

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Der Informationsbegriff – eine Einführung</b>	<b>1</b>
1.1	Motivation und Ziele	1
1.2	Informatik und Information	2
1.3	Informationstechnik und Information	3
1.4	Physik und Information	7
1.5	Philosophie und Information	10
1.5.1	Struktur der Information	10
1.5.2	Information über Information	13
1.5.3	Einordnung der Information	14
<b>2</b>	<b>Information – physikalisch und dynamisch begründet</b>	<b>17</b>
2.1	Objektivität der Information	17
2.2	Subjekt und Information	18
2.3	Informationsübertragung	19
2.3.1	Dynamik der Information	19
2.3.2	Quasistatische Information in der Computertechnik	20
2.3.3	Zeit und Raum	21
2.3.4	Energietransfer	22
2.4	Definition der dynamischen Information	22
2.4.1	Quantenmechanische Grenzen der Informationsübertragung	22
2.4.2	Die Unbestimmtheitsrelation	25
2.4.3	Phänomenologische Begründung der dynamischen Information	26
2.5	Darstellung von Quantenbits	29
2.5.1	Qubits – Beschreibung mit dem Formalismus der Quantenmechanik	29
2.5.2	Messung	31
2.5.3	HADAMARD-Transformation	34
2.5.4	Polarisation von Photonen	36
2.5.5	Systeme aus zwei Quantenbits	37
	Linearität	38

	Unabhängigkeit .....	38
2.5.6	Qbits – Beschreibung mit dem Formalismus der Automatentheorie .....	39
2.5.7	No-Cloning-Theorem .....	42
2.5.8	Quantencomputing .....	43
2.5.9	Physikalische Realisierungen von Quantenbits .....	45
	Polarisation eines Photons .....	45
	Anwesenheit eines Photons .....	45
	Zustand eines Elektrons in einem Atom oder Ion ..	46
	Spin eines Elektrons .....	47
2.6	Eigenschaften der dynamischen Information .....	47
2.6.1	Dynamische Information und Quantenbits .....	47
2.6.2	Übertragung 1 aus N .....	49
2.6.3	Signal und Information .....	51
2.6.4	Bewertung der Entropie durch die Transaktionszeit .....	52
2.6.5	Bewertung der Entropie durch die Energie .....	52
2.6.6	Objektivität von Energie und Information .....	54
	Beispiel: Innerer Photoeffekt .....	54
	Beispiel: Gasblase im grönländischen Eis .....	55
	Information eines Systems .....	55
2.6.7	Informationserhaltung .....	56
	Energieerhaltungssatz und Informationserhaltung .....	56
	Wahrscheinlichkeitsflussdichte in der Quantenmechanik .....	57
	Informationserhaltung als physikalischer Erhaltungssatz ...	59
2.6.8	Vernichtung und Erzeugung von Zuständen und Teilchen ...	60
	Variable Verhältnisse zwischen Information zu Energie? ...	60
2.6.9	Redundanz .....	62
	Beispiel: Das Pendel .....	63
	Beispiel: Speichern eines Quantenbits .....	64
<b>3</b>	<b>Vergleichende Betrachtung zum Informationsbegriff .....</b>	<b>67</b>
3.1	SHANNONSche Information .....	67
3.2	Definition von JAGLOM .....	68
3.3	Algorithmische Informationstheorie .....	68
3.4	Information und Wissen .....	70
3.5	Potenzielle und aktuelle Information .....	71
3.6	Syntaktische und semantische Information .....	72
3.7	Interpretationen durch CARL FRIEDRICH VON WEIZSÄCKER .....	72
3.8	Die Theorie der Uralternativen .....	74
3.9	Pragmatische Information .....	75
3.10	Transinformation .....	75
3.11	Information in den Wirtschaftswissenschaften .....	76
3.12	Relationale Informationstheorie .....	77
3.13	Weitere Definitionen .....	78
3.14	Was ist Information? .....	78

<b>4</b>	<b>Entropie und Information</b>	83
4.1	Entropie in der Informationstechnik – Grundlagen	83
4.1.1	Zum Begriff der Entropie	83
4.1.2	RENYI-Information	84
	HARTLEY-Entropie	84
	SHANNON-Entropie	84
	Korrelationsentropie	84
	Min-Entropie	85
4.1.3	Entropie eines Wahrscheinlichkeitsfeldes	85
4.1.4	Entropie eines Wahrscheinlichkeitsfeldes von Worten	88
4.1.5	Erweiterungen des Entropiebegriffes	88
	Differenzielle Entropie	88
	KULLBACK-LEIBLER-Entropie	88
	BONGARD-WEISS-Entropie	89
	KOLMOGORV-SINAI-Entropie	89
4.1.6	Anwendbarkeit der Entropie	90
4.1.7	Negentropie	91
4.2	Entropie in der Thermodynamik	92
4.2.1	Grundlagen der Thermodynamik	92
4.2.2	Entropie, Energie und Temperatur	93
4.2.3	Komponenten der Entropie: Energie und Volumen	96
4.3	Entropie in der Quantenmechanik	98
4.3.1	Entropie der Wellenfunktion	98
	Einteilchensystem	98
	Abschätzung	98
4.3.2	Dichtematrix und Entropie	100
	Wellenfunktion	100
	Dichtematrix	100
4.3.3	BRUKNER-ZEILINGER-Information	101
4.3.4	Information über einen Zustand	101
4.4	Computer und Thermodynamik	102
4.4.1	Übertragung bei Vorhandensein von thermischem Rauschen	102
4.4.2	Das LANDAUER-Prinzip	103
4.4.3	Reversibles Computing	104
4.4.4	Energieumsatz in Computern	105
4.5	Entropie-Flow in der Informationstechnik	108
4.5.1	Stationäre Information in der klassischen Mechanik	108
4.5.2	Bits und Quantenbits	109
	Dateneinheit	109
	Ja/Nein-Entscheidung	109
	Maßeinheit der thermodynamischen Entropie	109
	Spezialfall eines Quantenbits	109
4.5.3	Entropie-Flow	110

<b>5</b>	<b>Verträglichkeit des dynamischen Informationsbegriffes mit der Thermodynamik</b> .....	113
5.1	Klassische Mechanik .....	113
5.2	Elementare Informationsübertragung in thermodynamischen Systemen .....	113
5.3	Asynchroner Energie- und Entropie-Transfer .....	114
5.4	Adiabatische Prozesse – Skalierung .....	114
5.4.1	Klassisches ideales Gas .....	114
5.4.2	Quantensysteme .....	116
5.4.3	Der Fluss von dynamischer Information bei adiabatischen Prozessen .....	118
5.4.4	Parallelisierung von Datenströmen .....	120
	Photonen .....	121
	Elektronen .....	124
5.4.5	Serialisierung von Datenströmen .....	125
5.5	Isotherme Prozesse – Phasenumwandlung in Festkörpern .....	126
5.6	Temperaturabhängigkeit der Entropie .....	128
5.6.1	Entropie-Erhöhung in einem BOLTZMANN-Gas .....	128
5.6.2	Entropie-Flow in Abhängigkeit von der Temperatur .....	131
5.7	Rauschen .....	133
5.7.1	Rauschen als Störgröße .....	133
5.7.2	Rauschen und Information .....	133
5.7.3	Rauschquellen .....	134
5.7.4	Quantenmechanisches Rauschen .....	135
<b>6</b>	<b>Irreversible Prozesse und Strukturbildung</b> .....	137
6.1	Irreversible Prozesse .....	137
6.1.1	Irreversibilität .....	137
6.1.2	Irreversibilität und Objektivität .....	138
	Relativität von Ordnung .....	138
	Der Lauf der Zeit .....	140
	Der MAXWELLSche Dämon .....	141
6.1.3	Dissipation .....	142
	Abgeschlossene Systeme .....	142
	Mischungsentropie .....	145
	Offene Systeme .....	147
6.1.4	Informationserhaltung und Irreversibilität .....	149
6.2	Strukturbildung .....	150
6.2.1	Chaos-Theorie – Interpretation von Information .....	150
	Abgeschlossene Systeme .....	151
	Offene Systeme .....	151
6.2.2	Strukturbildung und Entropie .....	152

<b>7</b>	<b>Astronomie und Kosmologie</b> .....	155
7.1	Relativistische Effekte .....	155
7.2	Lichtkegel .....	157
7.3	Ereignishorizont .....	158
7.4	Entropie Schwarzer Löcher .....	158
	Das Informationsparadoxon .....	159
	Das holographische Universum .....	162
7.5	Das Weltall und seine Entwicklung .....	163
	Expansion des Weltalls .....	164
	Strukturbildung im Weltall .....	164
	Kosmologische Inflation .....	165
<b>8</b>	<b>Resümee</b> .....	167
	Literatur .....	169
	<b>Sachwortverzeichnis</b> .....	173