

# Inhaltsverzeichnis

Vorbemerkung 9

## Forschungsgeschichte

Sagen und Mythen 15  
 Naturbeobachtung 15  
 Leonardo da Vinci 19  
 Johann Alfonso Borelli 20  
 Sir George Cayley 21  
 Jules Étienne Marey 24  
 Otto Lilienthal 31  
 Erich von Holst 39  
 Alexander Lippisch 43  
 Zeitlupenanalysen 44  
 Windkanaluntersuchungen 49  
 Freifluguntersuchungen 50

*Gleit- und Segelflug*

Gleitflugparameter 54  
 Sinkgeschwindigkeit 56  
 Flügelseinstellung und Gleitgeschwindigkeit 57  
 Minimale Gleitgeschwindigkeiten 58  
 Variable Flügelstellungen 59  
 Vogel und Gleitflugzeug 60  
 Segelflug 60  
 Vertikalströmungen 62  
 Aufwindsegeln 62  
 Nutzung anthropogener Aufwinde 63  
 Hangwindsegeln 64  
 Wellensegeln 64  
 Thermiken 65  
 Thermische Aufwinde 66  
 Thermiksegelnde Vögel und Flugzeuge 66

Kurvensegeln 68  
 Konvergente Flügelformen bei Landsegeln 69  
 Thermiksuchen 71  
 Energetik des Überlandsegelns 72  
 Leewellensegeln 73  
 Dynamischer Segelflug bei der Alpendohle 73  
 Dynamischer Segelflug beim Albatros 74  
 Optimalsegler Geier-Albatros 77

## Energiehaushalt

Langstreckenflüge 82  
 Meßmethoden zur Energetik 82  
 Stoffwechselleistung und Flugleistung 84  
 Muskelwirkungsgrad 84  
 Respiratorische Messungen 85  
 Biologische Treibstoffe und RQ 86  
 Leistungsbestimmung über den Sauerstoffverbrauch 87  
 Windkanaladressuren 88  
 Dressur-Stufenprogramm 91  
 Dressurleistungs-Zeit-Diagramm 92  
 Stoffwechselsteigerung beim Flug 95  
 Stoffwechselleistungs-Kurven 96  
 Minimalleistung bei Optimalgeschwindigkeit 97  
 Transportkosten 98  
 Transportkosten-Vergleich 99  
 Wärmeabfuhr 100  
 Wärmemessungen beim Flug 101  
 Thermoregulation 102  
 Massenverlust 103  
 Wasserverlust 106

- Wärmeabfuhr über das ausgeatmete Wasser 107
- Wärmeverlust über den Oxidationswasser-Anteil 108
- Grenzwerte für den Wasserverlust 109
- Kompensatorische Verhaltensweisen 110
- Unterschiedliche Wasserhaushalts-Strategien 111
- Große Vögel – kleine Vögel*
- Märchen vom Floh und Getreidehalm 116
- Massenabhängigkeit der Flächenbelastung 116
- Proportionsansätze 119
- Die »Leistungsschere« 120
- Riesenflugsaurier 121
- Massenabhängigkeit der Flügelschlagfrequenz 122
- Absolute und relative Stoffwechselleistung 123
- Massenzwerge sind Stoffwechselriesen 124
- Möglichkeiten der Stoffwechselsteigerung 125
- Leistungsvergleich 126
- Zulademöglichkeiten 127
- Vogelzug*
- Historisches 132
- Zugwege der Schwalben 132
- Eurasische Zugrouten 133
- Amerikanische Zugrouten 134
- Unterschiedliche Hin- und Rückreiserouten 135
- Entwicklung des Vogelzugs 136
- Größte Flugentfernungen 139
- Flugentfernungen beim Füttern 140
- »Huckepack-Flug« 140
- Fluggeschwindigkeiten 141
- Optimale Reisegeschwindigkeiten 141
- Formationsflug 145
- Golfüberquerung durch Kolibris 147
- Stoffwechselleistung bei Golfüberquerern 148
- Trans-Sahara-Flug durch Kleinvögel 149
- Labortests und Messungen in der Algerischen Wüste 149
- Treibstoffverhältnisse bei Saharaziehern 152
- Treibstoffbedingte Verhaltensunterschiede bei Saharaziehern 155
- Nahrung für Saharazieher 156
- Messungen in der Ägyptischen Wüste 157
- Lockeffekte künstlicher Schattenplätze 158
- Laborsimulation von Saharazügen 158
- Treibstoffvorräte schalten Flugprogramme 159
- Derzeitige Vorstellungen zum Saharazug 159
- Vogelzugbeobachtungen mit Radar 161
- Vogelzug über die Karibik 162
- Windbedingte Abdrift 164
- Gelernte und ungelernete Trans-Karibikflieger 165
- Flughöhen beim Vogelzug 167
- Höhenflugbedingungen 168
- Simulierte Höhenflüge 169
- Konstruktionseigentümlichkeiten der Vogellunge 170
- Orientierung*
- Orientierungsmöglichkeiten 176
- Sonnenkompaßorientierung 176

Sternkompaßorientierung	177
Orientierung nach polarisiertem Licht	179
Erdmagnetfeldorientierung	181
Optische Orientierung	184
Geruchsorientierung	185
Infraschallorientierung	186
Orientierung nach dem absoluten Luftdruck	186

### *Praktischer Anhang:*

#### *Fotografieren fliegender Vögel*

Aufnahmegерäte	188
Brennweiten	188
Spiegel-Teleobjektive	189
Fotojagd	189
Ansitz	192
Pirsch	193

### *Wissenschaftlicher Anhang:*

#### *Bioenergetik des Vogelflugs und Vogelzugs*

1. Abbaugleichungen und respiratorische Quotienten (RQ) für Flugtreibstoffe 195
2. Massenverhältnisse bei der Verbrennung von Flugtreibstoffen 195

3. Welche Energie und welche Leistung setzt eingeatmeter Luftsauerstoff aus Flugtreibstoffen frei? 196
4. Massenverlust-Betrachtungen 196
5. Zur Formulierung des Massenverlustes 197
6. RQ, bei dem der Nettomassenverlust gleich Null wird 197
7. Massenverlustbedingungen beim Langstreckenflug 198
8. Wärme, Wärmeproduktion und Wärmeabgabe 198
9. Wärmedurchgangszahl 199
10. Verdampfungswärme und evaporativer Wärmeverlust 199
11. Wieviel Prozent der produzierten Wärme kann durch vollständige Verdampfung des Oxidationswassers abgeführt werden? 199
12. Abhängigkeit der Wärmeabfuhrmechanismen von der Umgebungstemperatur 200

*Literatur* 201

*Abbildungsnachweis* 206