

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort . . . . .	VII
Verzeichnis der wichtigsten Formelzeichen und Definitionen . . . . .	XIII
Einleitung . . . . .	1
<b>1 Charakterisierung von Lebensmitteln</b>	
1.1 Lebensmittel als Mehrstoffsysteme . . . . .	4
1.2 Innere Faktoren von Lebensmittelsystemen und Strukturmerkmale der Lebensmittelinhaltsstoffe . . . . .	6
1.3 Äußere Parameter von Lebensmittelsystemen – das Reaktionsmilieu	7
1.3.1 Konzentrationen und Formelmenge von Lebensmittelinhaltsstoffen	8
1.3.2 Wasseraktivität . . . . .	8
1.3.3 Ionenstärke . . . . .	17
1.3.4 Wasserstoffionenkonzentration . . . . .	19
1.3.5 Redoxpotential . . . . .	20
1.3.6 Temperatur . . . . .	22
1.3.7 Druck . . . . .	23
1.3.8 Energieformen . . . . .	23
1.3.9 Wirkungen verschiedener Parameter des Reaktionsmilieus . . . . .	24
<b>2 Zustandsgrößen und Zustandsänderungen von Lebensmitteln</b>	
2.1 Zustandsgrößen, Zustandsfunktionen und Zustandsvariable . . . . .	25
2.1.1 Extensive Zustandsgrößen . . . . .	26
2.1.2 Intensive Zustandsgrößen . . . . .	26
2.1.3 Wärmeenergie . . . . .	27
2.1.4 Innere Energie . . . . .	28
2.1.5 Enthalpie . . . . .	29
2.1.6 Entropie . . . . .	30
2.1.7 Freie Enthalpie und Freie Energie . . . . .	32
2.1.8 Chemisches Potential . . . . .	32
2.2 Zustandsänderungen . . . . .	33

<b>3</b>	<b>Energetische und reaktionskinetische Merkmale von Lebensmittelveränderungen</b>	
3.1	Energetische Bilanz chemischer und biochemischer Lebensmittelveränderungen . . . . .	36
3.2	Reaktionskinetische Merkmale von Lebensmittelveränderungen . . . . .	39
<b>4</b>	<b>Zeitgesetze . . . . .</b>	43
4.1	Einfache Zeitgesetze . . . . .	45
4.1.1	Reaktionen erster Ordnung . . . . .	45
4.1.1.1	Abbau von Vitaminen . . . . .	48
4.1.1.2	Abbau von Farbstoffen . . . . .	52
4.1.1.3	Bildung brauner Farbpigmente . . . . .	55
4.1.1.4	Bildung und Abbau von Aromastoffen . . . . .	56
4.1.1.5	Abbau und Texturveränderungen strukturgebender Lebensmittelinhaltstoffe . . . . .	58
4.1.1.6	Enzymatisch und mikrobiologisch verursachte Lebensmittelveränderungen . . . . .	60
4.1.2	Reaktionen zweiter Ordnung . . . . .	63
4.1.2.1	Abbau von Vitaminen . . . . .	66
4.1.2.2	Abbau von natürlichen Farbstoffen . . . . .	67
4.1.2.3	Hydrolyse von Saccharose . . . . .	67
4.1.2.4	Enzymatische Lebensmittelveränderungen und deren irreversible Hemmung . . . . .	67
4.1.3	Reaktionen 0. Ordnung . . . . .	68
4.1.4	Reaktionen mit Pseudo-Ordnung . . . . .	70
4.1.5	Allgemeine Form der Zeitgesetze . . . . .	70
4.1.6	Reaktionsgeschwindigkeit als Funktion relativer Konzentrationen	71
4.2	Zeitparameter und Prozeßzeiten . . . . .	75
4.2.1	Zeiten für den 10%igen Umsatz (H-Wert) . . . . .	75
4.2.2	Zeiten für den 50%igen Umsatz (Halbwertszeit $\tau$ ) . . . . .	77
4.2.3	Zeiten für den 90%igen Umsatz (D-Wert) . . . . .	77
4.2.4	Beziehungen zwischen Prozeßzeiten und Geschwindigkeitskonstanten . . . . .	80
4.2.5	Zeitparameter für erwünschte und unerwünschte Lebensmittelveränderungen . . . . .	81
4.3	Komplexe Zeitgesetze – komplizierte Reaktionen . . . . .	83
4.3.1	Reversible Reaktionen . . . . .	84
4.3.2	Parallelreaktionen . . . . .	87
4.3.3	Folgereaktionen . . . . .	88
4.3.4	Folgereaktionen mit Gleichgewichtsteilreaktionen . . . . .	91
4.3.5	Folgereaktionen mit reversiblen und konkurrierenden Teilreaktionen . . . . .	93
4.3.6	Kettenreaktionen . . . . .	94
4.3.6.1	Startreaktionen . . . . .	95

4.3.6.2	Ketten-Folgereaktionen . . . . .	96
4.3.6.3	Abbruchreaktionen . . . . .	97
4.3.6.4	Verknüpfung der Start-, Folge- und Abbruchreaktionen . . . . .	97

## **5 Abhängigkeit der Stoffwandlung in Lebensmitteln von der Temperatur und von anderen Faktoren des Reaktionsmilieus**

5.1	Bedeutung der Temperatur für die Stoffwandlung in Lebensmitteln . . . . .	99
5.2	Grundlagen zur Charakterisierung der Temperaturabhängigkeit von Stoffwandelungen . . . . .	101
5.2.1	Die Arrhenius-Gleichung . . . . .	102
5.2.2	Umformungen der Arrhenius-Gleichung . . . . .	109
5.2.3	Das „vereinfachte“ Arrhenius-Diagramm, der z-Wert . . . . .	114
5.2.4	Der $Q_{\Delta T}$ -Wert . . . . .	123
5.2.5	Das Bělehrádek-Modell . . . . .	127
5.3	Temperaturabhängigkeit qualitätsbestimmender Lebensmittelveränderungen . . . . .	128
5.3.1	Chemische Reaktionen . . . . .	129
5.3.2	Wachstum und Abtötung von Mikroorganismen . . . . .	131
5.3.3	Enzymaktivität und Enzyminaktivierung . . . . .	146
5.3.4	Haltbarkeit von Lebensmitteln . . . . .	150
5.4	Kinetische Kennwerte für die Abhängigkeit der in Lebensmitteln ablaufenden Reaktionen von anderen Einflußfaktoren . . . . .	155

## **6 Qualitäts- und Prozeßberechnung**

6.1	Einführung . . . . .	159
6.2	Voraussetzungen zur Durchführung der Qualitäts- und Prozeßberechnung . . . . .	161
6.2.1	Festlegung der qualitäts- und prozeßbestimmenden Merkmale als Zielgrößen der Berechnung . . . . .	161
6.2.2	Festlegung bzw. Ermittlung der entscheidenden Einflußfaktoren . . . . .	162
6.2.3	Kenntnis des zeitlichen Verlaufs der Einflußfaktoren im Lebensmittel in der jeweiligen Verfahrensstufe . . . . .	169
6.2.4	Kenntnis der reaktionskinetischen Parameter für die Abhängigkeit der Qualitätsmerkmale von den Einflußfaktoren . . . . .	169
6.3	Methoden der Qualitäts- und Prozeßberechnung . . . . .	169
6.3.1	Die direkte Methode der Prozeßberechnung . . . . .	170
6.3.2	Die indirekte Methode der Prozeßberechnung . . . . .	173
6.3.3	Die mathematische Methode der Prozeßberechnung . . . . .	178
6.4	Beziehungen des $S_{T_b}$ -Wertes zu anderen Größen der Prozeßberechnung . . . . .	179
6.4.1	Der Sterilisierwert $F$ . . . . .	181
6.4.2	Der Kochwert $C$ . . . . .	183
6.4.3	Die Enzyminaktivierung $E$ . . . . .	184

6.4.4	Der Pasteurisierwert $P$ . . . . .	185
6.5	Beziehungen des $Q_{\Delta T}$ -Wertes zu anderen Größen der Prozeßberechnung . . . . .	186
6.6	Qualitäts- und Prozeßberechnung bei mehreren Einflußfaktoren .	190
<b>7</b>	<b>Ermittlung reaktionskinetischer Daten</b>	
7.1	Methoden der Meßwerterfassung und -auswertung . . . . .	191
7.1.1	Quantitative Bestimmung einzelner Komponenten in Lebensmittelsystemen . . . . .	193
7.1.2	Quantitative Bestimmung der Lebensmittelveränderungen am Gesamtsystem . . . . .	196
7.1.3	Sensorische Analysen . . . . .	198
7.1.3.1	Begriffsbestimmungen . . . . .	199
7.1.3.2	Bewertungsskalen . . . . .	200
7.1.3.3	Zusammenhang zwischen der Empfindungsgröße und der Konzentration eines Aromastoffes . . . . .	203
7.1.3.4	Anwendung der Subjektiven Gustometrie und Olfaktometrie zur Berechnung sensorischer Veränderungen sowie zur Bestimmung reaktionskinetischer und physikochemischer Daten	207
7.2	Ermittlung der Reaktionsgeschwindigkeitskonstanten und der Reaktionsordnung . . . . .	212
7.2.1	Numerische Verfahren . . . . .	213
7.2.2	Grafische Verfahren . . . . .	217
7.2.3	Auswertung nichtlinearer Konzentrations-Zeitfunktionen . . . . .	218
7.2.3.1	Biphärische Reaktionsabläufe . . . . .	219
7.2.3.2	Die Sättigungskurve . . . . .	221
7.2.3.3	Der sigmoide Kurvenverlauf . . . . .	222
7.3	Aussagen zum Reaktionsmechanismus . . . . .	223
7.4	Grenzen der Aussagefähigkeit kinetischer Analysen . . . . .	225
<b>8</b>	<b>Ausblick</b> . . . . .	226
	<b>Kontrollaufgaben</b> . . . . .	229
	<b>Lösungen der Kontrollrechenaufgaben</b> . . . . .	238
	<b>Anhang</b> . . . . .	248
	<b>Literaturverzeichnis</b> . . . . .	258
	<b>Quellenverzeichnis</b> . . . . .	272
	<b>Sachverzeichnis</b> . . . . .	274