

**Biologische Arbeitsbücher** \_\_\_\_\_ **56**

**Aloysius Wild**

**Pflanzenphysiologische Versuche  
in der Schule**

**Quelle & Meyer Verlag Wiebelsheim**

## Inhaltsverzeichnis

<b>Einleitung</b>		<b>1</b>
I	Zur Geschichte des Biologieunterrichts in Deutschland	1
II	Die experimentelle Erkenntnismethode	5
III	Die Bedeutung schulischer Experimente	7
<b>Kapitel 1</b>	<b>Biologisch wichtige Makromoleküle und ihre Bausteine I: Mono-, Di- und Polysaccharide</b>	<b>12</b>
A	Theoretische Grundlagen	12
1.1	Einleitung	12
1.2	Monosaccharide (einfache Zucker)	13
1.3	Glykoside, Di- und Oligosaccharide	15
1.4	Polysaccharide	17
B	Versuche	20
V 1.1	Kohlenhydrate	20
V 1.1.1	Verkohlung von Zuckern: Zersetzung von Zucker mit Schwefelsäure	20
V 1.1.2	Verkohlung von Zuckern: Pharaoschlangen	21
V 1.1.3	Allgemein qualitativer Kohlenhydratnachweis nach MOLISCH	22
V 1.2	Mono- und Disaccharide	24
V 1.2.1	Nachweis von reduzierenden Zuckern: Die FEHLINGSche Probe	24
V 1.2.2	Nachweis von reduzierenden Zuckern: Reduktion von Methylenblau	25
V 1.2.3	Enzymatischer Glucosenachweis	26
V 1.2.4	Nachweis von Pentosen	28
V 1.2.5	Nachweis von Ketohexosen (SELIWANOFF-Probe)	29
V 1.3	Polysaccharide	30
V 1.3.1	Makromolekulare Struktur der Polysaccharide (FARADAY-TYNDALL-Effekt)	30
V 1.3.2	Nachweis von Stärke	31
V 1.3.3	Nachweis von Cellulose	33

<b>Kapitel 2</b>	<b>Biologisch wichtige Makromoleküle und ihre Bausteine II: Aminosäuren, Peptide, Proteine</b>	<b>34</b>
A	Theoretische Grundlagen	34
2.1	Einleitung	34
2.2	Aminosäuren — Die Bauelemente der Proteine	35
2.3	Die Primärstruktur der Proteine	37
2.4	Die Sekundärstruktur	38
2.5	Tertiär- und Quartärstruktur, supramolekulare Strukturen	40
B	Versuche	42
V 2.1	Aminosäuren	42
V 2.1.1	Nachweis von Kohlenstoff, Sauerstoff, Schwefel, Stickstoff und Wasserstoff in Aminosäuren	42
V 2.1.2	Farbreaktionen mit Ninhydrin	43
V 2.1.3	Xanthoproteinreaktion	44
V 2.1.4	Bestimmung der pH-Werte von Aminosäuren	46
V 2.1.5	Pufferwirkung von Aminosäuren	47
V 2.1.6	Chromatographische Trennung von Aminosäuren	48
V 2.1.7	Auftrennung von Aminosäuren im Fruchtsaft der Zitrone	50
V 2.2	Peptide/Proteine	52
V 2.2.1	Biuret-Reaktion	52
V 2.2.2	Kolloidaler Charakter von Proteinen (FARADAY-TYNDALL-Effekt)	53
V 2.2.3	Bedeutung des Cysteins bei Tertiärstrukturen	54
V 2.2.4	Fällung von Proteinen	55
<b>Kapitel 3</b>	<b>Eigenschaften und Wirkungsweise von Enzymen</b>	<b>57</b>
A	Theoretische Grundlagen	57
3.1	Einleitung	57
3.2	Chemische Struktur der Enzyme	58
3.3	Enzyme erniedrigen die Aktivierungsenergie	59
3.4	Mechanismus der enzymatischen Katalyse	60

## VIII

3.5	Kinetik der Enzymreaktionen	61
3.6	Beeinflussung und Regulation von Enzymen	63
3.7	Einteilung und Nomenklatur der Enzyme	64
<b>B</b>	<b>Versuche</b>	<b>66</b>
V 3.1	Wirkungsweise von Enzymen	66
V 3.1.1	Katalytische und biokatalytische Zersetzung von Wasserstoffperoxid	66
V 3.1.2	Erniedrigung der Aktivierungsenergie durch Urease	68
V 3.1.3	Zersetzung von $H_2O_2$ durch Katalase bei verschiedenen Substratkonzentrationen	69
V 3.2	Eigenschaften von Enzymen	72
V 3.2.1	Substratspezifität und kompetitive Hemmung der Urease	72
V 3.2.2	Enzymhemmung durch Schwermetalle	74
V 3.2.3	pH-Abhängigkeit des Stärkeabbaus durch die Mundspeichel-Amylase	75
V 3.2.4	Abhängigkeit der Katalaseaktivität vom pH-Wert	77
V 3.2.5	Einfluss der Temperatur auf die Enzymaktivität am Beispiel der Urease	79
V 3.2.6	Todesringe und Todesstreifen	81
V 3.2.7	Der Haushaltstipp: Die Braunfärbung aufgeschnittener Äpfel	83

## **Kapitel 4 Bau, Eigenschaften und Funktionen von Biomembranen**

### **Die pflanzliche Zelle als osmotisches System**

**85**

<b>A</b>	<b>Theoretische Grundlagen</b>	<b>85</b>
4.1	Einleitung	85
4.2	Chemischer Aufbau von Membranen	86
4.3	Membranmodelle	88
4.4	Transportphänomene: Diffusion und Osmose	89
4.5	Die pflanzliche Zelle als osmotisches System, Wasserpotential der Zelle, Plasmolyse und Deplasmolyse	91
<b>B</b>	<b>Versuche</b>	<b>93</b>
V 4.1	Bau von Biomembranen	93

V 4.1.1	Vereinfachtes Modell einer Biomembran	93
V 4.2	Transportphänomene: Diffusion und Osmose	94
V 4.2.1	Diffusion von Kaliumpermanganat in Wasser	94
V 4.2.2	Osmose-Grundmodell	95
V 4.2.3	Künstlich osmotische Zellen: Der Chemische Garten	96
V 4.2.4	Osmometermodell der Pflanzenzelle	98
V 4.3	Die osmotischen Eigenschaften der Zelle	100
V 4.3.1	Semipermeabilität von Membranen	100
V 4.3.2	Osmose pflanzlicher Gewebe	102
V 4.3.4	Welken durch Turgorverlust	103
V 4.3.5	Plasmolyse und Deplasmolyse	104
V 4.4	Membranschädigungen	106
V 4.4.1	Einwirkung von Spülmittel auf die Schraubenalge <i>Spirogyra</i>	106
V 4.4.2	„Ausbluten“ von Rotkohl durch äußere Einflüsse	107

## **Kapitel 5 Ernährung und stoffliche Zusammensetzung der Pflanzen** **109**

<b>A</b>	<b>Theoretische Grundlagen</b>	<b>109</b>
5.1	Einleitung	109
5.2	Nährelemente und Nährstoffe	110
5.3	Verfügbarkeit der Pflanzennährstoffe	110
5.4	Rhizosphäre und Mykorrhiza	112
5.5	Aufnahme der Nährstoffe durch die Pflanze	113
5.6	Stoffliche Zusammensetzung der Pflanzen	115
5.7	Funktionen der einzelnen Nährelemente und Ernährungszustände der Pflanze	115
<b>B</b>	<b>Versuche</b>	<b>117</b>
V 5.1	Nährstofferschließung im Boden durch Pflanzen	117
V 5.1.1	Ladung der Bodenkolloide	117
V 5.1.2	Protonenabgabe durch die Wurzel	118
V 5.1.3	Ionenaustausch an den Bodenkolloiden	120
V 5.1.4	Der „Marmorplattenversuch“	121
V 5.1.5	Reduktion von Eisen(III)-Ionen durch Wurzeln	122
V 5.1.6	Phosphatasenwirkung	123
V 5.2	Stoffliche Zusammensetzung der Pflanzen	125

## X

V 5.2.1	Bestimmung des Wassergehaltes von Pflanzen	125
V 5.2.2	Einfache Elementaranalyse der Trockensubstanz	126
V 5.2.3	Bestimmung des Aschegehaltes an der Trockensubstanz	127
V 5.2.4	Qualitative Analyse von Pflanzenasche	129
V 5.3	Einfluss der Nährelemente auf das Wachstum der Pflanzen (Mangelkulturen)	131

## **Kapitel 6. Wasserhaushalt der Pflanzen** **134**

<b>A</b>	<b>Theoretische Grundlagen</b>	<b>134</b>
6.1	Einleitung	134
6.2	Besondere physikalische und chemische Eigenschaften des Wassers	134
6.3	Die Verfügbarkeit von Wasser im Boden	136
6.4	Die Wasseraufnahme	137
6.5	Die Wasserabgabe	139
6.6	Der Mechanismus des Wasserferntransports	141
<b>B</b>	<b>Versuche</b>	<b>143</b>
V 6.1	Die Wasserabgabe	143
V 6.1.1	Blätter als Transpirationsorgane	143
V 6.1.2	Nachweis der Lage und Transpiration der Spaltöffnungen	144
V 6.1.3	Ein Blätter-Mobilé	145
V 6.1.4	Mikroskopieren von Spaltöffnungen	146
V 6.1.5	Modellversuch zum Randeffect	147
V 6.1.6	Besonderheiten bei Schwimmblättern	148
V 6.1.7	Verdunstungsschutz durch Cuticula und Korkschicht	150
V 6.2	Der Mechanismus des Wasserferntransports	151
V 6.2.1	Das Gipspilzmodell	151
V 6.2.2	Transpirationsmessung mit dem Potometer	152
V 6.2.3	Demonstration des Transpirationssoges	154
V 6.3	Der Wurzeldruck	154
V 6.3.1	„Bluten“ verletzter Pflanzen	154
V 6.3.2	Guttation	155

<b>Kapitel 7</b>	<b>Photosynthese I: Energieumwandlung</b>	<b>157</b>
<b>A</b>	<b>Theoretische Grundlagen</b>	<b>157</b>
7.1	Einleitung	157
7.2	Die Chloroplasten als Organelle der Photosynthese	157
7.3	Die Chlorophylle und Carotinoide	159
7.4	Lichtabsorption und Energieleitung in den Pigmentantennen	161
7.5	Das Z-Schema des photosynthetischen Elektronentransports	164
7.6	Photophosphorylierung – Bildung des Energieäquivalents	168
<b>B</b>	<b>Versuche</b>	<b>171</b>
V 7.1	Die Chloroplasten als Organelle der Photosynthese	171
V 7.1.1	Lichtmikroskopische Betrachtung von Chloroplasten	171
V 7.2	Isolation und Trennung der Chloroplastenfarbstoffe (Chlorophylle und Carotinoide)	172
V 7.2.1	Extraktion der Photosynthesepigmente aus Blättern - Gewinnung eines Rohchlorophyllextrakts	172
V 7.2.2	Trennung der Blattpigmente durch Ausschütteln und durch Verseifung des Chlorophylls	174
V 7.2.3	Papierchromatographische Trennung der Chloroplastenfarbstoffe	176
V 7.2.4	Chromatographie mit Tafelkreide	179
V 7.2.5	Dünnschichtchromatographische Trennung der Chloroplastenfarbstoffe	181
V 7.3	Lichtabsorption der Chloroplastenfarbstoffe	183
V 7.3.1	Lichtabsorption durch eine Rohchlorophylllösung (Vergleich dicker und dünner Chlorophyllschichten)	183
V 7.3.2	Lichtabsorption durch verschieden dicke Blattschichten	185
V 7.3.3	Lichtabsorption durch eine Carotininlösung	186
V 7.4	Eigenschaften des Chlorophylls	188
V 7.4.1	Chlorophyllabbau durch Säuren – Pheophytinbildung; Kupferchlorophyll	188
V 7.4.2	Umfärben von Blättern beim Kochen (Pheophytinbildung)	189
V 7.4.3	Fluoreszenz von Chlorophyll in Lösung ( <i>in vitro</i> )	190
V 7.5	Photochemische Aktivität	192
V 7.5.1	Fluoreszenz von Chlorophyll an Blättern ( <i>in vivo</i> ), Steigerung der Chlorophyllfluoreszenz durch Hemmung der Photosynthese mit Herbiziden und durch tiefe Temperatur	192

V 7.5.2	Photoreduktion von Methylrot durch Chlorophyll und Ascorbinsäure	194
V 7.5.3	Einfacher Versuch zur HILL-Reaktion mit DCPIP (Dichlorphenolindophenol) als Elektronenakzeptor	196
V 7.5.4	Einfacher Versuch zur HILL-Reaktion mit Ferricyanid als Elektronenakzeptor	199

## **Kapitel 8 Photosynthese II: Substanzumwandlung und Ökologie der Photosynthese** **201**

<b>A</b>	<b>Theoretische Grundlagen</b>	<b>201</b>
8.1	Einleitung	201
8.2	Die CO <sub>2</sub> -Assimilation (CALVIN-Zyklus)	202
8.3	Lichtatmung (Photorespiration)	205
8.4	C <sub>4</sub> -Pflanzen	207
8.5	Crassulaceen-Säurestoffwechsel (CAM)	212
8.6	Anpassung an die Lichtbedingungen	214
<b>B</b>	<b>Versuche</b>	<b>215</b>
V 8.1	Nachweis des bei der Photosynthese gebildeten Sauerstoffs	215
V 8.1.1	Pflanzen machen „verbrauchte“ Luft wieder „frisch“	215
V 8.1.2	„Nagelprobe“: Abhängigkeit der Sauerstoffbildung vom Licht	218
V 8.1.3	Sauerstoffnachweis mit Indigocarmin: Abhängigkeit der Sauerstoffbildung von Kohlendioxid, Licht und Temperatur	220
V 8.1.4	Messung der Photosyntheseintensität mit der Aufschwimmethode	224
V 8.2	Nachweis der photosynthetisch gebildeten Stärke in Blättern	226
V 8.2.1	Die Chloroplasten als Ort der photosynthetischen Stärkebildung	226
V 8.2.2	Abhängigkeit der Stärkebildung vom Licht	228
V 8.2.3	Abhängigkeit der Stärkebildung vom Kohlendioxidgehalt der Luft	230
V 8.3	Beobachtungen und Experimente bei C <sub>4</sub> -Pflanzen	232
V 8.3.1	Vergleichende Betrachtung der Blattquerschnitte von C <sub>3</sub> - und C <sub>4</sub> -Pflanzen im Lichtmikroskop	232
V.8.3.2	Stärkebildung in Maisblättern	234

V 8.3.3	Nachweis des nichtzyklischen Elektronentransportes in den Mesophyllchloroplasten von Maisblättern mit Hilfe der HILL-Reaktion	236
V 8.3.4	Nachweis der unterschiedlichen Photosynthese Effektivität von C <sub>3</sub> - und C <sub>4</sub> -Pflanzen	239
V 8.3.5	Kohlendioxid-Konkurrenz zwischen C <sub>3</sub> - und C <sub>4</sub> -Pflanzen	241
V 8.4	Experimente zum Crassulaceen-Säurestoffwechsel (CAM)	244
V 8.4.1	Kohlendioxid-Fixierung der CAM-Pflanzen bei Nacht	244
V 8.4.2	Diurnaler Säurerhythmus der CAM-Pflanzen: pH Bestimmung im Zellsaft	246
V 8.5	Anpassung höherer Pflanzen an die Lichtbedingungen	248
V 8.5.1	Vergleichende anatomische Betrachtung von Sonnen- und Schattenblättern	248

## **Kapitel 9 Dissimilation I: Glykolyse und Gärung (anaerobe Dissimilation) 251**

A	Theoretische Grundlagen	251
9.1	Einleitung	251
9.2	Bereitstellung des Ausgangssubstrates	252
9.3	Glykolyse	252
9.4	Gärung (anaerober Stoffwechsel)	255
B	Versuche	258
V 9.1	Versuche zur Glykolyse und alkoholischen Gärung	258
V 9.1.1	Die Entstehung von Reduktionsäquivalenten im Verlauf der Glykolyse	258
V 9.1.2	Die Substratabhängigkeit der alkoholischen Gärung	260
V 9.2	Alkoholische Gärung	262
V 9.2.1	Die Entstehung von Kohlendioxid bei der alkoholischen Gärung	262
V 9.2.2	Der Nachweis von Acetaldehyd als Zwischenprodukt der alkoholischen Gärung	263
V 9.2.3	Der Nachweis von Ethanol durch Verbrennen	265
V 9.2.4	Der Nachweis von Ethanol mit Kaliumdichromat	266
V 9.2.5	Die Teiglockerung durch Hefe	267
V 9.2.6	Die Temperaturabhängigkeit der Hefe-Enzyme	269

## XIV

V 9.2.7	Die Energieausbeute gärender Hefepilze	271
V 9.2.8	Die Herstellung von Met	274
V 9.2.9	Die schädigende Wirkung von Alkohol	276
V 9.3	Milchsäuregärung	278
V 9.3.1	Die Herstellung von Joghurt	278
V 9.3.2	Die Herstellung von Sauerkraut	280
V 9.4	Essigsäurebildung	281
V 9.4.1	Die Herstellung von Weinessig	281

## **Kapitel 10 Dissimilation II: Atmung (aerobe Dissimilation)** **284**

<b>A</b>	<b>Theoretische Grundlagen</b>	<b>284</b>
10.1	Einleitung	284
10.2	Mitochondrien	284
10.3	Umwandlung von Pyruvat in Acetyl-Coenzym A	285
10.4	Citratzyklus	286
10.5	Endoxidation, Atmungskette	288
10.6	Alternative Wege der NADH-Oxidation in pflanzlichen Mitochondrien (Überlaufmechanismen)	290
10.7	Atmungsketten-Phosphorylierung (oxidative Phosphorylierung)	292
<b>B</b>	<b>Versuche</b>	<b>294</b>
V 10.1	Kohlendioxidstehung und Sauerstoffverbrauch bei der Atmung	294
V 10.1.1	Sichtbarmachen der Atmung	294
V 10.1.2	Die Kohlendioxidstehung bei der Atmung: qualitativer Nachweis	296
V 10.1.3	Die Kohlendioxidstehung bei der Atmung: quantitativer Nachweis	297
V 10.1.4	Nachweis des Sauerstoffverbrauchs und der Kohlendioxidproduktion bei der Atmung durch den Kerzentest	300
V 10.1.5	Nachweis des Sauerstoffverbrauchs und der Kohlendioxidproduktion von Weizenkeimlingen durch das Warburg- Manometer	302
V 10.1.6	Vergleich der Respirationsquotienten von kohlenhydratreichen und fettreichen Keimlingen	304

V 10.1.7	Gegenüberstellung von Atmung und Photosynthese	305
V 10.1.8	Kohlendioxidentstehung bei der menschlichen Atmung	307
V 10.2	Versuche zu konkreten Reaktionsschritten der Atmung	308
V 10.2.1	Modellversuch zur Oxidation des Pyruvats	308
V 10.2.2	Modellversuch zu den wasserstoffübertragenden Enzymen im Citratzyklus	309
V 10.2.3	Dünnschichtchromatographischer Nachweis von Säuren des Citratzyklus in verschiedenen Früchten	311
V 10.2.5	Modellversuch zur Atmungskette	313
V 10.2.6	Die Wärmeabgabe bei der Atmung	316

## Kapitel 11 Phytohormone 318

<b>A</b>	<b>Theoretische Grundlagen</b>	<b>318</b>
11.1	Einleitung	318 ✗
11.2	Auxine	320 ✗
11.3	Gibberelline	323 ✗
11.4	Cytokinine	324 ✓
11.5	Abscisine	325 ✗
11.6	Ethylen (Ethen)	326 ✓
<b>B</b>	<b>Versuche</b>	<b>327</b>
V 11.1	Auxine	327 ✗
V 11.1.1	Der Einfluss von IES auf das Streckungswachstum	327 ✗
V 11.1.2	Die Adventivwurzelbildung durch IES	330
V 11.1.3	Der Einfluß von IES auf die apikale Dominanz	332
V 11.1.4	Die Verminderung der Blattabscission durch IES	334 ✗
V 11.2	Gibberelline	336 ✗
V 11.2.1	Die Wirkung von Gibberellinen auf das Längenwachstum bei Zwergerbse	336
V 11.3	Cytokinine	337 ✗
V 11.3.1	Die Verzögerung der Blattseneszenz durch Cytokinine	337 ✗
V 11.3.2	Der Kotyledonen-Biotest	340
V 11.4	Abscisinsäure	341
V 11.4.1	Die Hemmung der Samenkeimung durch Abscisinsäure	341 ✗
V 11.5	Ethylen	343
V 11.5.1	Ethylen-Biotest: Dreifach-Reaktion	343

V 11.5.2	Die Förderung des Blattfalls durch Ethylen	345
V 11.5.3	Die Förderung der Fruchtreifung durch Ethylen	346

## **Kapitel 12 Same und Samenkeimung** **348**

<b>A</b>	<b>Theoretische Grundlagen</b>	<b>348</b>
12.1	Einleitung	348
12.2	Bau und Entwicklung der Samen	348
12.3	Die Samenkeimung	352
<b>B</b>	<b>Versuche</b>	<b>356</b>
V 12.1	Bau der Samen	356
V 12.1.1	Bau der Samen der Feuerbohne	356
V 12.2	Quellung	358
V 12.2.1	Beobachtung der Quellung bei Kressesamen	358
V 12.2.2	Quellung als rein physikalischer Prozess	359
V 12.2.3	Demonstration des Quellungsdrucks	360
V 12.3	Keimung	361
V 12.3.1	Darstellung verschiedener Keimungsstadien	361
V 12.3.2	Epigäische und hypogäische Keimung	362
V 12.3.3	Abhängigkeit der Keimung von der Sauerstoffversorgung	364
V 12.3.4	Abbau von Stärke bei der Keimung	365
V 12.4	Sperrmechanismen der Keimung	367
V 12.4.1	Keimungshemmung durch Sperrschichten und Inhibitoren im Samen	367
V 12.4.2	Keimungshemmende Wirkung des Fruchtfleischs	368
V 12.4.3	Einfluss ätherischer Öle auf die Keimung	369
V 12.5	Der ökologische Vorteil der Samenruhe	371
V 12.5.1	Temperaturbehandlung von Weizensamen	371

## **Kapitel 13 Physiologie der Bewegungen** **372**

<b>A</b>	<b>Theoretische Grundlagen</b>	<b>372</b>
13.1	Einleitung	372
13.2	Bewegungen lebender Organe	373

13.3	Sonstige Bewegungen	380
13.4	Bewegungen in den Zellen	381
13.5	Die freien Ortsbewegungen (Lokomotionen)	382
<b>B</b>	<b>Versuche</b>	<b>384</b>
V 13.1	Phototropismus	384
V 13.1.1	Lichtinduzierte Krümmungsbewegungen bei Erbsenkeimlingen	384
V 13.1.2	Phototrope Krümmungsversuche am Klinostaten	385
V 13.1.3	Versuche zum Resultantengesetz	387
V 13.1.4	Krümmungsversuch an Senfkeimlingen in Wasserkultur	388
V 13.2	Gravitropismus	389
V 13.2.1	Gravitrope Krümmungen von Sprossachse und Wurzel	389
V 13.2.2	Gravitropische Krümmungsversuche am Klinostaten	390
V 13.3	Chemotropismus	391
V 13.3.1	Chemisch induzierte Krümmungsbewegung	391
V 13.4	Nastien	393
V 13.4.1	Nastische Bewegungen bei Tulpenblüten (Thermonastie)	393
V 13.4.2	Nastische Bewegungen bei der Sinnpflanze <i>Mimosa pudica</i> (Seismonastie)	394
V 13.4.3	Thigmonastische Bewegungen der Blätter von <i>Dionaea</i> (Venusfliegenfalle)	396
V 13.4.4	Rankenbewegungen bei Erbsenkeimlingen (Thigmonastie)	398
V 13.5	Quellungsbewegungen (hygroskopische Bewegungen)	400
V 13.5.1	Quellungsbewegungen bei Kiefernzapfen	400
V 13.6	Bewegungen in den Zellen	401
V 13.6.1	Chloroplastenbewegung bei <i>Mougeotia</i>	401
V 13.6.2	Moosblättchen	402
<b>Literatur</b>		<b>404</b>
<b>Index</b>		<b>406</b>