

Jörg Bendix

# Geländeklimatologie

*Studienbücher der Geographie*



**Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhandlung**  
**Berlin · Stuttgart**

# Geländeklimatologie

Von

Dr. rer. nat. Jörg Bendix  
Professor an der Philipps-Universität  
Marburg

Mit 127 Abbildungen und 15 Tabellen

378 /  
4439

**Leibniz Universität Hannover**  
Institut für  
**Meteorologie und Klimatologie**  
Herrenhäuser Str. 2 · 30419 Hannover



Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhandlung  
Berlin · Stuttgart 2004

# Inhalt

Vorwort .....	5
Abbildungsverzeichnis .....	11
Tabellenverzeichnis .....	17
<b>1 Grundprinzipien der Geländeklimatologie .....</b>	<b>23</b>
<b>2 Die planetare Grenzschicht .....</b>	<b>31</b>
2.1 Vertikale Schichtung .....	31
2.2 Mischungsschicht und Topographie .....	38
2.3 Austauschprozesse in der planetaren Grenzschicht .....	39
2.3.1 Molekularer Transport .....	39
2.3.2 Turbulenter Transport .....	40
<b>3 Gelände und Strahlungsbilanz .....</b>	<b>45</b>
3.1 Geländegehalt und solare Bestrahlungsstärke .....	46
3.1.1 Der Einfluss von Atmosphäre und Geländehöhe auf die solare Direktstrahlung .....	46
3.1.2 Geländeabschattung der Direktstrahlung .....	49
3.1.3 Einfluss von Hangneigung und Exposition auf die Direkt- strahlung .....	51
3.1.4 Einfluss des Geländes auf die diffuse Himmelsstrahlung .....	55
3.1.5 Oberflächentyp und Albedo .....	59
3.1.6 Beeinflussung der Reflexstrahlung durch Atmosphäre und Gelände .....	61
3.2 Geländegehalt und effektive Ausstrahlung .....	64
3.2.1 Die langwellige Ausstrahlung auf ebenen Flächen .....	65
3.2.2 Die atmosphärische Gegenstrahlung auf ebenen Flächen bei Strahlungswetterlagen .....	66
3.2.3 Effektive topographische Ausstrahlung .....	67
<b>4 Gelände und Wärmebilanz .....</b>	<b>71</b>
4.1 Oberflächenbeschaffenheit und Bodenwärmestrom .....	71
4.2 Geländeoberfläche und atmosphärische Wärmeströme .....	74
4.2.1 Der fühlbare Wärmestrom .....	75
4.2.2 Der latente Wärmestrom .....	77
4.3 Tagesgang der Wärmebilanz .....	78
4.4 Jahresgang der Wärmebilanz .....	81
<b>5 Gelände und Lufttemperatur .....</b>	<b>85</b>
5.1 Temperaturänderung der Luft .....	85
5.2 Dynamik von Temperaturinversionen .....	89
5.2.1 Strahlungsinversionen .....	90
5.2.2 Dynamische Inversionen und planetarische Grenzschicht .....	93

5.3	Thermische Differenzierung im Gelände .....	95
5.3.1	Temperatur und Landoberfläche .....	95
5.3.2	Temperatur und Topographie .....	98
<b>6</b>	<b>Gelände und atmosphärischer Wasserdampf .....</b>	<b>109</b>
6.1	Verdunstung .....	110
6.1.1	Verdunstung und Landoberfläche .....	113
6.1.2	Verdunstung und Geländehöhe .....	114
6.2	Luftfeuchte und Gelände .....	117
6.2.1	Luftfeuchte und Landoberfläche .....	118
6.2.2	Luftfeuchte und Topographie .....	120
<b>7</b>	<b>Gelände, Wolken und Niederschlag .....</b>	<b>123</b>
7.1	Wolken, Niederschlag und Landoberfläche .....	123
7.1.1	Räumliche Differenzierung während der Einstrahlungsperiode ....	123
7.1.2	Räumliche Differenzierung während der Ausstrahlungsperiode ....	128
7.2	Wolken, Niederschlag und Relief .....	137
7.2.1	Wolken, Niederschlag und thermische Auslösung .....	138
7.2.2	Wolken, Niederschlag und dynamische Auslösung .....	139
7.2.3	Wolken, Niederschlag und thermisch-dynamische Auslösung .....	142
<b>8</b>	<b>Gelände und Wind .....</b>	<b>151</b>
8.1	Thermische Systeme .....	151
8.1.1	Grundlagen .....	151
8.1.2	Thermische Systeme und Oberflächenbedeckung – Land-Seewind	154
8.1.3	Thermische Systeme in komplexer Topographie – Berg-Talwind .	160
8.1.3.1	Anabatische Hangaufwinde .....	160
8.1.3.2	Katabatische Hangabwinde bzw. Kaltluftabflüsse .....	162
8.1.3.3	Der Berg- Talwindzyklus .....	165
8.2	Dynamisch induzierte Systeme .....	175
8.2.1	Interaktion von Berg-/Talwind und synoptischer Strömung .....	175
8.2.2	Bergum- bzw. Bergüberströmung, Rotorbildung, Leewellen .....	179
8.2.3	Niedertroposphärische Maxima der Windgeschwindigkeit .....	181
<b>9</b>	<b>Methoden der Geländeklimatologie .....</b>	<b>185</b>
9.1	Direkte bodengebundene Messsysteme .....	186
9.1.1	Die automatische Klimastation .....	186
9.1.2	Temperaturmessung .....	190
9.1.3	Messung der Luftfeuchte .....	193
9.1.4	Erfassung des Windfelds .....	195
9.1.5	Messung von Niederschlag .....	197
9.1.6	Strahlungssensoren .....	199
9.1.7	Erfassung des Bodenwärmestroms .....	202
9.1.8	Luftdruckmessung .....	202

9.2	Indirekte bodengebundene Messsysteme .....	203
9.2.1	Messung der Bodenfeuchte mit TDR .....	203
9.2.2	Indirekte Luftfeuchtemessung mit Absorptionshygrometern .....	205
9.2.3	Indirekte Windmessung und Turbulenz – das Ultraschallanemo- meter .....	206
9.2.4	Messtechnische Erfassung der horizontalen Sichtweite .....	209
9.3	Indirekte Profilmessungen .....	211
9.3.1	Messung der Wolkenhöhe – Ceilometer .....	212
9.3.2	SODAR .....	213
9.3.3	Wind-RADAR .....	216
9.3.4	Ableitung von Temperaturprofilen – RASS .....	217
9.3.5	Profiling der Luftfeuchte .....	219
9.4	Spezielle Methoden der Weiterverarbeitung .....	219
9.4.1	Kombination von Sensoren – Bestimmung von Wärmeflüssen ....	219
9.4.2	Geostatistik und GIS .....	222
9.4.3	Satellitenfernerkundung .....	224
9.5	Numerische Simulationsmodelle .....	229
9.5.1	Grundlegende Modellarchitektur .....	230
9.5.2	Mesoskalamodelle .....	234
9.5.3	SVAT-Modelle .....	236
	Anhang .....	239
	Literatur .....	267
	Register .....	277