
Inhaltsverzeichnis

Teil I	Einführung	1
1	Ökologie, Standort, Arbeitsfelder, Konzepte	3
1	Der Begriff Ökologie	4
2	Der Standort als kleinste ökologische Einheit	7
2.1	Die abiotischen Faktoren	10
2.2	Die biotischen Faktoren	11
2.3	Die Pflanze	11
3	Arbeitsfelder und Vorgehen experimenteller Ökologie	14
3.1	Die physiografische und biologische Erfassung des Standortes	15
3.2	Faktorenanalyse	17
3.3	Verifizierung	19
4	„Philosophie“ der experimentellen Pflanzenökologie	21
	Literatur	27
Teil II	Strahlung und Temperatur	29
2	Qualitäten, Quantitäten und Gesetzmäßigkeiten der Strahlung	31
1	Strahlungsgesetze	32
1.1	Schwarze Körper	34
1.2	Stefan-Boltzmann Gesetz	36
2	Sonnenstrahlung	39
3	Langwellige thermische Strahlung	47
4	Messprinzipien, Einheiten	50
4.1	Photosynthetisch aktive Strahlung	50
4.2	Globalstrahlung	54
4.3	Gesamtstrahlung	55
	Literatur	56
3	Wärme und Temperatur – Messung und Temperierung	57
1	Energie, Temperatur und spezifische Wärme	58
2	Wärmeübertragung	61

3	Methoden der Temperaturmessung	62
3.1	Flüssigkeitsthermometer	62
3.2	Infrarotthermometer	63
3.3	Widerstandsthermometer und Thermoelemente	63
4	Beispiele von Thermoelementmessenanordnungen	72
4.1	Beispiel 1: Die Thermoelementanordnung im Xylemflussmesser nach Cermak und Kucera	72
4.2	Beispiel 2: Das isopiestiche Psychrometer nach Boyer und Knipling	74
5	Wärmeaustausch mittels Peltier-Elementen	76
	Literatur	78
Teil III	Luft und Wind	79
4	Allgemeine Gasgesetze – Grundlagen ökophysiologischer Messung	81
1	Luft – ganz allgemein betrachtet	82
2	Satz des Avogadro	84
3	Boyle-Mariotte-Gesetz	85
4	Gay-Lussac-Gesetz	86
5	Allgemeines Gasgesetz	86
6	Ideale und reale Gase	88
7	Dalton-Partialdruckgesetz	89
8	Barometrische Höhenformel	90
9	Diffusionsgesetze	92
	Literatur	97
5	Atmosphäre und ihre Gase – Messung in Luft und Wasser	99
1	Gase und Pflanzenphysiologie, eine kurze Einführung	100
2	Löslichkeit von Gasen	101
3	CO ₂ -Messung in Luft (Infrarot-Gasanalyse)	106
4	O ₂ -Messung in Wasser und in Luft	111
4.1	Die Sauerstoffelektrode	111
4.2	Paramagnetische Sauerstoffbestimmung	111
4.3	Sauerstoffbestimmung mit Optode	115
	Literatur	119
6	Bewegte Luft – Wind, Grenzschicht, Konvektion und deren Bestimmung	121
1	Wind	122
2	Luftgrenzschicht	122
3	Definition der Konvektion	125
4	Ökologische Bedeutung von Grenzschicht und Konvektion für Blätter	128
5	Methoden der Windmessung	131
	Literatur	135

Teil IV	Wasser als physikalisch-chemische Substanz	137
7	Wasser in seinen drei Zustandsformen – Struktur und Chemie	139
1	Einige Bemerkungen zur Molekülstruktur von H ₂ O	140
2	Wasserstoffbrückenbindung	141
3	Struktur von festem und flüssigem Wasser	144
4	Oberflächenspannung, Kohäsion, Adhäsion und Kapillareffekt	147
5	Wasser als Lösungsmittel	152
	Literatur	157
8	Energetik des Wassers – chemisches Potenzial und Wasserpotenzial mit seinen Teil-Komponenten	159
1	Wasserpotenzial – eine kurze Einleitung	159
2	Gibbssche freie Enthalpie	160
3	Chemisches Potenzial	163
4	Definition des Wasserpotenzials	165
5	Druckpotenzial	168
6	Osmotisches Potenzial	171
	Literatur	182
9	Physik des Wasserdampfes – Luftfeuchte und Wasserdampfgradienten	183
1	Phasendiagramm des Wassers	184
2	Sättigungsdampfdruck von Wasser im ökologischen Temperaturbereich	190
3	Definitionen der Luftfeuchte	193
4	Angabe der Luftfeuchte bei unterschiedlichem Luftdruck	197
5	Definitionen des Luftfeuchtedefizits und des Wasserdampfgradienten	198
6	Luftfeuchte als thermodynamische Größe	201
7	Methoden der Luftfeuchteerfassung	205
7.1	Messung der relativen Luftfeuchte	205
7.2	Messung der absoluten Luftfeuchte	207
7.3	Qualitative Ermittlung des Luftfeuchtedefizits	214
	Literatur	216
Teil V	Gaswechsel der Blattorgane	217
10	Physikalische Grundlagen von Transpiration, CO₂-Aufnahme, Gasleitfähigkeiten und deren Bestimmungen	219
1	Gaswechsel – eine kurze Einführung	220
2	Transpirationsrate und Blattleitfähigkeit für Wasserdampf	225
3	Stomatäre, kutikuläre und Grenzschichtleitfähigkeit für Wasserdampf	227
4	Transpirationsrate und Blattleitfähigkeit für Wasserdampf in den neuen Einheiten	231

5	Netto-CO ₂ -Austauschrate und Blattleitfähigkeit für CO ₂	234
6	Abgeleitete Parameter aus Gaswechsellmessungen	235
7	Widerstand und Leitfähigkeit des Mesophylls während des Blattgaswechsels	240
7.1	Mesophyllleitfähigkeit für CO ₂ (^{Mes} <i>g</i> _{CO₂})	241
7.2	Implikationen für die Interpretation der Photosynthese	242
7.3	Die ökophysiologische Dimension von ^{Mes} <i>g</i> _{CO₂}	244
7.4	Mechanistische Grundlagen von ^{Mes} <i>g</i> _{CO₂}	246
7.5	Bestimmungsverfahren von ^{Mes} <i>g</i> _{CO₂}	247
7.6	Praktische Relevanz	247
8	Bezugsgrößen für Gaswechsellmessungen	248
9	Zahlenbeispiel	249
	Literatur	250
11	Methoden der Gaswechsellmessung – historische und aktuelle	251
1	Momentanmethode nach Stocker	252
2	Offene und geschlossene Gaswechsellmesssysteme	252
2.1	Porometer zur Wasserdampfdiffusion	253
2.2	Systeme zur gleichzeitigen Messung der Transpirationsrate und der Netto-CO ₂ -Austauschrate	257
3	Berechnung und Korrektur von Gaswechselldaten	272
	Literatur	281
12	Ergebnisbeispiele aus Gaswechseluntersuchungen	283
1	Blattgaswechsel	284
1.1	Abhängigkeit von Klimafaktoren	284
1.2	CO ₂ -Abhängigkeit	291
1.3	Blatt-Gaswechsel unter steigender CO ₂ -Konzentration der Atmosphäre	300
2	Gaswechsel anderer pflanzlicher Organe	306
2.1	Früchte	306
2.2	Koniferenzapfen	307
2.3	Sprossachsen (Stämme, Äste)	311
	Literatur	318
13	Sauerstoffgaswechsel	319
1	Messung des Sauerstoffgaswechsels von Blattstücken	320
1.1	Polarografische Sauerstoffmessung in der Gasphase	320
1.2	Verfahren	322
2	Einsatzmöglichkeiten	323
2.1	Beispiel: Analyse von Photosyntheseleistung und Energiedissipation der CAM-Epiphyte <i>Tillandsia ionantha</i>	324
	Literatur	325

Teil VI Chlorophyllfluoreszenz	327
14 Chlorophyllfluoreszenzanalyse	329
1 Theorie	330
1.1 Chlorophyll – Lichtabsorption, Absorptionsspektren und konjugierte Systeme	330
1.2 Lichtabsorptions- und Energiedissipationsvorgänge im Chlorophyllmolekül	336
1.3 Struktur und Funktion des Photosyntheseapparates	339
1.4 Schnelle und langsame Fluoreszenzinduktionskinetik – Kautsky-Effekt	345
2 Chlorophyllfluoreszenz-Messsysteme	354
2.1 Systeme mit kontinuierlich eingestrahltm Anregungslicht	354
2.2 Modulierte Fluorometer	355
2.3 Chlorophyllfluoreszenz-Bildanalysesysteme	357
3 Analyse von Fluoreszenzmessungen	360
3.1 Analyse der schnellen Kinetik	361
3.2 Analyse der langsamen Kinetik	367
4 Anwendungsbeispiele für Chlorophyllfluoreszenzanalysen	375
4.1 Herbizidresistenz	375
4.2 Hitzestress	376
4.3 Trockenstress	379
4.4 Ausbreitung von Stresssignalen in Blatt und Spross	382
Literatur	388
Teil VII Stabile Isotope in der Pflanze	391
15 Analyse stabiler Isotope	393
1 Analyse stabiler Isotope	394
1.1 Stabile Isotope – Definition und Eigenschaften	394
1.2 Erfassung und Analytik mit Massenspektrometrie	395
2 Bezüge zum Gasaustausch der Blattorgane	399
3 Stabile Isotope als Tracer	411
4 Bedeutung in der experimentellen Pflanzenökologie	419
Literatur	419
Teil VIII Wasser in der Pflanze	421
16 Wasserzustand der Pflanze	423
1 Wasserbilanz	424
2 Wasseraufnahme	426
2.1 Indirekte Messmethoden	426
2.2 Direkte Messmethode	429

3	Wasserzustand	431
4	Wassergehalt und daraus abgeleitete Größen	432
5	Wasserzustandsgleichung	436
5.1	Definition am Beispiel einer Einzelzelle	436
5.2	Alternative Ansätze zur Beschreibung des Wasserzustandes	439
5.3	Elastizitätsmodul und Wasserspeicherkapazität	441
5.4	Erweiterung des Modells auf Gewebe und Organe	445
6	Matrixpotenzial	446
7	Gravitationspotenzial und das Gesamtwasserpotenzial	450
	Literatur	452
17	Methoden der Wasserzustandsmessung – Kompensationsmethoden, Psychrometrie und Zelldrucksonde	455
1	Kompensationsmethode und Grenzplasmolyse	456
2	Psychrometrie	460
2.1	Psychrometer nach Richards und Ogata	461
2.2	Psychrometer nach Spanner	466
2.3	Taupunkthygrometrische Methode	469
2.4	Isopiestisches Psychrometer nach Boyer und Knipling	474
3	Zelldrucksonde nach Zimmermann und Steudle	484
4	<i>In situ</i> Turgor-Sensor nach Zimmermann (Yara/ZIM-Sensor)	492
	Literatur	495
18	Methoden der Wasserzustandsmessung – Druckkammer und Druck-Volumen-Analyse	497
1	Druckkammermethode nach Scholander	498
1.1	Prinzip	498
1.2	Aufbau der Druckkammer	498
1.3	Theorie der Druckkammermessung	500
1.4	Fehlermöglichkeiten und Probleme bei der Messung mit der Scholander-Druckkammer	503
2	Druck-Volumen-Analyse	510
2.1	Durchführung der Messung	512
2.2	Alternative Methoden der Versuchsdurchführung	513
2.3	Auswertung und Interpretation der Ergebnisse	517
3	Sperry-Apparatur	530
	Literatur	533
19	Wasserferntransport in der Pflanze – Grundlagen und Messverfahren	535
1	Ferntransport des Wassers in der Pflanze	536
2	<i>Heat-Pulse</i> -Methode	536
3	Prinzip der Massenflussmessung	538
3.1	<i>Heat Balance</i> -Methode	539
3.2	<i>Thermal Dissipation Probe</i>	542

3.3	<i>Heat Field Deformation-Methode</i>	546
3.4	<i>Heat Ratio-Methode</i>	549
3.5	<i>Thermal Dissipation Probe mit External Heating</i>	552
4	Bestimmung des Xylemmassenstroms – eine physikalisch „absolute“ Methode?	554
5	Welches der dargestellten Verfahren ist zu bevorzugen?	555
6	Ausgewählte Ergebnisse	555
7	Bedeutung in der experimentellen Pflanzenökologie	561
	Literatur	564
Teil IX Energieumsatz		567
20 Strahlungs- und Energieflüsse		569
1	Optische Blatteigenschaften	570
2	Strahlungsbilanz auf Blattebene	575
3	Energiebilanz von Blättern	579
3.1	Wärmeleitung	580
3.2	Wärmespeicherung	580
3.3	Wärmeaustausch	581
3.4	Energieumwandlungen	583
3.5	Das Blatt im Zentrum von Energieflüssen	587
4	Globale Energiebilanz und Klimaerwärmung	594
	Literatur	597
Stichwortverzeichnis		599