1 mit zusätzlicher Kontrolleinheit        | 156        |
| 6.4.5 Entdeckung von Neuem und Kategoriegrößen     | 157        |
| <b>6.5 Kohonens Spracherkennung</b>                | <b>159</b> |
| 6.5.1 Bio-Analogie                                 | 160        |
| 6.5.2 Automatische Spracherkennung                 | 161        |
| 6.5.3 Akustische Vorverarbeitung des Sprachsignals | 161        |
| 6.5.4 Der Algorithmus zur Spracherkennung          | 162        |
| 6.5.5 Phonem-Abbildungen                           | 164        |
| 6.5.6 Transiente Phoneme                           | 166        |
| 6.5.7 Kompensation der Koartikulationseffekte      | 166        |
| 6.5.8 Implementierung des Systems                  | 167        |
| <b>7 Simulationen</b>                              | <b>168</b> |
| 7.1 Hardware                                       | 171        |
| 7.2 Software                                       | 173        |
| 7.2.1 Herkömmliche Programmiersprachen             | 174        |
| 7.2.2 Pakete (Interaktive Simulationssysteme)      | 175        |
| 7.2.3 Spracherweiterungen und Sprachen             | 175        |
| <b>8 Nayantara</b>                                 | <b>177</b> |
| <b>Literaturverzeichnis</b>                        | <b>179</b> |
| <b>Namen- und Sachverzeichnis</b>                  | <b>183</b> |