

# Inhaltsverzeichnis

<b>Klimabegriffe</b> .....	5
Klimatologie / Meteorologie .....	5
Klimavariabilität .....	6
<b>Die Luft</b> .....	7
Zusammensetzung der Luft .....	7
Physik der Luft .....	8
Zustandsgleichung idealer Gase .....	8
Luftfeuchtigkeit .....	9
Sättigungsdampfdruck .....	9
Absolute Luftfeuchtigkeit .....	10
Relative Luftfeuchtigkeit .....	11
Spezifische Luftfeuchtigkeit .....	11
Virtuelle Temperatur .....	11
Wärmekapazität .....	12
Luftdichte .....	12
Energieinhalt der Luft .....	12
<b>Die Atmosphäre</b> .....	13
Entstehung der Atmosphäre .....	13
Physik der Atmosphäre .....	14
Standardatmosphäre .....	14
Temperaturgradienten der Atmosphäre (trockene und feuchte Luft) .....	14
Adiabatischer hydrischer Gradient .....	15
Oft verwendete Näherungen für die Temperaturgradienten .....	16
Erwärmen der Luft durch Steigen und Fallen .....	16
Luftdruck der Atmosphäre .....	17
<b>Höhlentemperatur</b> .....	18
Die Temperatur .....	18
Wärmeübertragung .....	19
Hauptsätze der Thermodynamik .....	19
Anwendungen der Wärmelehre auf die Höhlen .....	20
Weshalb ist die Lufttemperatur in Höhlen beinahe konstant? .....	20
Weshalb ist es in Bergwerken warm, während es in Höhlen kalt ist? .....	21
Weshalb ist die Luft in Höhlen etwas wärmer als das Wasser? .....	21
Ist die Temperatur in einem Raumprofil überall gleich? .....	21
Was sagen Temperaturschwankungen in Höhlen aus? .....	22
Analyse der Temperatur eines aus der Höhle fließenden Luftstroms .....	22
Zusammenfassung .....	23
<b>Der Luftdruck in Höhlen</b> .....	24
Kann ich die Tiefe einer Höhle mit einem Höhenmesser messen? .....	25
<b>Der Höhlenwind</b> .....	26
Konvektive Luftzirkulation .....	26
Bewegungswirksamer Druck .....	26
Windgeschwindigkeit .....	27
Meteohoher und meteotiefer Eingang .....	27
Kann es einen meteotiefen Höhleneingang am Gipfel geben? .....	28
Gibt es Höhleneingänge, die immer Luft ausblasen? .....	28
Konvektive Luftzirkulation zwischen zwei Höhleneingängen auf derselben Höhe .....	28
Barometrische Luftzirkulation .....	29
Der Luftfluss .....	29
Die Charakteristische Zeit .....	29
Die Physik der Luftbewegung .....	31
Die Kontinuitätsgleichung .....	31
Die Bernoulli-Gleichung .....	31
Arten des Fließens: laminar / turbulent .....	31
Die Reynold's Zahl .....	32
Widerstand der Höhle .....	33

Windbeobachtungen .....	35
Ist die Windgeschwindigkeit in einem Gangprofil überall gleich? .....	35
Gibt es noch anders begründete Windzirkulationen? .....	35
Eine Engstelle die bläst, ist sie wichtig? .....	36
Wie verhält sich der Luftzug, bei der Erweiterung einer Engstelle? .....	36
Was kann man mit der Analyse der Luftzirkulation aussagen? .....	37
Wann ist es sinnvoll die Luftbewegung zu beobachten? .....	39
Zusammenfassung .....	40
<b>Die Luftzirkulation in Höhlen – das elektrische Modell .....</b>	<b>41</b>
Grundkonzept .....	41
Die fundamentalen Variablen .....	41
Stromstärke .....	41
Ladung .....	41
Spannung .....	41
Widerstand .....	42
Die konvektive Luftzirkulation .....	42
Widerstand von Galerien in Serie .....	42
Widerstand paralleler Galerien .....	43
Konvektive Luftzirkulation mit mehreren Eingängen .....	43
Die barometrische Luftzirkulation .....	44
Der elementare Fall .....	44
Luftvolumen ausströmender Luft .....	44
Widerstand .....	44
Charakteristische Zeit .....	45
Kapazität eines Kondensators .....	45
Der Luftfluss .....	45
Abfolge von mehreren Sälen .....	45
Kombination von konvektiver und barometrischer Luftzirkulation .....	46
<b>Kondensation .....</b>	<b>47</b>
Kondensationsarten .....	47
Kondensation durch Abkühlung .....	47
Kond. durch Erhöhung des Luftdrucks .....	48
Wieviel Wasser kondensiert? .....	48
Weshalb gibt es keine Wolken in den Höhlen? .....	49
Kondensationsprozesse und Speläogenese .....	49
Korrosionsformen .....	49
<b>Energiehaushalt des Karstes .....</b>	<b>50</b>
<b>Planung von Höhlenklimaprojekten .....</b>	<b>53</b>
Zeitpunkt der Messung .....	54
Messintervall .....	54
Messwiederholungen .....	54
Auswerten von Messdaten .....	55
Reduktion der Daten .....	55
Beispiel einer statistischen Auswertung .....	56
Mögliche Projekte .....	57
Einfache Feldmethoden .....	59
<b>Standards für Langzeittemperaturmessungen in Höhlen .....</b>	<b>60</b>
Der Top-Down-Ansatz: Standards .....	60
Standardlufttemperatur .....	60
Grasminimumtemperatur .....	60
Höhlenlufttemperatur Standard (HLTS) .....	61
Der Bottom-Up-Ansatz: Messziele sind massgebend .....	61
Messintervall .....	61
Messjahr .....	61
Das „Messprotokoll Höhlenklima“ (MHK) .....	62
Tips & Tricks zu den Temperatur-Messgeräten .....	63
Kalibrieren von Temperatur-Loggern .....	63
Probleme beim Kalibrieren .....	63
Die Messung in der Höhle .....	64
Messgenauigkeit ⇔ Auflösung .....	64
<b>Anhang: Variablen, Konstanten, Einheiten .....</b>	<b>65</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>67</b>