

Band 1 – Ressourcen und Bereitstellung

- 1 Einleitung und Zielsetzung**
- 2 Biomasseentstehung**
- 3 Forstwirtschaftlich produzierte Biomasse**
- 3 Landwirtschaftlich produzierte Biomasse**
- 4 Nebenprodukte, Rückstände und Abfälle**
- 5 Bereitstellungskonzepte**
- 6 Ernteprozesse**
- 7 Mechanische Aufbereitungsprozesse**
- 8 Transportprozesse**
- 9 Trocknungsprozesse für biogene Festbrennstoffe**
- 10 Lagerungsprozesse**
- 11 Algenbiomasse**

Band 2 – Thermo-chemische Konversion

- 1 Einleitung und Zielsetzung**
- 2 Brennstoffzusammensetzung und -eigenschaften**
- 3 Grundlagen der thermo-chemischen Umwandlung**
- 4 Einordnung der thermo-chemischen Umwandlungsverfahren**
- 5 Vollständige thermo-chemische Umwandlungsverfahren (Verbrennung)**
- 6 Verfahren der Gaserzeugung in der Gasatmosphäre**
- 7 Pyrolyseverfahren**
- 8 Hydrothermale Verfahren**
- 9 Synthese- und Weiterverarbeitungsverfahren**

Band 3 – Biochemische und physikalisch-chemische Konversion

- 1 Einleitung und Zielsetzung**
- 2 Chemische Grundlagen des Biomasseaufbaus**
- 3 Grundlagen biochemischer Konversionen**
- 4 Bioethanolerzeugung**
- 5 Biogaserzeugung**
- 6 Weitere fermentative Prozesse**
- 7 Erzeugung Pflanzenöl-basierter Kraftstoffe**

1	Einleitung und Zielsetzung	1
	Hans Hartmann, Hermann Hofbauer, Martin Kaltschmitt, Jana Schultz, Theresa Siegmund, Karl Stampfer und Daniela Thrän	
1.1	Biomasse als nachwachsender Energieträger	1
1.1.1	Definition „Biomasse“	3
1.1.2	Aufbau typischer Bereitstellungsketten	3
1.1.3	Wandlungsmöglichkeiten in End- bzw. Nutzenergie	5
1.2	Biomasse im Energiesystem	9
1.2.1	Energie- und Potenzialbegriffe	10
1.2.2	Bioenergie im globalen Energiesystem	16
1.2.2.1	Stand 2022	17
1.2.2.2	Perspektive 2030	37
1.2.3	Bioenergie im europäischen Energiesystem	52
1.2.3.1	Stand 2022	53
1.2.3.2	Perspektive 2030	65
1.3	Aufbau und Abgrenzungen	75
1.3.1	„Grundlagen der Biomasseproduktion“	78
1.3.2	„Biomasse aus der Primärproduktion“	79
1.3.3	„Organische Rückstände, Nebenprodukte und Abfälle“	80
1.3.4	„Biomassebereitstellungskonzepte“	80
1.3.5	„Biomassebereitstellungsprozesse, -verfahren und -konzepte“	81
1.3.6	„Aquatische Biomasse“	82
	Literatur	82
2	Biomasseentstehung	91
	Iris Lewandowski, Christian Wilhelm und Christian Zörb	
2.1	Primärproduzenten	92
2.1.1	Aquatische Primärproduzenten	93
2.1.2	Terrestrische Primärproduzenten	94

2.2	Höhere Pflanzen	95
2.2.1	Funktionselemente	96
2.2.2	Pflanzenaufbau	97
2.2.3	Meristeme und Seneszenz	102
2.3	Biomasseaufbau und -zusammensetzung	104
2.3.1	Elementare Zusammensetzung	104
2.3.2	Biochemische Zusammensetzung	109
2.4	Primärproduktion	112
2.4.1	Photosynthese	113
2.4.2	Atmung (Dissimilation)	121
2.4.3	Vom Zucker zur Biomasse	122
2.4.4	Wirkungsgrad	125
2.4.5	Natürliche Standortfaktoren	129
	Literatur	140
3	Forstwirtschaftlich produzierte Biomasse	143
	Michael Köhl und Thomas Knoke	
3.1	Forstwirtschaftliche Grundlagen	143
3.1.1	Grundlagen und Grundbegriffe	144
3.1.2	Holzbildung und anatomischer Holzaufbau	147
3.1.3	Holzeigenschaften	153
3.1.4	Wirtschaftlich bedeutende Holzsortimente	155
3.2	Waldbewirtschaftung und Holzproduktion	161
3.2.1	Waldstruktur und -aufbau	161
3.2.2	Waldbau	163
3.2.3	Waldwachstum	167
3.2.4	Anpassung der Wälder an den Klimawandel	175
3.2.5	Zielkonflikte bei der Waldbewirtschaftung	177
3.3	Baumarten	178
3.3.1	Standortansprüche	178
3.3.2	Produktivität	179
3.3.3	Darstellung ausgewählter Baumarten	180
3.3.4	Vorräte, Zuwachs und Nutzung	187
	Literatur	190
4	Landwirtschaftlich produzierte Biomasse	195
	Iris Lewandowski	
4.1	Acker- und pflanzenbauliche Grundlagen	196
4.1.1	Anbausysteme und Fruchtfolgegestaltung	196
4.1.2	Einflussfaktoren im Produktionssystem	202
4.1.3	Zeitliche und räumliche Angebotsunterschiede	207

4.2	Landwirtschaftlich produzierte Lignocellulose-Pflanzen	213
4.2.1	Schnellwachsende Baumarten	213
4.2.2	Miscanthus	218
4.2.3	Rutenhirse	225
4.2.4	Rohrglanzgras	228
4.2.5	Szarvasigras	229
4.2.6	Futtergräser	232
4.2.7	Durchwachsene Silphie	236
4.2.8	Wildpflanzenmischungen	238
4.2.9	Getreideganzpflanzen	241
4.3	Ölhaltige Pflanzen	248
4.3.1	Raps	249
4.3.2	Sonnenblume	253
4.3.3	Leindotter	256
4.4	Zuckerhaltige Pflanzen	258
4.4.1	Zuckerrübe	258
4.4.2	Zuckerhirse	262
4.5	Stärkehaltige Pflanzen	265
4.5.1	Kartoffel	265
4.5.2	Topinambur	269
4.5.3	Getreide	272
4.5.4	Mais	275
	Literatur	280
5	Nebenprodukte, Rückstände und Abfälle	285
	Daniela Thrän, Martin Kaltschmitt, Theresa Siegmund und Tom Karras	
5.1	Holzartige Biomasse	288
5.1.1	Landschaftspflegeholz	289
5.1.2	Industrierestholz	295
5.1.3	Altholz	297
5.2	Halmgut- und krautartige Biomasse	303
5.2.1	Stroh	304
5.2.2	Weitere Erntereste aus der Landwirtschaft	311
5.2.3	Halmgüter aus der Landschaftspflege	312
5.3	Sonstige Biomassen	316
5.3.1	Exkremente aus der Nutztierhaltung	316
5.3.2	Siedlungsabfälle	318
5.3.3	Produktionsspezifische Rückstände, Nebenprodukte und Abfälle	323
5.3.4	Organisch belastete Abwässer	329
	Literatur	333

6	Bereitstellungskonzepte	343
	Hans Hartmann, Thomas Hoffmann, Martin Kaltschmitt, David Moosmann, Karl Stampfer und Daniela Thrän	
6.1	Einflussgrößen und Anforderungen	345
6.2	Bereitstellungsketten für Holzbrennstoffe	360
6.2.1	Brennholz (Stückholz)	363
6.2.1.1	Stückholz aus dem Wald	363
6.2.1.2	Stückholz aus Sägerestholz	366
6.2.1.3	Stückholz aus Altholz	366
6.2.2	Holzhackschnitzel (Holzhackgut)	366
6.2.2.1	Waldhackgut	367
6.2.2.2	Hackgut aus Kurzumtriebsplantagen	374
6.2.2.3	Hackgut aus Industrierestholz	380
6.2.2.4	Hackgut von Pflegeflächen	380
6.2.3	Schredderholz	381
6.2.4	Holzpellets und -briketts	383
6.2.5	Rinde	384
6.3	Bereitstellungsketten für Halmgutbrennstoffe	384
6.3.1	Ballen	387
6.3.2	Häckselgut	391
6.3.3	Sonstige Halmgutketten	393
6.4	Bereitstellungsketten für Biogassubstrate	395
6.5	Bereitstellungsketten für Ölsaaten	398
6.6	Bereitstellungsketten für zucker- und stärkehaltige Stoffe	399
6.7	Nachhaltigkeitszertifizierung	401
	Literatur	408
7	Ernteprozesse	413
	Hans Hartmann, Thomas Hoffmann, Martin Kaltschmitt und Karl Stampfer	
7.1	Holzartige Biomasse	414
7.1.1	Holz aus dem Wald	414
7.1.1.1	Manuelles Fällen und Aufarbeiten	416
7.1.1.2	Maschinelles Fällen und Aufarbeiten	427
7.1.1.3	Maschinelles Rücken	433
7.1.1.4	Kombi- und Spezialmaschinen	439
7.1.1.5	Beispielhafte Holzerntesysteme	441
7.1.2	Holz aus Kurzumtriebsplantagen	446
7.1.3	Holz aus der Landschaftspflege	454
7.2	Halmgutartige Biomasse	455
7.2.1	Erntemaschinen	456
7.2.1.1	Mähgut	456
7.2.1.2	Häckselgut	459

7.2.1.3	Ballen	461
7.2.1.4	Pellets	464
7.2.2	Berge- bzw. Transportmaschinen	466
7.3	Zucker- und stärkehaltige Pflanzen	472
7.3.1	Getreidekörner	472
7.3.2	Körnermais	474
7.3.3	Zuckerrüben	475
7.3.4	Zuckerhirse	476
7.3.5	Kartoffeln und Topinambur	476
7.4	Ölhaltige Pflanzen	477
7.4.1	Raps	477
7.4.2	Sonnenblumen	478
	Literatur	478
8	Mechanische Aufbereitungsprozesse	481
	Roman Adam, Martin Englisch, Hans Hartmann, Hermann Hofbauer, Martin Kaltschmitt, Volker Lenz und Karl Stampfer	
8.1	Zerkleinerung	482
8.1.1	Einteilung und Prinzipien	482
8.1.2	Brennholzaufbereitung	486
8.1.2.1	Schneiden	486
8.1.2.2	Sägen	487
8.1.2.3	Spalten	491
8.1.2.4	Stapel- und Umschlagshilfen	503
8.1.3	Holzhackgut- und Holzschredderguterzeugung	505
8.1.3.1	Hacker	505
8.1.3.2	Schredder	517
8.1.3.3	Zerspaner	519
8.1.4	Mahlzerkleinerung	519
8.1.5	Ballenauflösung	523
8.2	Trennung von Feststoffgemischen	524
8.2.1	Siebklassierung	529
8.2.2	Windsichtung	535
8.2.3	Weitere Sortierungen	540
8.3	Waschung	543
8.4	Kompaktierung	545
8.4.1	Grundlagen	546
8.4.1.1	Bindungsmechanismen	546
8.4.1.2	Einflussmöglichkeiten	551
8.4.2	Pelletier- und Brikettiertechniken	568
8.4.3	Verfahrenstechnische Einbindung	579
	Literatur	590

9	Transportprozesse	603
	Karl Stampfer, Ferdinand Hönigsberger und Martin Kaltschmitt	
9.1	Straßentransporte	605
9.2	Schienentransporte	610
9.3	Wassertransporte	612
	Literatur	617
10	Trocknungsprozesse für biogene Festbrennstoffe	619
	Hans Hartmann, Jörg B. Ressel, Klaus Richter und Alfred Teischinger	
10.1	Grundlagen Biomasse-Wassergehalt	620
10.2	Grundlagen Trocknungsvorgang	627
10.3	Natürliche Trocknung	636
10.4	Technische Trocknung	639
10.5	Trocknungseinrichtungen	644
	10.5.1 Ventilatoren und Gebläse	645
	10.5.2 Trocknersysteme ohne Gutförderung	647
	10.5.3 Trocknersysteme mit Gutförderung	650
	Literatur	658
11	Lagerungsprozesse	661
	Christiane Dieckmann, Hans Hartmann, Thomas Hoffmann, Martin Kaltschmitt, Thomas Kirsits und Daniel Kuptz	
11.1	Lagerung biogener Festbrennstoffe	661
	11.1.1 Biologische Vorgänge	663
	11.1.2 Lagerungsrisiken	667
	11.1.3 Lagerungstechniken	689
	11.1.3.1 Bodenlagerung	689
	11.1.3.2 Hallen (Flachlager)	691
	11.1.3.3 Behälter und Silos	692
	11.1.3.4 Lagerräume	695
	11.1.4 Lagerbeschickung und -entleerung	697
11.2	Lagerung und Konservierung von Biogassubstraten (Silage)	705
	11.2.1 Grundlagen und Voraussetzungen	706
	11.2.2 Silagetechniken	711
	11.2.3 Anwendungen	714
	Literatur	715
12	Algenbiomasse	721
	Sinah Kammler, Dorina Strieth und Martin Kaltschmitt	
12.1	Biologische Grundlagen	723
	12.1.1 Ressourcenbasis	725
	12.1.2 Wachstumsbestimmende Eigenschaften	736

Inhaltsverzeichnis	XV
12.2 Algenproduktion	742
12.2.1 Systemaspekte	743
12.2.2 Produktionssysteme	753
12.3 Ernte	774
12.3.1 Mikroalgen und Cyanobakterien	774
12.3.2 Makroalgen	775
Literatur	778
Stichwortverzeichnis	787