

# Inhaltsverzeichnis

## **Einleitung 1**

- I Zur Geschichte des Biologieunterrichts in Deutschland 1
- II Experimente als Erkenntnisquelle 5
- III Die Bedeutung schulischer Experimente 7
- Vorbemerkungen zu den Versuchen 13

## **1 Biologisch wichtige Makromoleküle und ihre Bausteine I: Mono-, Di-, Polysaccharide 15**

A Theoretische Grundlagen 15

- 1.1 Einleitung 15
- 1.2 Monosaccharide (einfache Zucker) 15
- 1.3 Glykoside, Di- und Oligosaccharide 18
- 1.4 Polysaccharide 20

B Versuche 23

### **V 1.1 Kohlenhydrate 23**

- V 1.1.1 Verkohlung von Zuckern mit Schwefelsäure 23
- V 1.1.2 Verkohlung von Zuckern: Pharaoschlangen 24
- V 1.1.3 Qualitativer Kohlenhydratnachweis nach MOLISCH 25

### **V 1.2 Mono- und Disaccharide 27**

- V 1.2.1 Nachweis von reduzierenden Zuckern: die FEHLINGSche bzw. BENEDICTSche Probe 27
- V 1.2.2 Nachweis von reduzierenden Zuckern: Reduktion von Methylenblau 29
- V 1.2.3 Enzymatischer Glucosenachweis 30
- V 1.2.4 Nachweis von Pentosen 31
- V 1.2.5 Nachweis von Ketohexose (SELIWANOFF-Probe) 33

### **V 1.3 Polysaccharide 34**

- V 1.3.1 Makromolekulare Struktur der Polysaccharide (FARADAY-TYNDALL-Effekt) 34
- V 1.3.2 Nachweis von Stärke in Lebensmitteln 35
- V 1.3.3 Mikroskopische Untersuchung von Stärkekörnern 36
- V 1.3.4 Nachweis von Cellulose 37

## viii Inhaltsverzeichnis

### 2 Biologisch wichtige Makromoleküle und ihre Bausteine II: Aminosäuren, Peptide, Proteine 39

A Theoretische Grundlagen 39

2.1 Einleitung 39

2.2 Aminosäuren – die Bauelemente der Proteine 40

2.3 Primärstruktur der Proteine 43

2.4 Sekundärstruktur 44

2.5 Tertiär- und Quartärstruktur, supramolekulare Strukturen 45

B Versuche 47

V 2.1 Aminosäuren 47

    V 2.1.1 Nachweis von Kohlenstoff, Sauerstoff, Schwefel, Stickstoff und Wasserstoff in Aminosäuren 47

    V 2.1.2 Farbreaktionen mit Ninhydrin 48

    V 2.1.3 Xanthoproteinreaktion 50

    V 2.1.4 Bestimmung der pH-Werte von Aminosäuren 51

    V 2.1.5 Pufferwirkung von Aminosäuren 52

    V 2.1.6 Papierchromatographische Trennung von Aminosäuren 53

    V 2.1.7 Dünnschichtchromatographische Trennung von Aminosäuren im Fruchtsaft der Zitrone 55

V 2.2 Peptide/Proteine 57

    V 2.2.1 Biuret-Reaktion 57

    V 2.2.2 Kolloidaler Charakter von Proteinen (FARADAY-TYNDALL-Effekt) 59

    V 2.2.3 Bedeutung des Cysteins bei Tertiärstrukturen 59

    V 2.2.4 Fällung von Proteinen 61

### 3 Eigenschaften und Wirkungsweise von Enzymen 63

A Theoretische Grundlagen 63

3.1 Einleitung 63

3.2 Chemische Struktur der Enzyme 64

3.3 Enzyme verringern die Aktivierungsenergie 65

3.4 Mechanismus der enzymatischen Katalyse 66

3.5 Kinetik der Enzymreaktionen 67

3.6 Beeinflussung und Regulation von Enzymen 69

3.7 Einteilung und Nomenklatur der Enzyme 71

B Versuche 72

V 3.1 Wirkungsweise von Enzymen 72

    V 3.1.1 Katalytische und biokatalytische Zersetzung von Wasserstoffperoxid 72

    V 3.1.2 Verringerung der Aktivierungsenergie durch Urease 74

V 3.1.3	Aktivität der Katalase bei verschiedenen Substratkonzentrationen 76
V 3.2	Eigenschaften von Enzymen 78
V 3.2.1	Substratspezifität und kompetitive Hemmung der Urease 78
V 3.2.2	Enzymhemmung durch Schwermetalle 79
V 3.2.3	pH-Abhängigkeit des Stärkeabbaus durch die Mundspeichel-Amylase 80
V 3.2.4	Abhängigkeit der Katalaseaktivität vom pH-Wert 83
V 3.2.5	Einfluss der Temperatur auf die Enzymaktivität am Beispiel der Urease 84
V 3.2.6	Todesringe und Todestreifen 86
V 3.2.7	Haushaltstipp: Braunfärbung aufgeschnittener Äpfel 88
<b>4</b>	<b>Bau, Eigenschaften und Funktionen von Biomembranen</b>
	<b>Die pflanzliche Zelle als osmotisches System 91</b>
A	Theoretische Grundlagen 91
4.1	Einleitung 91
4.2	Chemischer Aufbau von Membranen 92
4.3	Membranmodelle 94
4.4	Transportphänomene: Diffusion und Osmose 95
4.5	Die pflanzliche Zelle als osmotisches System, Wasserpotenzial der Zelle, Plasmolyse und Deplasmolyse 97
B	Versuche 99
V 4.1	Bau von Biomembranen 99
V 4.1.1	Vereinfachtes Modell einer Biomembran 99
V 4.2	Transportphänomene: Diffusion und Osmose 100
V 4.2.1	Diffusion von Kaliumpermanganat in Wasser 100
V 4.2.2	Modellversuch zur Osmose 101
V 4.2.3	Künstliche osmotische Zellen: der Chemische Garten 102
V 4.2.4	Osmometermodell der Pflanzenzelle 104
V 4.3	Osmotische Eigenschaften der Zelle 106
V 4.3.1	Selektive Permeabilität von Biomembranen 106
V 4.3.2	Osmotische Wirksamkeit verschiedener Substanzen 108
V 4.3.3	Welken durch Turgorverlust 109
V 4.3.4	Plasmolyse und Deplasmolyse 110
V 4.4	Membranschädigungen 112
V 4.4.1	Schädigung von Biomembranen durch Tenside 112
V 4.4.2	Austritt von Vakuolenfarbstoffen als Indikator einer Membranschädigung 113

**x Inhaltsverzeichnis**

**5 Wasserhaushalt der Pflanzen 115**

A Theoretische Grundlagen 115

  5.1 Einleitung 115

  5.2 Besondere physikalische und chemische Eigenschaften des Wassers  
    115

  5.3 Verfügbarkeit von Wasser im Boden 117

  5.4 Wasseraufnahme 118

  5.5 Wasserabgabe 120

  5.6 Mechanismus des Wasserferntransports 122

B Versuche 124

  V 5.1 Wasserabgabe 124

    V 5.1.1 Blätter als Transpirationsorgane 124

    V 5.1.2 Nachweis der Lage und Transpiration der Spaltöffnungen 125

    V 5.1.3 Ein Blätter-Mobilé 127

    V 5.1.4 Mikroskopie von Spaltöffnungen mit einem Abdruckverfahren 128

    V 5.1.5 Modellversuch zum Randeffekt 129

    V 5.1.6 Besonderheiten bei Schwimtblättern 130

    V 5.1.7 Verdunstungsschutz durch Cuticula und Korkschicht 131

  V 5.2 Mechanismus des Wasserferntransports 132

    V 5.2.1 Gipspilzmodell 132

    V 5.2.2 Transpirationsmessung mit dem Potometer 134

    V 5.2.3 Demonstration des Transpirationssogs 135

  V 5.3 Wurzeldruck 136

    V 5.3.1 „Bluten“ verletzter Pflanzen 136

    V 5.3.2 Guttation 137

**6 Ernährung und stoffliche Zusammensetzung der Pflanzen 139**

A Theoretische Grundlagen 139

  6.1 Einleitung 139

  6.2 Nährelemente und Nährstoffe 140

  6.3 Verfügbarkeit der Pflanzennährstoffe 140

  6.4 Bedeutung der Mikroflora der Rhizosphäre 142

  6.5 Aufnahme der Nährstoffe durch die Pflanze 143

  6.6 Stoffliche Zusammensetzung der Pflanzen 145

  6.7 Funktionen der einzelnen Nährelemente und Ernährungszustände der Pflanze 145

B Versuche 147

  V 6.1 Nährstofferschließung im Boden durch Pflanzen 147

    V 6.1.1 Ladung der Bodenkolloide 147

V 6.1.2	Protonenabgabe durch die Wurzel	148
V 6.1.3	Ionen austausch an den Bodenkolloiden	150
V 6.1.4	Der „Marmorplattenversuch“	151
V 6.1.5	Reduktion von Eisen(III)-Ionen durch Wurzeln	152
V 6.1.6	Aktivität von sauren Phosphatasen im Wurzelbereich	153
V 6.2	Stoffliche Zusammensetzung der Pflanzen	154
V 6.2.1	Bestimmung des Wassergehalts von Pflanzen	154
V 6.2.2	Einfache Elementaranalyse der Trockensubstanz	155
V 6.2.3	Bestimmung des Aschegehalts an der Trockensubstanz	157
V 6.2.4	Qualitative Analyse von Pflanzenasche	159
V 6.3	Einfluss der Nährelemente auf das Wachstum der Pflanzen	161
V 6.3.1	Visuelle Symptome eines Nährstoffmangels (Mangelkulturen)	161
<b>7</b>	<b>Photosynthese I: Energieumwandlung</b>	<b>165</b>
A	Theoretische Grundlagen	165
7.1	Einleitung	165
7.2	Chloroplasten als Organellen der Photosynthese	165
7.3	Chlorophylle und Carotinoide	167
7.4	Lichtabsorption und Energieleitung in den Pigmentantennen	170
7.5	Z-Schema des photosynthetischen Elektronentransports	173
7.6	Photophosphorylierung – Bildung des Energieäquivalents	178
B	Versuche	181
V 7.1	Chloroplasten als Organellen der Photosynthese	181
V 7.1.1	Lichtmikroskopische Beobachtung von Chloroplasten	181
V 7.2	Isolation und Trennung der Chloroplastenfarbstoffe (Chlorophylle und Carotinoide)	183
V 7.2.1	Extraktion der Photosynthesepigmente aus Blättern – Gewinnung eines Rohchlorophyllextrakts	183
V 7.2.2	Trennung der Blattpigmente durch Ausschütteln und Verseifung des Chlorophylls	184
V 7.2.3	Papierchromatographische Trennung der Chloroplastenfarbstoffe	186
V 7.2.4	Chromatographie mit Tafelkreide	189
V 7.2.5	Dünnschichtchromatographische Trennung der Chloroplastenfarbstoffe	191
V 7.3	Lichtabsorption der Chloroplastenfarbstoffe	194
V 7.3.1	Lichtabsorption durch eine Rohchlorophylllösung (Vergleich dicker und dünner Chlorophyllschichten)	194

## xii Inhaltsverzeichnis

V 7.3.2	Lichtabsorption durch verschiedene dicke Blattschichten	196
V 7.3.3	Lichtabsorption durch eine Carotinlösung	197
V 7.4	Eigenschaften des Chlorophylls	198
V 7.4.1	Chlorophyllabbau durch Säuren – Pheophytinbildung; Kupferchlorophyll	198
V 7.4.2	Umfärben von Blättern beim Kochen (Pheophytinbildung)	200
V 7.4.3	Fluoreszenz von Chlorophyll in Lösung (in vitro)	201
V 7.5	Photochemische Aktivität	202
V 7.5.1	Fluoreszenz von Chlorophyll an Blättern (in vivo), Steigerung der Chlorophyllfluoreszenz durch Hemmung der Photosynthese mit Herbiziden sowie durch tiefe Temperatur	202
V 7.5.2	Photoreduktion von Methylrot durch Chlorophyll und Ascorbinsäure	204
V 7.5.3	Einfacher Versuch zur HILL-Reaktion mit DCPIP (Dichlorphenolindophenol) als Elektronenakzeptor	206
V 7.5.4	Einfacher Versuch zur HILL-Reaktion mit Ferricyanid als Elektronenakzeptor	209

## 8 Photosynthese II:

### Substanzumwandlung und Ökologie der Photosynthese 211

#### A Theoretische Grundlagen 211

##### 8.1 Einleitung 211

##### 8.2 CO<sub>2</sub>-Assimilation (CALVIN–BENSON–Zyklus) 212

##### 8.3 Lichtatmung (Photorespiration) 215

##### 8.4 C<sub>4</sub>-Pflanzen 218

##### 8.5 Crassulaceen-Säurestoffwechsel (CAM) 222

##### 8.6 Anpassung an die Lichtbedingungen 225

#### B Versuche 226

##### V 8.1 Nachweis des bei der Photosynthese gebildeten Sauerstoffs 226

###### V 8.1.1 Pflanzen machen „verbrauchte“ Luft wieder „frisch“ 226

###### V 8.1.2 „Nagelprobe“: Abhängigkeit der Sauerstoffbildung vom Licht 229

###### V 8.1.3 Nachweis der Sauerstoffbildung mit Indigocarmine 231

###### V 8.1.4 Messung der Photosyntheseintensität mit der Aufschwimm-methode 232

##### V 8.2 Nachweis der photosynthetisch gebildeten Stärke in Blättern 235

###### V 8.2.1 Chloroplasten als Ort der photosynthetischen Stärkebildung 235

###### V 8.2.2 Abhängigkeit der Stärkebildung vom Licht 236

V 8.2.3	Abhängigkeit der Stärkebildung vom Kohlendioxidgehalt der Luft	239
V 8.2.4	Stärkenachweis an panaschierten Blättern	241
V 8.3	Beobachtungen und Experimente bei C <sub>4</sub> -Pflanzen	243
V 8.3.1	Vergleichende anatomische Untersuchung der Blattquerschnitte von C <sub>3</sub> - und C <sub>4</sub> -Pflanzen	243
V 8.3.2	Stärkebildung in Maisblattern	245
V 8.3.3	Nachweis des nichtzyklischen Elektronentransports in den Mesophyllchloroplasten von Maisblattern mithilfe der HILL-Reaktion	247
V 8.3.4	Nachweis der unterschiedlichen Photosynthese-Effektivität von C <sub>3</sub> - und C <sub>4</sub> -Pflanzen	249
V 8.3.5	Kohlendioxid-Konkurrenz zwischen C <sub>3</sub> - und C <sub>4</sub> -Pflanzen	252
V 8.4	Experimente zum Crassulaceen-Saurestoffwechsel (CAM)	254
V 8.4.1	Kohlendioxid-Fixierung der CAM-Pflanzen bei Nacht	254
V 8.4.2	Diurnaler Saurerhythmus der CAM-Pflanzen: pH-Bestimmung im Zellsaft	256
V 8.4.3	Diurnaler Saurerhythmus der CAM-Pflanzen: Dünnschichtchromatographie der Säuren des Zellsaftes	259
V 8.5	Anpassung Höherer Pflanzen an die Lichtbedingungen	262
V 8.5.1	Vergleichende anatomische Untersuchung von Sonnen- und Schattenblättern	262
<b>9</b>	<b>Dissimilation I:</b>	
	<b>Glykolyse und Gärung (anaerobe Dissimilation)</b>	<b>265</b>
A	Theoretische Grundlagen	265
9.1	Einleitung	265
9.2	Bereitstellung des Ausgangssubstrats	266
9.3	Glykolyse	266
9.4	Gärung (anaerober Stoffwechsel)	271
B	Versuche	274
V 9.1	Versuche zur Glykolyse	274
V 9.1.1	Entstehung von Reduktionsäquivalenten im Verlauf der Glykolyse	274
V 9.2	Alkoholische Gärung	276
V 9.2.1	Substratabhängigkeit der alkoholischen Gärung	276
V 9.2.2	Entstehung von Kohlendioxid bei der alkoholischen Gärung	278

## xiv Inhaltsverzeichnis

- V 9.2.3 Nachweis von Acetaldehyd als Zwischenprodukt der alkoholischen Gärung 280
  - V 9.2.4 Nachweis von Ethanol durch Verbrennen 281
  - V 9.2.5 Nachweis von Ethanol mit Kaliumdichromat 282
  - V 9.2.6 Teiglockerung durch Hefe 284
  - V 9.2.7 Temperaturabhängigkeit der Hefe-Enzyme 285
  - V 9.2.8 Energieausbeute gärender Hefepilze 287
  - V 9.2.9 Herstellung von Met 289
  - V 9.2.10 Schädigende Wirkung von Alkohol 291
  - V 9.3 Milchsäuregärung 294
    - V 9.3.1 Herstellung von Joghurt 294
    - V 9.3.2 Darstellung von Milchsäurebakterien aus Joghurt 295
    - V 9.3.3 Herstellung von Sauerkraut 297
  - V 9.4 Essigsäurebildung 299
    - V 9.4.1 Herstellung von Weinessig 299
- ## 10 Dissimilation II: Atmung (aerobe Dissimilation) 303
- A Theoretische Grundlagen 303
    - 10.1 Einleitung 303
    - 10.2 Mitochondrien 303
    - 10.3 Umwandlung von Pyruvat in Acetyl-Coenzym A 304
    - 10.4 Citratzyklus 305
    - 10.5 Endoxidation, Atmungskette 306
    - 10.6 Alternative Wege der NADH-Oxidation in pflanzlichen Mitochondrien (Überlaufmechanismen) 309
  - B Versuche 311
    - V 10.1 Kohlendioxidstehung und Sauerstoffverbrauch bei der Atmung 311
      - V 10.1.1 Sichtbarmachen der Atmung 311
      - V 10.1.2 Kohlendioxidstehung bei der Atmung: qualitativer Nachweis 313
      - V 10.1.3 Kohlendioxidstehung bei der Atmung: quantitativer Nachweis 315
      - V 10.1.4 Nachweis des Sauerstoffverbrauchs und der Kohlendioxidproduktion bei der Atmung durch den Kerzentest 317
      - V 10.1.5 Nachweis des Sauerstoffverbrauchs und der Kohlendioxidproduktion von Weizenkeimlingen durch das WARBURG-Manometer 319

V 10.1.6	Vergleich der Respirationsquotienten von kohlenhydratreichen und fettreichen Keimlingen	321
V 10.1.7	Gegenüberstellung von Atmung und Photosynthese	322
V 10.2	Einzelne Reaktionsschritte der Atmung	323
V 10.2.1	Modellversuch zur Oxidation des Pyruvats	323
V 10.2.2	Modellversuch zu den wasserstoffübertragenden Enzymen im Citratzyklus	324
V 10.2.3	Modellversuch zur Atmungskette	326
V 10.3	Wärmeabgabe bei der Atmung	329
V 10.3.1	Wärmeabgabe bei der Atmung	329
<b>11</b>	<b>Phytohormone</b>	<b>331</b>
A	Theoretische Grundlagen	331
11.1	Einleitung	331
11.2	Auxine	333
11.3	Gibberelline	336
11.4	Cytokinine	338
11.5	Abscisinsäure	339
11.6	Ethylen	340
11.7	Weitere Gruppen von Phytohormonen	342
B	Versuche	343
V 11.1	Auxine	343
V 11.1.1	Einfluss von IES auf das Streckungswachstum	343
V 11.1.2	Adventivwurzelbildung durch IES	346
V 11.1.3	Einfluss von IES auf die apikale Dominanz	348
V 11.1.4	Hemmung des Blattabwurfs durch IES	350
V 11.2	Gibberelline	352
V 11.2.1	Wirkung von Gibberellinen auf das Längenwachstum bei Zwergerbsen	352
V 11.3	Cytokinine	354
V 11.3.1	Verzögerung der Blattseneszenz durch Cytokinine	354
V 11.3.2	Der Kotyledonen-Biotest	356
V 11.4	Abscisinsäure	357
V 11.4.1	Hemmung der Samenkeimung durch Abscisinsäure	357
V 11.5	Ethylen	359
V 11.5.1	Ethylen-Biotest: Dreifach-Reaktion	359
V 11.5.2	Förderung des Blattfalls durch Ethylen	360
V 11.5.3	Förderung der Fruchtreifung durch Ethylen	362

<b>12 Samenbau und Samenkeimung 365</b>
A Theoretische Grundlagen 365
12.1 Einleitung 365
12.2 Bau und Entwicklung der Samen 365
12.3 Samenkeimung 369
B Versuche 373
V 12.1 Bau der Samen 373
V 12.1.1 Bau der Samen der Feuerbohne 373
V 12.2 Quellung 374
V 12.2.1 Beobachtung der Quellung bei Kressesamen 374
V 12.2.2 Quellung als rein physikalischer Prozess 375
V 12.2.3 Demonstration des Quellungsdrucks 376
V 12.3 Keimung 377
V 12.3.1 Darstellung verschiedener Keimungsstadien 377
V 12.3.2 Epigäische und hypogäische Keimung 378
V 12.3.3 Abhängigkeit der Keimung von der Sauerstoffversorgung 380
V 12.3.4 Nachweis von Dehydrogenasen in keimenden Getreidekörnern 381
V 12.3.5 Abbau von Stärke bei der Keimung 383
V 12.4 Sperrmechanismen der Keimung 385
V 12.4.1 Keimungshemmung durch Sperrsichten und Inhibitoren im Samen 385
V 12.4.2 Keimungshemmende Wirkung des Fruchtfleischs 386
V 12.4.3 Einfluss ätherischer Öle auf die Keimung 387
V 12.5 Der ökologische Vorteil der Samenruhe 388
V 12.5.1 Resistenz von Weizenkörnern gegenüber Temperaturextremen 388
<b>13 Physiologie der Bewegungen 391</b>
A Theoretische Grundlagen 391
13.1 Einleitung 391
13.2 Bewegungen lebender Organe 392
13.3 Sonstige Bewegungen 399
13.4 Bewegungen in den Zellen 400
13.5 Freie Ortsbewegungen (Lokomotionen) 401
B Versuche 403
V 13.1 Phototropismus 403
V 13.1.1 Lichtinduzierte Krümmungsbewegungen bei Erbsenkeimlingen 403

- V 13.1.2 Phototrope Krümmung bei Senfkeimlingen 404
- V 13.1.3 Versuche zum Resultantengesetz 406
- V 13.2 Gravitropismus 407
  - V 13.2.1 Verlagerung von Amyloplasten unter dem Einfluss der Schwerkraft 407
  - V 13.2.2 Gravitative Krümmung von Sprossachse und Wurzel 409
  - V 13.2.3 Gravitropische Krümmungsversuche am Klinostaten 410
- V 13.3 Chemotropismus 412
  - V 13.3.1 Chemotropismus von Keimwurzeln 412
- V 13.4 Nastien 413
  - V 13.4.1 Thermonastische Bewegungen bei Tulpenblüten 413
  - V 13.4.2 Seismonastische Bewegungen bei der Mimoze 414
  - V 13.4.3 Thigmonastische Bewegungen der Blätter der Venusfliegenfalle 416
  - V 13.4.4 Thigmonastische Rankenbewegungen bei Erbsenkeimlingen 419
- V 13.5 Quellungsbewegungen (hygroskopische Bewegungen) 420
  - V 13.5.1 Quellungsbewegungen bei Kiefernzapfen 420
- V 13.6 Bewegungen in den Zellen 421
  - V 13.6.1 Plasmaströmung in Zellen der Wasserpest 421
  - V 13.6.2 Chloroplastenbewegung bei Mougeotia 422
  - V 13.6.3 Lichtbedingte Positionierung der Chloroplasten von Moosblättchen 424

**Literatur 427**

**Index 431**