

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort .....	5
---------------	---

## **1 Das Wissenschaftsgebiet Pflanzenernährungslehre**

1.1 Inhalt und Abgrenzung des Wissenschaftsgebietes .....	12
---	----

1.2 Historischer Abriss .....	14
-------------------------------	----

## **2 Zusammensetzung der höheren Pflanze und Prinzipien der Biosynthese Ertrag bildender Verbindungen**

2.1 Bruttozusammensetzung der Pflanzen .....	19
--	----

2.2 Organische Verbindungen in der Pflanze und Prinzipien ihrer Biosynthese .....	24
---	----

2.2.1 Molekulare Zusammensetzung der Pflanze .....	24
--	----

2.2.2 Energieumsatz bei Stoffwechselreaktionen .....	25
--	----

2.2.3 Biokatalyse und Enzymkinetik .....	27
--	----

2.2.4 Enzymbau und Enzymeigenschaften .....	30
---	----

2.2.5 Nomenklatur der Enzyme und Art der katalysierten Reaktionen .....	36
---	----

2.2.6 Zusammenspiel der Enzyme im Stoffwechsel .....	37
--	----

2.2.7 Stofftransport zwischen den Organen höherer Pflanzen (Grundprinzipien) .....	40
--	----

## **3 Ertrag bildende Stoffwechselprozesse und ihre Beeinflussbarkeit**

3.1 CO <sub>2</sub> -Assimilation der höheren Pflanzen .....	44
--	----

3.1.1 Gesamtleistung und ökologische Bedingungen .....	44
--	----

3.1.2 Mechanismen der CO <sub>2</sub> -Assimilation .....	44
---	----

3.1.2.1 Überblick .....	44
-------------------------	----

3.1.2.2 Lichtreaktionen und ihre Beeinflussbarkeit .....	46
--	----

3.1.2.3 Dunkelreaktionen .....	53
--------------------------------	----

3.1.3 Zusammenhänge zwischen CO <sub>2</sub> -Assimilation und Atmung bei verschiedenen Kulturpflanzen. Photorespiration .....	55
--	----

3.1.4 Steuerbarkeit der Netto-CO <sub>2</sub> -Assimilation durch Umweltfaktoren .....	58
--	----

3.1.4.1 Vorbemerkung .....	58
----------------------------	----

3.1.4.2 Umweltabhängigkeit der Chlorophyllgehalte in den Pflanzen (einschließlich akzessorischer Pigmente) .....	58
--	----

3.1.4.3 Belichtung .....	61
--------------------------	----

3.1.4.4 Wasserversorgung .....	66
--------------------------------	----

3.1.4.5 CO <sub>2</sub> -Versorgung der Pflanzen .....	68
--	----

3.1.4.6 Temperatur .....	71
--------------------------	----

3.1.4.7 Wechselbeziehungen zwischen den einzelnen Umweltfaktoren .....	73
--	----

3.1.5 Abtransport der Assimilate und seine Rückwirkungen .....	73
--	----

3.2 Kohlenhydratbildung und -stoffwechsel .....	76
---	----

3.2.1 Kohlenhydratbildung, -speicherung und -umwandlung .....	76
---	----

3.2.1.1 Überblick .....	76
-------------------------	----

3.2.1.2 Monosaccharide (Einfachzucker) .....	77
--	----

3.2.1.3 Oligosaccharide (Mehrfachzucker) .....	79
--	----

3.2.1.4	Polysaccharide . . . . .	82
3.2.1.5	Beziehungen zwischen der Bildung von Kohlenhydraten und der Ernährung der Pflanze .	90
3.2.2	Biologische Oxidationen . . . . .	92
<b>3.3</b>	<b>Fettbildung und -stoffwechsel</b>	<b>99</b>
3.3.1	Definitionen und Gehalte . . . . .	99
3.3.2	Bestandteile, Bildung und Abbau der Neutralfette . . . . .	100
3.3.3	Qualität der geernteten Neutral- fette . . . . .	103
3.3.4	Konsequenzen für die Fett- erzeugung . . . . .	105
<b>3.4</b>	<b>Bildung und Stoffwechsel phosphorhaltiger Ver- bindungen</b> . . . . .	<b>106</b>
3.4.1	Auftretende Verbindungen . . . . .	106
3.4.2	Auf- und Abbau wichtiger phosphorhaltiger Verbindungen	106
3.4.3	Phosphaternährung und Zu- sammensetzung des Erntegutes .	113
<b>3.5</b>	<b>Proteinbildung und -stoffwechsel</b> . . . . .	<b>114</b>
3.5.1	Definitionen und Gehalte . . . . .	114
3.5.2	Weg des Stickstoffs in der Pflanze . . . . .	116
3.5.3	Proteinbildung . . . . .	117
3.5.4	Eigenschaften der Proteine . . . . .	124
3.5.5	Beeinflussung des Protein- stoffwechsels durch Stick- stoffzufuhr . . . . .	129
<b>3.6</b>	<b>Bildung und Stoffwechsel sonstiger Inhaltsstoffe der Kulturpflanzen</b> . . . . .	<b>134</b>
3.6.1	Alkaloide . . . . .	134
3.6.2	Glucosinolate sowie Senföle (schwefelhaltige Verbindungen).	136
3.6.3	Vitamine . . . . .	137
<b>3.7</b>	<b>Ernährung und Qualität der Ernteprodukte</b> . . . . .	<b>139</b>
3.7.1	Grundsätzliche Zusammen- hänge . . . . .	139
3.7.2	Handels- und Nahrungsqualität .	141
3.7.3	Konsequenzen – Ökologischer Landbau . . . . .	145

<b>4</b>	<b>Verhalten der einzelnen Nährelemente und Symptome bei Ernährungsstörungen</b>	
<b>4.1</b>	<b>Ernährungszustand und Mangel- sowie Überschuss-symptome. . . . .</b>	<b>146</b>
<b>4.2</b>	<b>Spezielles Verhalten der einzelnen Nähr- und Schad-elemente sowie ihre Wirkung</b>	<b>147</b>
4.2.1	Stickstoff . . . . .	147
4.2.2	Phosphor . . . . .	148
4.2.3	Kalium . . . . .	148
4.2.4	Calcium. . . . .	149
4.2.5	Magnesium . . . . .	150
4.2.6	Schwefel . . . . .	151
4.2.7	Molybdän . . . . .	152
4.2.8	Mangan . . . . .	153
4.2.9	Bor . . . . .	154
4.2.10	Kupfer . . . . .	156
4.2.11	Eisen . . . . .	157
4.2.12	Zink . . . . .	159
4.2.13	Chlor . . . . .	159
4.2.14	Nickel . . . . .	160
4.2.15	Sonstige Elemente (Si, Co, Na, Al, Cd, Pb, Cr, Hg, F, As, Se). . .	161
<b>4.3</b>	<b>Der pH-Wert des Nähr-mediums als Regulator des Nähr- und Schadelement-angebotes . . . . .</b>	<b>163</b>
<b>4.4</b>	<b>Spurengase der Luft als Verursacher von Schadsymptomen – neuartige Waldschäden . . . . .</b>	<b>166</b>
<b>4.5</b>	<b>Diagnoseschlüssel zur Identifizierung von Ernährungsstörungen . . . . .</b>	<b>170</b>
4.5.1	Grundsätze . . . . .	170
4.5.2	Schadensbeschreibung und Eingrenzung der möglichen Schadursachen (Schritte 1 bis 3)	170
4.5.3	Identifizierung der Ernährungsstörung (Schritt 4) . . . . .	173
4.5.4	Überprüfung des Ergebnisses anhand zusätzlicher Daten (Schritt 5) . . . . .	175

<b>5</b>	<b>Ontogenese der höheren Pflanzen und ihre Steuerung durch die Umwelt</b>	
<b>5.1</b>	<b>Entwicklungsabschnitte bei Samenpflanzen</b> . . . . .	177
5.1.1	Definitionen und molekulare Mechanismen . . . . .	177
5.1.2	Steuerung durch Temperatur und Licht . . . . .	178
5.1.3	Phytohormonwirkungen . . . . .	180
<b>5.2</b>	<b>Möglichkeiten zur Steuerung der Entwicklung durch Applikation chemischer Präparate</b> . . . . .	185
5.2.1	Native Verbindungen bzw. Analoga . . . . .	185
5.2.2	Synthetische Verbindungen, die Phytohormone freisetzen . . .	185
5.2.3	Sonstige Verbindungen als Wachstumsregler . . . . .	187
<b>6</b>	<b>Beziehungen zwischen Pflanze und Standort</b> . . . .	188
<b>6.1</b>	<b>Das Wurzelsystem und seine Beeinflussbarkeit</b> . . . . .	188
<b>6.2</b>	<b>Stoffaufnahme durch die Wurzel</b> . . . . .	199
6.2.1	Schritte der Stoffaufnahme – Gesamtüberblick . . . . .	199
6.2.2	Stoffdurchtritt durch Membranen . . . . .	201
6.2.3	Wechselwirkungen zwischen Ionen bei der Aufnahme und Rückkoppelungseffekte einschließlich praktischer Konsequenzen . . . . .	210
<b>6.3</b>	<b>Wasserhaushalt am Standort</b> .	214
6.3.1	Wasserbedarf der Pflanzen . . . .	214
6.3.2	Wasseraufnahme und Wasserbilanz . . . . .	217
6.3.3	Wasserstress und praktische Konsequenzen . . . . .	221

<b>7</b>	<b>Quantitative Beziehungen zwischen Wachstumsfaktoren und Ertrag</b>	
7.1	Definitionen und methodische Prinzipien .....	226
7.2	Ertragsgesetze und Produktionsfunktionen .....	227
7.3	Stoff- und Energiebilanz bei der Ertragsbildung – nachhaltige Bodenbewirtschaftung .....	234
<b>8</b>	<b>Quellen und Kreislauf von Nähr- und Schadelementen in der Natur</b>	
8.1	Böden als Nähr- und Schadelementspender sowie -transformatoren .....	240
8.1.1	Transformation in Abhängigkeit von spezifischen Bodeneigenschaften .....	240
8.1.2	Gleichgewichte im Boden und Ausnutzung von Nährelementen durch die Pflanzen .....	248
8.2	Transformationsverhalten von Nähr- und Schadelementen im Boden sowie ihr Kreislauf .	256
8.2.1	Vorbemerkungen .....	256
8.2.2	Stickstoff (und Schwefel) .....	256
8.2.3	Phosphor .....	264
8.2.4	Kalium .....	266
8.2.5	Magnesium .....	268
8.2.6	Calcium (einschließlich der Wirkung von Düngekalken) . . . .	268
8.2.7	Mikronährelemente (Cu, Zn, Mn, Fe, Mo, B, Cl) .....	269
8.2.8	Sonstige Schwermetalle .....	272
<b>9</b>	<b>Düngung</b> .....	275
9.1	Aufgaben und Prinzipien der Düngung .....	275

9.1.1	Definitionen . . . . .	275
9.1.2	Grundsätze der Düngung unter Berücksichtigung von Umweltaspekten . . . . .	277
<b>9.2</b>	<b>Methoden zur Ermittlung der Nährstoff- und Düngedürftigkeit der Pflanzen . .</b>	<b>280</b>
9.2.1	Vorbemerkungen und Überblick	280
9.2.2	Düngungsversuche . . . . .	280
9.2.2.1	Feldversuche . . . . .	280
9.2.2.2	Gefäßversuche . . . . .	283
9.2.3	Bodenuntersuchungen . . . . .	292
9.2.3.1	Ziele und Prinzipien . . . . .	292
9.2.3.2	Pflanzen als Bodenextraktionsmittel . . . . .	293
9.2.3.3	Chemische Reagenzien als Bodenextraktionsmittel . . . . .	294
9.2.3.4	Vor- und Nachteile der Bodenuntersuchung . . . . .	294
9.2.4	Pflanzenanalyse . . . . .	299
9.2.4.1	Ziele und Prinzipien . . . . .	299
9.2.4.2	Festlegung der Richtwerte . . . . .	300
9.2.4.3	Probleme bei der Auswertung . . . . .	301
9.2.4.4	Vor- und Nachteile der Pflanzenanalyse sowie Richtungen ihrer Weiterentwicklung . . . . .	303
9.2.5	Vorgehensweise bei der Ermittlung der Düngedürftigkeit durch die agrarchemischen Untersuchungsdienste . . . . .	304
9.2.5.1	Aufgaben und Prinzipien . . . . .	304
9.2.5.2	Vorgehensweise . . . . .	308
9.2.5.2.1	Bodenuntersuchungen . . . . .	308
9.2.5.2.2	Pflanzenanalyse . . . . .	311
9.2.5.2.3	Zusammenfassende Betrachtungen . . . . .	311
<b>9.3</b>	<b>Gesetzliche Regelungen für die Düngemittelzertifizierung und -anwendung . . . . .</b>	<b>312</b>
<b>9.4</b>	<b>Organische Düngemittel und ihre Eigenschaften . . . . .</b>	<b>314</b>
9.4.1	Vorbemerkungen . . . . .	314
9.4.2	Stallmist und Jauche . . . . .	315
9.4.3	Gülle . . . . .	321
9.4.4	Stroh . . . . .	324
9.4.5	Rübenblatt . . . . .	325
9.4.6	Ernterückstände und Gründüngung . . . . .	326
9.4.7	Klärschlämme und sonstige	

	Sekundärrohstoffdünger, Komposte . . . . .	327
<b>9.5</b>	<b>Mineraldüngemittel und ihre Eigenschaften . . . . .</b>	<b>332</b>
9.5.1	Vorbemerkungen – allgemeine Regeln, Eigenschaften der Produkte . . . . .	332
9.5.2	<b>Düngekalke . . . . .</b>	<b>336</b>
9.5.2.1	Rohstoffe und Herstellungs- verfahren . . . . .	336
9.5.2.2	Düngersortiment . . . . .	339
9.5.3	<b>Stickstoffdünger . . . . .</b>	<b>340</b>
9.5.3.1	Historisches . . . . .	340
9.5.3.2	Rohstoffe und Herstellungs- verfahren . . . . .	342
9.5.3.3	Düngersortiment . . . . .	344
9.5.4	<b>Phosphatdünger . . . . .</b>	<b>350</b>
9.5.4.1	Historisches . . . . .	350
9.5.4.2	Rohstoffe und Herstellungs- verfahren . . . . .	351
9.5.4.3	Düngersortiment . . . . .	352
9.5.5	<b>Kalidünger . . . . .</b>	<b>356</b>
9.5.5.1	Historisches . . . . .	356
9.5.5.2	Rohstoffe und Herstellungs- verfahren . . . . .	357
9.5.5.3	Düngersortiment . . . . .	358
9.5.6	<b>Mehrnährstoffdünger . . . . .</b>	<b>360</b>
9.5.6.1	Historisches . . . . .	360
9.5.6.2	Herstellungsverfahren . . . . .	360
9.5.6.3	Düngersortiment . . . . .	361
9.5.6.3.1	PK-Dünger . . . . .	361
9.5.6.3.2	NP- und NPK-Dünger . . . . .	361
9.5.6.3.3	Düngermischungen . . . . .	362
9.5.6.4	Anwendungsgebiete von Einzel- und Mehrnähr- stoffdüngern . . . . .	365
9.5.7	<b>Dünger für Spezialzwecke (Mg-, S-, Ca- und Mikro- nährelementdünger) . . . . .</b>	<b>365</b>
9.5.7.1	Magnesiumdünger . . . . .	365
9.5.7.2	Schwefeldünger . . . . .	366
9.5.7.3	Calciumdünger . . . . .	366
9.5.7.4	Mikronährelementdünger . . . . .	367
9.5.7.5	Nährsalze und Blattdünger . . . . .	369
9.5.8	<b>Ressourcenverbrauch und Umweltaspekte . . . . .</b>	<b>369</b>
<b>9.6</b>	<b>Umweltgerechte und wirt- schaftlich sinnvolle Anwen- dung der Düngemittel . . . . .</b>	<b>371</b>
9.6.1	Prinzipielles Vorgehen bei der Düngeplanung . . . . .	371

9.6.2	Anwendung organischer Düngemittel . . . . .	372
9.6.3	Mineraldüngung . . . . .	378
9.6.3.1	Kalkung . . . . .	378
9.6.3.2	Phosphor-, Kalium- und Magnesiumdüngung . . . . .	384
9.6.3.3	Stickstoff- und Schwefel- düngung . . . . .	391
9.6.3.4	Mikronährstoffdüngung . . . . .	400
9.6.3.5	Operative Düngungs- empfehlungen zur Bestandes- führung . . . . .	404
9.6.4	Düngung von Kulturpflanzen- gruppen auf einen Blick . . . . .	407
9.6.4.1	Vorbemerkungen . . . . .	407
9.6.4.2	Kulturpflanzengruppen . . . . .	408
9.6.4.2.1	Getreidearten . . . . .	408
9.6.4.2.2	Körnerleguminosen . . . . .	412
9.6.4.2.3	Öl- und Faserpflanzen . . . . .	413



9.6.4.2.4	Hackfrüchte . . . . .	413
9.6.4.2.5	Futterpflanzen . . . . .	414
9.6.4.2.6	Dauergrasland . . . . .	414
9.6.4.2.7	Freilandgemüsebau . . . . .	415
9.6.4.2.8	Sonderkulturen . . . . .	416
9.6.4.2.9	Baumobst (mit Zusatzbe- merkungen zu Beerenobst) . . .	416
9.6.5	Düngung unter speziellen Bedingungen . . . . .	420
9.6.5.1	Düngung im Ökologischen Landbau . . . . .	420
9.6.5.2	Erdelose Kultur (Hydroponik) .	424
<b>9.7</b>	<b>Ein Blick in die Zukunft . . . .</b>	<b>428</b>
	Anhang . . . . .	431
	Literaturverzeichnis . . . . .	437
	Bildnachweis . . . . .	453
	Sach- und Namenregister . . . . .	454