

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	v
---------------	---

A Naturstoff Milch

1 Bedeutung der Milch	1
2 Zusammensetzung – Milchbestandteile	3
2.1 Milchhaltsstoffe	3
2.2 Struktureinheiten	10
3 Identifizierung und Nachweis der Milchhaltsstoffe	17
3.1 Übersicht	17
3.2 Trennverfahren	20
3.2.1 Chromatographie	20
3.2.1.1 Chromatographiearten – Bezeichnungen	20
3.2.1.2 Prinzip der HPLC und CGC	25
3.2.1.3 Trennsysteme der HPLC und GC	26
3.2.1.4 Das Chromatogramm	27
3.2.2 Elektrophorese	29
3.2.2.1 Definition und Übersicht	29
3.2.2.2 Elektrophoresearten	30
3.2.2.3 Nachweis der getrennten Komponenten – Visualisierung	31
3.2.2.4 Kapillar-Elektrophorese	33
3.3 Identifizierungsmöglichkeiten – spektroskopische Verfahren	33
3.3.1 Grundlagen	33
3.3.2 UV-VIS-Spektroskopie	38
3.3.3 Infrarot-Absorptions-Spektroskopie	39
3.3.4 Weitere spektroskopische Verfahren	43
3.3.5 Massenspektroskopie	45
3.3.6 Sensoren – Biosensoren	47
3.4 Chemisch-physikalische Qualitätskontrolle	49
4 Wasser	53
4.1 Einführung	53
4.2 Eigenschaften des Wassers	54
4.2.1 Grundlagen zur chemischen Bindung des Wassers	54
4.2.2 Das Wassermolekül	55
4.2.3 Intermolekulare Wechselwirkungen – Wasserstoffbrückenbindung	57
4.2.4 Struktur des Wassers – physikalische Eigenschaften	59
4.3 Wechselwirkungen zwischen Wasser und Milchhaltsstoffen	61
4.3.1 Beziehung zwischen Wasser und Milchhaltsstoffen	61
4.3.2 Freies Wasser – gebundenes Wasser	66
4.4 Wasseraktivität – Sorptionsisotherme	67

4.5	Einfluss der Wasseraktivität auf die Reaktionen in der Milch	71
4.6	Autoprotolyse des Wassers – pH-Wert	72
4.7	Säure-Base-Reaktion	75
4.8	Protonenbewegung	78
4.9	Wasserbestimmungsmethoden	79
5	Lactose	83
5.1	Bedeutung der Lactose	83
5.2	Kohlenhydrate	84
5.2.1	Übersicht – Grundlagen	84
5.2.2	Kohlenhydrate in Milch und Milchprodukten	88
5.3	Aufbau und Struktur der Lactose	90
5.4	Lactosearten	91
5.5	Eigenschaften der Lactose	94
5.5.1	Überblick	94
5.5.2	Hydrolyse	95
5.5.3	Oxidation und Reduktion	99
5.5.4	Dehydratisierung, Pyrolyse, Isomerisierung	100
5.5.5	Maillard-Reaktion	101
5.6	Lactosederivate	103
5.7	Physikalische Eigenschaften	105
5.7.1	Übersicht	105
5.7.2	Mutarotation	108
5.7.3	Löslichkeit	110
5.7.4	Kristallisation	112
5.8	Sorptionsverhalten	118
5.9	Fermentation der Lactose	119
5.10	Lactose in Milchprodukten	121
5.11	Lactosebestimmungsmethoden	122
6	Lipide – Milchfett	127
6.1	Definition und Bedeutung	127
6.2	Einteilung der Milchlipide	128
6.3	Bestandteile der Acylglyceride	130
6.3.1	Glycerol	130
6.3.2	Monocarbonsäuren – Fettsäuren	131
6.3.2.1	Nomenklatur und Einteilung	131
6.3.2.2	Eigenschaften der gesättigten Fettsäuren	134
6.3.2.3	Eigenschaften der ungesättigten Fettsäuren	136
6.3.3	Fettsäuren des Milchfettes	138
6.4	Acylglyceride – Neutralfett	144
6.4.1	Struktur und Bezeichnung	144
6.4.2	Physikalische Eigenschaften der Acylglyceride	148
6.4.2.1	Übersicht	148
6.4.2.2	Schmelzverhalten	150
6.4.2.3	Kristallisation	152
6.4.2.4	Schmelz- und Kristallisationsverhalten unter technologischen Gesichtspunkten	155
6.5	Fettähnliche Stoffe – Lipoide	160
6.5.1	Nomenklatur und Einteilung	160

6.5.2	Phospholipide	160
6.5.3	Glykolipide	163
6.6	Isoprenoidlipide	164
6.6.1	Definition und Übersicht	164
6.6.2	Steroide	165
6.6.3	Carotinoide	167
6.7	Fettbegleitstoffe	168
6.7.1	Übersicht	168
6.7.2	Freie Fettsäuren	168
6.7.3	Lipoproteine	168
6.8	Milchfett – emulgiertes Fett	170
6.8.1	Zustandsformen des Milchfettes	170
6.8.2	Milchfettkugelchenmembran (MFGM)	171
6.8.2.1	Zusammensetzung	171
6.8.2.2	Fettkugelchenhüllproteine und Fettkugelchenhülllipide	173
6.8.2.3	Struktur der Fettkugelchenmembran	174
6.8.3	Lipolyse – Hydrolyse	176
6.8.4	Oxidation – Autoxidation	178
6.8.4.1	Übersicht	178
6.8.4.2	Autoxidation	180
6.8.4.3	Prooxidanten	184
6.8.4.4	Antioxidanten	185
6.8.4.5	Spontane Autoxidation	186
6.8.4.6	Bearbeitungs- und Verarbeitungseinflüsse auf die Autoxidation	187
6.8.4.7	Nachweisverfahren	188
6.9	Fettbestimmungsmethoden	189
7	Proteine	193
7.1	Bedeutung	193
7.2	Definition und Systematik	194
7.3	Das native Proteinmolekül	196
7.3.1	Bausteine der Proteine – α-Aminosäuren	196
7.3.1.1	Nomenklatur und Klassifizierung	196
7.3.1.2	Eigenschaften	199
7.3.1.3	Reaktionen	204
7.3.2	Peptide	207
7.3.3	Proteine – Strukturen	209
7.3.3.1	Überblick	209
7.3.3.2	Primärstruktur	210
7.3.3.3	Sekundärstruktur	213
7.3.3.4	Tertiärstruktur	215
7.3.3.5	Quartärstruktur	216
7.4	Milchproteine – Milcheiweiß	217
7.4.1	Nomenklatur und Einteilung	217
7.4.2	Zusammensetzung	224
7.4.3	Allgemeine Eigenschaften	226
7.4.3.1	Überblick	226
7.4.3.2	Elektrische Ladung – isoelektrischer Punkt	227
7.4.3.3	Denaturierung	230
7.4.3.4	Einfluss der Salzkonzentration	232
7.4.3.5	Hydrolyse – Proteolyse	234

7.4.3.6	Chemische Reaktionen	236
7.4.4	Isolierung und Identifizierung der Milchproteinfraktionen	240
7.4.5	Caseine	241
7.4.5.1	Überblick	241
7.4.5.2	α_{S1} -Casein	243
7.4.5.3	α_{S2} -Casein	244
7.4.5.4	β -Casein	244
7.4.5.5	κ -Casein	246
7.4.5.6	Genetischer Polymorphismus und seine technologischen Auswirkungen	247
7.4.5.7	Sekundär- und Tertiärstruktur der Caseine	249
7.4.5.8	Caseinassoziation	250
7.4.6	Caseinmicelle	252
7.4.6.1	Überblick – Eigenschaften	252
7.4.6.2	Micellbildung	253
7.4.6.3	Micellstruktur	254
7.4.6.4	Stabilität und technologisch wichtige Eigenschaften der Caseinmicellen	256
7.4.6.5	Caseine von Ziegen- und Schafmilch	260
7.4.7	Molkenproteine	261
7.4.7.1	Überblick	261
7.4.7.2	β -Lactoglobulin	263
7.4.7.3	α -Lactalbumin	264
7.4.7.4	Blutserumalbumin	265
7.4.7.5	Immunoglobuline	265
7.4.7.6	Lactoferrin	268
7.4.7.7	Glykomakropeptid	270
7.5	Bioaktive Peptidsequenzen in Milchproteinen	271
7.6	Funktionelle Eigenschaften der Milchproteine	273
7.7	Proteinbestimmungsmethoden	275
8	Enzyme	281
8.1	Bedeutung und Definition	281
8.2	Nomenklatur und Einteilung	282
8.3	Enzymkomponenten	285
8.4	Enzymatische Katalyse	287
8.5	Spezifische Wirkung	288
8.6	Zur Theorie der enzymatischen Katalyse	289
8.7	Messgrößen der Enzymaktivität	290
8.8	Einflussfaktoren auf die Enzymaktivität	291
8.8.1	Überblick	291
8.8.2	Enzymkonzentration	292
8.8.3	Substratkonzentration – MICHAELIS-Konstante	292
8.8.4	Effektoren – Inhibitoren	294
8.8.5	Temperatur	295
8.8.6	pH-Wert	296
8.8.7	Weitere Einflussfaktoren	297
8.8.8	Inaktivierung	298
8.9	Enzymatische Analyse	299
8.9.1	Anwendungsmöglichkeiten	299
8.9.2	Enzymatische Bestimmung von Milchinhaltstoffen	300
8.9.3	Enzymimmunoassay	302
8.9.4	Enzymaktivitätsbestimmung	304

8.10	Enzyme der Milch	305
8.10.1	Übersicht und Einteilung	305
8.10.2	Enzyme, die Qualitätsmerkmale bewirken	307
8.10.2.1	Übersicht	307
8.10.2.2	Lipasen	307
8.10.2.3	Proteasen – Plasmin	310
8.10.2.4	Carbohydrasen	311
8.10.2.5	Xanthinoxidase	312
8.10.2.6	Superoxid-Dismutase	313
8.10.2.7	Sulphydryloxidase	313
8.10.3	Enzyme mit Indikatorfunktion	313
8.10.3.1	Katalase	313
8.10.3.2	Phosphatasen	314
8.10.3.3	Lactoperoxidase (LPO)	315
8.10.3.4	γ -Glutamyltranspeptidase	316
8.10.3.5	N-Acetyl- β -D-glucosaminidase	317
9	Milchsalze	319
9.1	Definition und Einteilung	319
9.2	Beziehung Milchsalze – Milchasche	320
9.3	Salzgleichgewicht der Milch	321
9.4	Beeinflussung des Salzgleichgewichts	324
9.5	Mengenelemente	326
9.5.1	Bedeutung	326
9.5.2	Calcium	326
9.5.3	Phosphor	327
9.5.4	Citrat	328
9.5.5	Analytische Methoden zur Bestimmung der Mengenelemente	329
9.6	Spurenelemente	330
9.6.1	Übersicht	330
9.6.2	Kupfer	331
9.6.3	Eisen	332
9.6.4	Zink	332
9.6.5	Selen	333
9.6.6	Bestimmungsmethoden für die Spurenelemente	333
10	Vitamine	335
10.1	Definition und Einteilung	335
10.2	Einflussfaktoren auf den Vitamingehalt der Milch	337
10.3	Vitaminisierung – Vitamine als Zusatzstoffe	338
10.4	Fettlösliche Vitamine	339
10.4.1	Vitamin A (Retinol)	339
10.4.2	Vitamin D (Cholecalciferol)	340
10.4.3	Vitamin E (Tocopherol) und Vitamin K	340
10.5	Wasserlösliche Vitamine	341
10.5.1	Vitamin B ₁ (Thiamin)	341
10.5.2	Vitamin B ₂ (Riboflavin)	342
10.5.3	Vitamin C (Ascorbinsäure)	343
10.5.4	Weitere wasserlösliche Vitamine	344
10.5.5	Vitaminbestimmung in Milch und Milchprodukten	345

Inhaltsverzeichnis

11	Minorbestandteile der Milch	347
11.1	Überblick	347
11.2	Nicht-Protein-Stickstoffverbindungen NPN	347
11.3	Nucleotide	350
11.4	Hormone	353
12	Schutzstoffe – antibakterielle Milchbestandteile	357
12.1	Übersicht	357
12.2	Lysozym	359
12.3	Lactoperoxidase-System	359
12.4	Vitaminbindende Proteine	361
13	Milch als polydisperse System	363
13.1	Definition und Systematik	363
13.2	Grenzflächenerscheinungen	366
13.2.1	Bedeutung	366
13.2.2	Grenzflächenspannung	367
13.2.3	Oberflächenfilme	368
13.3	Stabilität disperser Systeme	371
13.3.1	Allgemeine Stabilitätskriterien	371
13.3.2	Flockung und Koaleszenz	377
13.4	Milch als Emulsion	380
13.4.1	Der emulgierter Zustand	380
13.4.2	Stabilität der Emulsion Milch	384
13.4.2.1	Übersicht	384
13.4.2.2	Aufrahmen	385
13.4.2.3	Stabilisieren der Emulsion	387
13.4.2.4	Destabilisierung – Deemulgierung	390
13.5	Dispersoid Schaum	391
13.5.1	Schaumstrukturen und Schaumbildung	391
13.5.2	Schaumstabilität	394
13.6	Milch als kolloiddisperses System	395
13.6.1	Kolloiddisperser Zustand	395
13.6.2	Kolloiddisperse Teilchen der Milch	398
13.6.3	Milchgele	402
13.6.3.1	Definition und Einteilungskriterien	402
13.6.3.2	Säuregel	405
13.6.3.3	Labgel	409
13.6.3.4	Gerinnungszeit und Verlauf der Gelverfestigung	411
13.6.3.5	Einflussfaktoren auf die Labgelbildung	413
13.6.3.6	Synärese	415
13.6.3.7	Hitzeinduzierte Gele	416
13.6.4	Koagulation	417
13.6.4.1	Auslösende Faktoren	417
13.6.4.2	Koagulatoren	418
13.6.4.3	Thermische Koagulation	420
13.7	Milch als echte Lösung	421
13.7.1	Eigenschaften	421
13.7.2	Ionenstärke	423
13.8	Gleichgewichtsbeziehungen	425

14	Physikalisch-chemische Eigenschaften	427
14.1	Übersicht	427
14.2	Dichte	429
14.2.1	Definition	429
14.2.2	Dichtebestimmungsmethoden	430
14.2.2.1	Pyknometermethode	430
14.2.2.2	Äräometermethode	430
14.2.2.3	Weitere Dichtebestimmungsmethoden	431
14.2.3	Dichte der Milch	432
14.2.4	Dichte der Milchprodukte	434
14.3	Acidität	436
14.3.1	Übersicht	436
14.3.2	pH-Wert	437
14.3.2.1	Bedeutung des pH-Wertes in der Milchwirtschaft	437
14.3.2.2	pH-Wert-Bestimmung	437
14.3.2.3	pH-Wert der Milch	442
14.3.2.4	Beeinflussung des pH-Wertes durch technologische Maßnahmen	442
14.3.3	Pufferungsvermögen der Milch	444
14.3.4	Titrationsacidität – Potenzielle Acidität	447
14.3.4.1	Definition	447
14.3.4.2	Titrationsacidität der Milch	450
14.3.5	pH-Wert und °SH als Qualitätsmerkmal und Steuerungsfaktor	451
14.4	Redoxpotenzial	454
14.4.1	Grundlagen	454
14.4.2	Redoxpotenzial-Messung	458
14.4.3	Redoxpotenzial der Milch	459
14.5	Viskosität – rheologische Eigenschaften	462
14.5.1	Grundlagen	462
14.5.2	Bedeutung der rheologischen Eigenschaften	466
14.5.3	Viskosität der Milch und flüssiger Milchprodukte	468
14.5.4	Viskositätmessverfahren	472
14.6	Oberflächenspannung	473
14.6.1	Oberflächenspannung der Milch und flüssiger Milchprodukte	473
14.6.2	Bestimmung der Oberflächenspannung	475
14.7	Gefrierpunkt	476
14.7.1	Allgemeine Grundlagen	476
14.7.2	Gefrierpunkt der Milch	477
14.7.3	Gefrierpunktsbestimmung	479
14.8	Elektrische Leitfähigkeit	481
14.8.1	Grundlagen	481
14.8.2	Leitfähigkeit der Milch	484
14.8.3	Anwendung der Leitfähigkeitsmessung in der Milchwirtschaft	484
14.9	Dielektrizitätskonstante	486
14.9.1	Grundlagen – Definition	486
14.9.2	Dielektrizitätskonstante von Milch und Milchprodukten	487
14.10	Thermische Eigenschaften – kalorische Größen	488
14.10.1	Spezifische Wärme – Latente Wärmen	488
14.10.2	Wärmeleitfähigkeit und Temperaturleitfähigkeit	489
14.11	Optische Eigenschaften	491
14.11.1	Grundlagen – Überblick	491
14.11.2	Lichtbrechung – Refraktometrie	493

14.11.2.1	Grundlagen	493
14.11.2.2	Brechungsindex von Milch und Milchinhaltstoffen	494
14.11.3	Polarisation – Polarimetrie	495
14.11.4	Lichtabsorption	497
14.11.5	Lichtemission	498
14.11.6	Farbe von Milch und Milchprodukten	499

B Lebensmittel Milch

15	Chemisch-physikalische Betrachtung zum Lebensmittel Milch	501
15.1	Einleitung	501
15.2	Einteilung der Milchinhaltstoffe nach praktischen Gesichtspunkten	507
15.3	Wertbestimmende Milchbestandteile	509
15.3.1	Ernährungsphysiologische Wertung – Überblick	509
15.3.2	Proteine	511
15.3.3	Calcium	513
15.3.4	Phosphor – Phosphate	516
15.3.5	Spurenelemente	516
15.3.6	Vitamine	517
15.3.7	Essenzielle Fettsäuren	519
15.3.8	Milchfett	519
15.4	Fremdstoffe – unerwünschte Bestandteile	522
15.4.1	Überblick – Definitionen	522
15.4.2	Rückstände – Tierarzneimittel	526
15.4.2.1	Übersicht – Arten	526
15.4.2.2	Auswirkungen tierarzneimittelhaltiger Milch	529
15.4.2.3	Tierarzneimittelnachweise	531
15.4.3	Verunreinigungen	532
15.4.3.1	Pestizide	532
15.4.3.2	Polychlorierte Biphenyle	535
15.4.3.3	Dioxine	536
15.4.3.4	Halogenierte Lösungsmittel – Haloform	537
15.4.3.5	Mykotoxine – Aflatoxine	538
15.4.3.6	Toxische Schwermetalle	539
15.4.3.7	Radionuklide	541
15.5	Indikatorstoffe	547
15.5.1	Übersicht	547
15.5.2	Indikatorstoffe zur Beurteilung der Rohmilch	549
15.5.3	Indikatorstoffe zur Beurteilung wärmebehandelter Milch	552
15.5.3.1	Übersicht	552
15.5.3.2	Typ-I-Hitzeindikatoren	552
15.5.3.3	Typ-II-Hitzeindikatoren	556
15.5.3.4	Methoden zur der Phosphataseaktivität und Peroxidaseaktivität	559
15.5.4	Indikatorstoffe zur Klassifizierung der Milchprodukte	564
15.5.5	Indikatorisotope zur Herkunftszuordnung	565
15.6	Qualitätsmerkmale des Lebensmittels Milch	567
15.6.1	Nährwert	567
15.6.1.1	Brennwert	567
15.6.1.2	Nährstoffdichte	570
15.6.2	Gesundheitswert	572

15.6.3	Genusswert – Geschmacks- und Geruchsstoffe	578
15.6.3.1	Grundbegriffe der Sensorik	578
15.6.3.2	Geschmack	580
15.6.3.3	Geruch	581
15.6.3.4	Haptische und visuelle Eindrücke	583
15.6.3.5	Schwellenwerte	583
15.6.3.6	Normale sensorische Beschaffenheit der Milch	585
15.6.3.7	Sensorische Fehler – Überblick	587
15.6.3.8	Absorptionsbedingte sensorische Fehler	589
15.6.3.9	Biochemisch induzierte sensorische Fehler	591
15.6.3.10	Chemisch induzierte Fehler	591
15.6.3.11	Hitzeinduzierter Flavour	592
15.6.4	Gebrauchswert	593

C Rohstoff Milch

16	Chemische und physikalische Betrachtungen zum Rohstoff Milch	597
16.1	Überblick	597
16.2	Gütemerkmale	600
16.2.1	Technologisch-ökonomisch wertbestimmende Bestandteile – Milchfett, Milcheiweiß	600
16.2.2	Gütemerkmal Keimzahl	604
16.2.3	Gütemerkmal Zellzahl	606
16.2.4	Gütemerkmal Hemmstoffe	610
16.2.5	Gütemerkmal Gefrierpunkt	613
16.3	Technologische Qualitätsanforderungen für Rohmilch	615
16.3.1	Überblick	615
16.3.2	Hitzestabilität der Milch	615
16.3.3	Labgerinnungsfähigkeit der Milch	617
16.4	Milchbestandteile im Food- und Non-Food-Bereich	618
16.4.1	Milchprodukte – Übersicht	618
16.4.2	Milchproteinprodukte	620
16.4.3	Modifizierung des Milchfettes	622
16.4.3.1	Übersicht	622
16.4.3.2	Physikalische Verfahren	623
16.4.3.3	Chemische Verfahren	625
16.4.3.4	Reduzierung des Cholesterolgehalts	625
16.4.4	Milchinhaltsstoffe im Non-Food-Bereich	626
17	Beeinflussung der Milch und ihrer Bestandteile durch Bearbeitung und Verarbeitung	629
17.1	Möglichkeiten der Energieeinwirkungen	629
17.2	Thermodynamische Betrachtungen	631
17.2.1	Grundlagen – Definitionen	631
17.2.2	1. und 2. Hauptsatz der Thermodynamik	634
17.2.3	Chemisches Potenzial – chemische Gleichgewichte	643
17.3	Reaktionskinetik	646
17.3.1	Aufgabe und Möglichkeiten	646
17.3.2	Geschwindigkeitsgleichungen – Reaktionsordnungen	647

Inhaltsverzeichnis

17.3.3	Temperaturabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit – Aktivierungsenergie	653
17.3.4	Praktisch benutzte kinetische Parameter	657
17.3.5	Thermodynamischer Zustand der Milch und seine Beeinflussung	662
17.4	Mechanische Beanspruchung	663
17.4.1	Überblick	663
17.4.2	Strömungsbeeinflussung	664
17.4.2.1	Strömungsarten – Strömungskräfte	664
17.4.2.2	Auswirkungen der Strömungsbeeinflussung	666
17.4.3	Radialkräfte – Zentrifugieren	670
17.4.4	Homogenisieren	673
17.4.4.1	Verfahren und Wirkungsweise	673
17.4.4.2	Auswirkungen des Homogenisierens	675
17.4.5	Hydrostatische Hochdruckbehandlung	676
17.4.5.1	Überblick	676
17.4.5.2	Inaktivierung von Mikroorganismen und Enzymen	676
17.4.5.3	Denaturierung und Modifizierung der Milchproteine	678
17.4.5.4	Fettkristallisation unter statischem Druck	678
17.5	Temperaturbeeinflussung	679
17.5.1	Überblick	679
17.5.2	Kühlen	679
17.5.3	Gefrieren	681
17.5.4	Erhitzen	683
17.5.4.1	Übersicht	683
17.5.4.2	Erhitzungsverfahren	686
17.5.5	Auswirkungen auf die einzelnen Milchinhaltstoffe	688
17.5.5.1	Proteine – Übersicht	688
17.5.5.2	Enzyme	689
17.5.5.3	Molkenproteine	692
17.5.5.4	Caseine	696
17.5.5.5	Lactose	700
17.5.5.6	Milchfett	703
17.6	Lichtinduzierte Veränderungen in Milch und Milchprodukten	705
Literatur		709
Stichwortverzeichnis		723