

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort .....	V
Die Autorin .....	VII
<b>1 Cellulose .....</b>	<b>1</b>
1.1 Entwicklungsgeschichte .....	1
1.1.1 Historischer Ursprung .....	1
1.1.2 Industrielle Entwicklung vom Anfang bis heute .....	2
1.1.3 Aktuelle Daten zur Celluloseverarbeitung .....	3
1.2 Rohstoffe und biologische Herkunft .....	4
1.2.1 Potentielle Quellen .....	4
1.2.2 Holz als Celluloselieferant .....	6
1.2.2.1 Baumholz und mehrjährige Pflanzen .....	6
1.2.2.2 Einjahrespflanzen .....	9
1.2.3 Biologischer Aufbau und Biosynthese .....	10
1.2.4 Erklärung für die industrielle Derivatisierung .....	15
1.3 Zellstoffgewinnung .....	17
1.4 Chemischer Aufbau und Strukturen .....	19
1.4.1 Molekulare Struktur .....	19
1.4.1.1 Elementare Struktur .....	19
1.4.1.2 Strukturelle Anomalien .....	21
1.4.1.3 Kettenlänge und Molekulargewicht .....	22
1.4.2 Sekundäre Struktur .....	24
1.4.2.1 Gitternetzstruktur und Kristallisation .....	25
1.4.2.2 Kettensteifigkeit des Cellulosemoleküls .....	34
1.4.3 Supramolekulare Struktur der natürlichen Cellulosefaser .....	34
1.4.3.1 Modelle .....	34
1.4.3.2 Fransenfibrillarstruktur .....	35
1.5 Rheologie .....	36
1.5.1 Lösungsverhalten .....	36
1.5.2 Gelbildung und Verhalten mit anderen Inhaltsstoffen .....	38
1.6 Stabilität .....	38
1.6.1 Physikalische Eigenschaften .....	38
1.6.2 Stabilität in Lebensmitteln .....	39
1.6.3 Chemische Reaktionen .....	40
1.6.4 Möglichkeiten zum Abbau .....	42
1.7 Rheometrie .....	44
1.8 Synergien mit anderen Hydrokolloiden .....	45
1.9 Anwendung in Lebensmitteln .....	45

1.10	Technische Anwendungen („Non Food Applications“) .....	45
1.11	Ernährungsphysiologische Eigenschaften .....	46
1.12	Lebensmittelrechtlicher Status .....	47
<b>2</b>	<b>Mikrokristalline Cellulose .....</b>	<b>49</b>
2.1	Herstellung .....	49
2.2	Chemischer Aufbau .....	51
2.3	Rheologie .....	52
2.3.1	Lösungsverhalten .....	52
2.3.2	Gelbildung und Verhalten mit anderen Inhaltsstoffen .....	52
2.4	Stabilität .....	53
2.5	Rheometrie .....	54
2.6	Synergien mit anderen Hydrokolloiden .....	56
2.7	Lebensmittel-Anwendungen mit typischen Rezepturen .....	56
2.7.1	Backwaren, Snacks und Füllungen .....	59
2.7.2	Milchprodukte – Eiscreme, Desserts und Käsezubereitungen .....	61
2.7.3	Süßwaren .....	65
2.7.4	Getränke (RTD) .....	67
2.7.5	Suppen, Saucen, Salatdressings und Marinaden .....	72
2.8	Technische Anwendungen („Non Food Applications“) .....	76
2.9	Ernährungsphysiologische Eigenschaften .....	77
2.10	Lebensmittelrechtlicher Status .....	77
<b>3</b>	<b>Grundlagen der wasserlöslichen Celluloseether und Methylcellulose .....</b>	<b>79</b>
3.1	Herstellung von Celluloseethern .....	79
3.1.1	Allgemeine Grundlagen .....	79
3.1.2	Produktion des Monoethers Methylcellulose .....	83
3.2	Chemischer Aufbau .....	86
3.3	Rheologie .....	87
3.3.1	Generelles Quell- und Lösungsverhalten von Celluloseethern .....	87
3.3.1.1	Einflußfaktoren .....	87
3.3.1.2	Stadien von der Quellung bis zur Auflösung .....	90
3.3.2	Lösungsverhalten des Monoethers Methylcellulose .....	92
3.3.2.1	Geeignete Lösungsmittel .....	92
3.3.2.2	Physikalische Daten .....	93
3.3.2.3	Molekulargewicht und Viskosität .....	94
3.3.2.4	Rheologisches Profil – Einflussfaktoren auf die Kaltviskosität .....	95
3.3.2.5	Grenzflächenaktivität wässriger Lösungen .....	102
3.3.2.6	Mischungen zur Viskositätseinstellung .....	105
3.3.3	Gelierung und Gelbildung von Methylcellulose .....	107

---

3.3.3.1	Grundlagen und Zusammenhänge .....	107
3.3.3.2	Einfluss des Lösungsmittels auf die Gelierung .....	114
3.3.3.3	Mechanismus und Ursache der thermisch induzierten Gelbildung .....	116
3.3.3.4	Nicht-thermische Gelierung .....	118
3.3.3.5	Unterschied zwischen Methylcellulose und HPMC .....	119
3.3.4	Dispergierung und Hydratation .....	119
3.3.5	Technik der verzögerten Hydratation .....	122
3.3.6	Funktionelle Eigenschaften aus der Methylierung .....	123
3.3.7	Verhalten von Methylcellulose mit anderen Inhaltsstoffen .....	124
3.3.8	Methylcellulose und HPMC zur Fettreduktion in Überzügen .....	131
3.3.9	Emulgierende Eigenschaften von Methylcellulose .....	135
3.4	Stabilität .....	138
3.4.1	Lagerstabilität von Celluloseethern .....	138
3.4.2	Mikrobiologische Stabilität .....	139
3.4.3	Prozessstabilität nach der Hydratisierung .....	139
3.5	Rheometrie .....	144
3.6	Synergien mit anderen Hydrokoloiden .....	144
3.7	Lebensmittel-Anwendungen mit typischen Rezepturen .....	146
3.7.1	Backwaren .....	147
3.7.1.1	Funktionen und Überblick .....	147
3.7.1.2	Typische Rezepturen .....	149
3.7.2	Füllungen .....	151
3.7.2.1	Funktionen und Überblick .....	151
3.7.2.2	Typische Rezepturen .....	152
3.7.3	Glasuren, Überzüge und Panaden .....	154
3.7.3.1	Funktionen und Überblick .....	154
3.7.3.2	Typische Rezepturen .....	156
3.7.4	Geformte und extrudierte Produkte .....	157
3.7.4.1	Funktionen und Überblick .....	157
3.7.4.1	Typische Rezepturen .....	158
3.7.5	Suppen und Saucen, Salatdressings und Marinaden .....	162
3.7.5.1	Funktionen und Überblick .....	162
3.7.5.2	Stärke-Methylcellulose-Synergismus in Saucen .....	163
3.7.5.3	Traditionelle Suppen, Saucen, Toppings .....	164
3.7.5.4	Emulsionen .....	165
3.7.6	Süßwaren und Desserts .....	167
3.7.7	Fleisch- und Fischprodukte .....	169
3.7.8	Tierfutter .....	170
3.8	Technische Anwendungen („Non Food Applications“) .....	171
3.9	Ernährungsphysiologische Eigenschaften .....	178
3.10	Lebensmittelrechtlicher Status .....	179

<b>4</b>	<b>Ethylcellulose</b>	<b>181</b>
4.1	Herstellung .....	181
4.2	Chemischer Aufbau .....	182
4.3	Rheologie .....	183
4.3.1	Physikalisch-chemische Parameter .....	183
4.3.2	Lösungsverhalten .....	185
4.3.2.1	Löslichkeit in Wasser .....	185
4.3.2.2	Geeignete Lösungsmittel .....	186
4.3.3	Gelbildung und Verhalten mit anderen Inhaltsstoffen .....	190
4.3.3.1	Überblick .....	190
4.3.3.2	Kompatibilität mit Harzen .....	191
4.3.3.3	Verträglichkeit mit Weichmachern bzw. Plastifizierungsmitteln .....	194
4.3.4	Physikalische Eigenschaften .....	198
4.3.5	Temperatur und Viskosität .....	201
4.3.6	Filme .....	202
4.4	Stabilität .....	203
4.5	Rheometrie .....	209
4.6	Synergien mit anderen Hydrokolloiden .....	209
4.7	Lebensmittel-Anwendungen mit typischen Rezepturen .....	211
4.7.1	Überblick zu den Funktionen .....	211
4.7.2	Beschichtung und Verkapselung mit Ethylcellulose .....	212
4.8	Technische Anwendungen („Non Food Applications“) .....	213
4.9	Ernährungsphysiologische Eigenschaften .....	222
4.10	Lebensmittelrechtlicher Status .....	222
4.10.1	Rechtslage in Europa (EU) .....	222
4.10.2	FDA-Status der Ethylcellulose (USA) .....	223
<b>5</b>	<b>Hydroxypropylcellulose</b>	<b>225</b>
5.1	Herstellung .....	225
5.2	Chemischer Aufbau .....	226
5.3	Rheologie .....	228
5.3.1	Physikalisch-chemische Eigenschaften .....	228
5.3.2	Lösungsverhalten .....	229
5.3.2.1	Geeignete Lösungsmittel .....	229
5.3.2.2	Lösungskurven in Wasser und wässrigen Alkoholgemischen .....	231
5.3.3	Gelbildung und Verhalten mit anderen Inhaltsstoffen .....	234
5.4	Stabilität .....	236
5.4.1	Prozessstabilität .....	236
5.4.2	Hygroskopizität .....	239
5.4.3	Polymerabbau .....	239

---

5.4.4	Verbrennung .....	240
5.4.5	Thermoplastizität und Filmbildung .....	240
5.5	Rheometrie .....	242
5.6	Synergien mit anderen Hydrokolloiden .....	242
5.7	Lebensmittel-Anwendungen mit typischen Rezepturen .....	243
5.7.1	Schaumprodukte .....	243
5.7.2	Filme und Überzüge .....	246
5.8	Technische Anwendungen („Non Food Applications“) .....	249
5.9	Ernährungsphysiologische Eigenschaften .....	251
5.10	Lebensmittelrechtlicher Status .....	251
<b>6</b>	<b>Hydroxypropylmethylcellulose .....</b>	<b>253</b>
6.1	Herstellung .....	253
6.2	Chemischer Aufbau .....	254
6.3	Rheologie .....	256
6.3.1	Lösungsverhalten .....	256
6.3.2	Gelbildung von Hydroxypropylmethylcellulose .....	257
6.3.3	Verhalten von HPMC mit anderen Inhaltsstoffen .....	259
6.4	Stabilität .....	261
6.5	Rheometrie .....	263
6.6	Synergien mit anderen Hydrokolloiden .....	264
6.7	Lebensmittel-Anwendungen mit typischen Rezepturen .....	264
6.7.1	Schäume .....	264
6.7.2	Filme und Überzüge mit HPMC .....	266
6.7.2.1	Überblick .....	266
6.7.2.2	Typische Rezepturen .....	267
6.7.3	Füllungen .....	270
6.7.4	Backwaren mit HPMC .....	272
6.7.4.1	Traditionelle Backwaren .....	272
6.7.4.2	Gluten-freie Produkte .....	275
6.7.5	Gekühlte und gefrorene Milchprodukte und Desserts .....	278
6.7.5.1	Funktionen und Überblick .....	278
6.7.5.2	Typische Rezepturen .....	279
6.7.6	Süßwaren .....	282
6.7.7	Formprodukte mit HPMC .....	285
6.7.8	Suppen, Saucen, Salatdressings und Marinaden .....	286
6.7.9	Getränke .....	288
6.7.9.1	Funktionen und Überblick .....	288
6.7.9.2	Typische Rezepturen .....	289
6.7.10	Aromenkonzentrate .....	291
6.7.10.1	Funktionen und Überblick .....	291

6.7.10.2	Typische Rezepturen .....	292
6.8	Technische Anwendungen („Non Food Applications“) .....	292
6.9	Ernährungsphysiologische Eigenschaften .....	292
6.10	Lebensmittelrechtlicher Status .....	293
<b>7</b>	<b>Methylethylcellulose .....</b>	<b>295</b>
7.1	Herstellung .....	295
7.2	Chemischer Aufbau .....	297
7.3	Rheologie .....	298
7.3.1	Lösungsverhalten .....	298
7.3.2	Gelbildung und Verhalten mit anderen Inhaltsstoffen .....	298
7.4	Stabilität .....	299
7.5	Rheometrie .....	300
7.6	Synergien mit anderen Hydrokolloiden .....	301
7.7	Lebensmittel-Anwendungen mit typischen Rezepturen .....	301
7.8	Non Food Applications .....	302
7.9	Ernährungsphysiologische Eigenschaften .....	302
7.10	Lebensmittelrechtlicher Status .....	303
<b>8</b>	<b>Natrium-Carboxymethylcellulose .....</b>	<b>305</b>
8.1	Herstellung .....	305
8.2	Chemischer Aufbau .....	307
8.3	Rheologie .....	309
8.3.1	Lösungsverhalten .....	309
8.3.1.1	Generelle Zusammenhänge .....	309
8.3.1.2	Physikalisch-chemische Eigenschaften .....	312
8.3.1.3	Rheologische Profile .....	313
8.3.1.4	Einfluss von Lösungsmittelgemischen .....	314
8.3.1.5	Effekt von gelösten Substanzen auf die Viskosität .....	316
8.3.1.6	Mischungen von CMC-Typen .....	317
8.3.2	Gelbildung von Carboxymethylcellulose .....	319
8.3.2.1	Möglichkeiten zur Gelierung .....	319
8.3.2.2	Gele aus niedrigsubstituierter CMC .....	319
8.3.2.3	Gelierung von CMC mit trivalenten Kationen .....	320
8.3.3	Verhalten von CMC mit anderen Inhaltsstoffen .....	323
8.4	Stabilität .....	338
8.4.1	Mikrobiologische Angriffe .....	338
8.4.2	Chemischer Abbau .....	339
8.4.3	Funktionelle Stabilität .....	340
8.5	Rheometrie .....	347
8.6	Synergien von Cellulosegummi mit anderen Hydrokolloiden .....	348

8.6.1	Verhalten mit anderen Verdickungsmitteln .....	348
8.6.2	Interaktionen mit klassischen Gelbildnern .....	350
8.7	Funktionelle Eigenschaften von Carboxymethylcellulose .....	350
8.8	Lebensmittel-Anwendungen mit typischen Rezepturen .....	351
8.8.1	Backwaren und Getreideprodukte .....	351
8.8.2	Milchprodukte – Eiscreme, Desserts und Käsezubereitungen .....	355
8.8.3	Sirupe und Füllungen .....	359
8.8.4	Getränke (RTD, Konzentrate, Emulsionen) .....	359
8.8.5	Suppen, Saucen, Salatdressings und Marinaden .....	366
8.8.6	Fleischprodukte .....	371
8.8.8	Tierfutter .....	373
8.8.9	Wein .....	374
8.9	Technische Anwendungen („Non Food Applications“) .....	377
8.10	Ernährungsphysiologische Eigenschaften .....	382
8.11	Lebensmittelrechtlicher Status .....	382
8.11.1	Zulassung als technologisches Additiv .....	382
8.11.2	Spezielle Zulassung für CMC .....	384
8.11.3	Negativliste für alle Cellulosederivate E 460 ff. ....	384
<b>9</b>	<b>Vernetzte Natrium-Carboxymethylcellulose .....</b>	<b>387</b>
9.1	Herstellung .....	387
9.2	Chemischer Aufbau .....	387
9.3	Rheologie .....	388
9.3.1	Lösungsverhalten .....	388
9.3.2	Gelbildung und Verhalten mit anderen Inhaltsstoffen .....	389
9.4	Stabilität .....	389
9.5	Rheometrie .....	389
9.6	Synergien mit anderen Hydrokolloiden .....	390
9.7	Lebensmittel-Anwendungen mit typischen Rezepturen .....	390
9.8	Technische Anwendungen („Non Food Applications“) .....	390
9.9	Ernährungsphysiologische Eigenschaften .....	391
9.10	Lebensmittelrechtlicher Status .....	391
<b>10</b>	<b>Enzymatisch hydrolysierte Carboxymethylcellulose .....</b>	<b>393</b>
10.1	Herstellung .....	393
10.2	Chemischer Aufbau .....	393
10.3	Rheologie .....	395
10.3.1	Lösungsverhalten .....	395
10.3.2	Gelbildung und Verhalten mit anderen Inhaltsstoffen .....	395
10.4	Stabilität .....	395
10.5	Rheometrie .....	396

10.6	Synergien mit anderen Hydrokolloiden .....	397
10.7	Lebensmittel-Anwendungen mit typischen Rezepturen .....	397
10.8	Technische Anwendungen („Non Food Applications“) .....	398
10.9	Ernährungsphysiologische Eigenschaften .....	398
10.10	Lebensmittelrechtlicher Status .....	398
<b>Literatur .....</b>		<b>399</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>		<b>402</b>
<b>Maßeinheiten .....</b>		<b>404</b>
<b>Stichwortverzeichnis .....</b>		<b>405</b>