Aufgabe 1: Auf einem Garagendach, das 7 m lang und 3 m breit ist, soll sich eine 2.5 cm starke Eisschicht mit einer Dichte ρ=937 kg/m^3 befinden. Die Eisschicht soll eine Temperatur von t=0°C haben.

a) Welche Masse Eis liegt auf dem Dach?

b) Berechnen Sie die Energie, die zum Schmelzen der Eisschicht benötigt wird (die spezifische Schmelzwärme von Eis beträgt: q_f=332.2 10^3 J/kg).

c) Welche Bestrahlungsstärke (W/m^2) ist bei vollständiger Umwandlung von Strahlungs- in Wärmeenergie während einer Bestrahlungsdauer von t=2h nötig?

Aufgabe 2: In einem Einzugsgebiet mit der Fläche von 2500 km^2 sind folgende Werte durch die Zeitreihenanalyse vorhandener Messdaten ermittelt worden:

Niederschlagshöhe	115 cm/Jahr
Verdunstung	70cm/Jahr
Mittlerer Abfluss am Hauptpegel	35 m^3/s

a) Wie groß war der Hauptvorfluterzufluss in dieser Zeit (in cm)?

b) Schätzen Sie, wieviel Wasser (cm/Jahr sowie m^3/s) durch die Infiltration verloren gingen.

Aufgabe 3: Bei einer aktuellen Lufttemperatur von 32 °C wird eine relative Luftfeuchtigkeit von 80 % gemessen.

a) Wie groß ist das Feuchtedefizit D?

b) Wie groß ist die Taupunkttemperatur?

c) Was bedeutet das Erreichen der Taupunkttemperatur physikalisch?

Aufgabe 4: Es herrscht *südlich* der Alpen *hoher Luftdruck* p_o=1045 mbar, und ein von Westen ankommender Zyklon zieht über Westeuropa hinweg. Welche Temperatur ist im nördlichen Alpental (350 mNN) zu erwarten?

Sie bekommen vom Deutschen Wetterdienst folgende Wetterdaten:

Gemessene Wassermenge in der Luft	8.5 g/m^3
Temperatur auf der Alpensüdseite (450 mNN)	21°C
Kondensationsniveau auf der Nordseite	2700 m
Alpenhöhe	3300m

Aufgabe 5. Wie hoch ist die mittlere monatliche potentielle Verdunstung der Kasseler Gewässer nach der *Penman Kombinations Methode* im September?

Aus der Onlinedatenbank des Deutschen Wetterdienstes und dem Hessischen Umweltatlas haben Sie für den Zeitraum 1971-2000 folgende Daten ermittelt:

Geographische Lage	51.3 Grad nördliche Breite
Sonnenscheindauer	7 Stunden/Tag
Windgeschwindigkeit	2.8 m/s
Relative Luftfeuchte	65 %
Mittlere monatliche Lufttemperatur	17.2°C

Aufgabe 6. Die mittlere Korngröße in einem Grundwasseraquifer ist d=0.06cm.. Anhand der Piezometermessungen wurde der hydraulische Gradient auf 0.2 geschätzt.

a) Wie groß ist die Grenzgeschwindigkeit für die Anwendung des Darcy-Gesetzes? (die dynamische Viskosität des Wassers bei 15°C ist μ=1.14 10^{-3} Pa s)

b) Wie groß ist die hydraulische Durchlässigkeit K des Aquifers?
(Annahme: Die Fliessgeschwindigkeit = Grenzgeschwindigkeit)

Aufgabe 7: Wie groß ist die CN Zahl für einen dichten Wald auf feinerem Sandboden mit geringem Lehmanteil für die Bodenfeuchteklasse I?

Aufgabe 8: Wie definiert man den Abflussbeiwert? Beschreiben Sie mindestens zwei Methoden für die Berechnung des Abflussbeiwertes (Beschreibungsskizze, Formel).

Lösungsvorschlag:

Aufgabe 1:

a) $\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho V = 937 \times 7 \times 3 \times 2.5 \times 10^{-2} = 491.9kg$

b) $Q = q_f m = 332.2 \times 10^3 \times 491.9 = 163.4MJ$

c) $W \rightarrow \frac{J}{s} \quad \frac{W}{m^2} \rightarrow \frac{J}{s\, m^2} \Rightarrow \frac{Q}{t\,\mathrm{A}} \quad = \frac{163.4MJ}{7m \times 3m \times 2 \times 3600s} = 1080.7 \frac{W}{m^2}$

Aufgabe 2:

Gegeben: A=2500 km^2, p=115cm/Jahr, et=70cm/Jahr, Q=35 m^3/s

a) $q = \frac{Q}{A} t = \frac{35}{2500 \times 10^6} \times 365 \times 24 \times 3600 = 44.1 cm / Jahr$

b) Aus der Bilanzgleichung folgt: P=ET+I+Q

i=p-et-q=115-70-44.1=0.9 cm/Jahr

i=0.9x10^{-2}x2500x10^6/(365x24x3600)=0.71m^3/s

Aufgabe 3:

Gegeben: T=32°C, Hr=80 %

a)

$$D = e_s - e_a ; Hr = \frac{e_a}{e_s} \Rightarrow D = e_s - Hr \times e_s = e_s (1 - Hr)$$

$$e_s = 0.6108 e \frac{17.3T}{237.3 + T} = 4.77kPa$$

$$D = 4.77 \times (1 - 0.8) = 0.95kPa$$

b)

$$e_a = 0.8 \times e_s = 0.8 \times 4.77kPa = 3.81kPa = 38.1hPa$$

$$Annahme : e_a = e_s$$

$$T(e_s) = 243.12 \frac{\ln(es) - 1.81}{19.43 - \ln(es)} = 243.12 \frac{\ln(38.1) - 1.81}{19.43 - \ln(38.1)} = 28.18°C$$

c) Seite 2.12 / Skript Ingenieurhydrologie: Der Taupunkt (engl. dew point) ist die Temperatur, bei der der tatsächliche Dampfdruck ea gleich dem Sättigungsdampfdruck es ist, d.h. die ursprünglich teilgesättigte Luft wird zu100% gesättigt.

Aufgabe 4:

Gegeben: Luftdruck p_o=1045 mbar: Gemessene Wassermenge in der Luft 8.5 g/m^3, Temperatur auf der Alpensüdseite (450 mNN) 21°C, Kondensationsniveau auf der Nordseite 2700 m, Alpenhöhe 3300m, Höhe im nördlichen Alpental 350 mNN.

Die Kondensationshöhe auf der Alpenluvseite berechnet man aus der Taupunkttemperatur. Um die Taupunkttemperatur berechnen zu können, braucht man den aktuellen Dampfdruck:

$$(1)Hr = \frac{e_a}{e_s} = \frac{\rho d}{\rho_{ds}};(2)\rho_{ds} = \frac{e_s}{RdT}(Rd - individuelle\ Gaskons\tan te\ \ für\ Wasserdampf)$$

$$e_s = 0.6108e\frac{17.3T}{237.3+T} = 2.49kPa; \quad Rd = R/M_{h2o} = 8.314\times10^3/18 = 461.8J/kgK$$

$$Aus \text{ der Gleichung (2) folgt} : \rho_{ds} = \frac{e_s}{RdT} = \frac{2.49\times10^3}{461.8\times(21+273.15)} = 18.3g/m^3(3)$$

$$\text{Nach Einsetzen der (3) in die Gleichung (1) folgt} : Hr = \frac{\rho d}{\rho_{ds}} = \frac{8.5}{18.3} = 0.46 \Rightarrow e_a = 0.46\times es = 1.15\,kPa$$

$$Annahme: e_a = e_s$$

$$Taupunkttemperatur: T(e_s) = 243.12\frac{\ln(es)-1.81}{19.43-\ln(es)} = 243.12\frac{\ln(11.5)-1.81}{19.43-\ln(11.5)} = 9.05°C$$

Der trockene adiabatische Temperaturgradient ist dT/dt~10°C/km und der feuchte adiabatische Temperaturgradient ist dT/dt~6.5°C/km . Daraus folgt

$T=21°C-dT_1-dT_2+dT_3+dT_4$ mit

dT_1 – Trockenadiabatische Abkühlung auf der Luvseite der Alpen
dT_2 – Feucht-adiabatische Abkühlung auf der Luvseite der Alpen
dT_3 – Feucht-adiabatische Erwärmung beim Absieg auf der Leeseite der Alpen
dT_4 – Trockenadiabatische Erwärmung beim Absieg auf der Leeseite der Alpen

Die Luft af der Luvseite muss sich um 21-9.05=11.95°C abkühlen, was bedeutet, dass das Kondensationsniveau ungefähr bei 450+1195=1645m liegt.

dT_1=11.95 °C
dT_2= (3300-1645)*6.5 °C/km=10.75 °C
dT_3 =(3300- 2700)* 6.5 °C/km=3.9 °C
dT_4= (2700-350) * 10 °C/km= 23.5 °C

T=21-11.95-10.75+3.9+23.5=25.7°C

Aufgabe 5. Gegeben: Geographische Lage 51.3 Grad nördliche Breite, Sonnenscheindauer 7 Stunden/Tag, Windgeschwindigkeit 2.8 m/s, Relative Luftfeuchte 65 %, Mittlere monatliche Lufttemperatur 17.2°C

Die für die Rechnung fehlenden Daten können aus dem Vorlesungsskript abgelesen werden:

Astronomisch mögliche Sonnenscheindauer (aus der Tabelle):	$So_{51,3° N}$ = 12.7 St./Tag
Extraterrestrische Strahlung:	Esol.kurz $_{51,3° N}$ = 296.5 W/m^2
Albedo des Wassers	α=0.05
Emissivität des Wassers	ε=0.97

Die Penman Formel lautet:

$$Epot = \frac{s}{s+\gamma}\frac{E_R^{net}}{L} + \frac{\gamma}{\gamma+s}E_{MT} \quad [mm/Tag]$$

1) $s = \frac{de_s}{dT} = \frac{4284 e_s}{(243{,}12+T)^2}; \quad e_s = 0.6108\, e^{\frac{17{,}27\, T}{237.3+T}}$

$e_s = 1.96\ [kPa] = 19.6\ [hPa] \Rightarrow s = 1.24\ [hPa/K]$

2) $\gamma = 0.66\ [hPa/K]$

3) $E_R^{net} = E_{short}^{net} + E_{long}^{net};$

$$E_{short}^{net} = E_{sol-short}(0.19 + 0.55\ \frac{S}{So})(1-\alpha) = 296.5(0.19+0.55\frac{7}{12.7})(1-0.05) = 138.9\ [W/m^2]$$

$$E_{long}^{net} = -\varepsilon\sigma(T+273.15)^4(0.56-0.08\ e_a^{1/2})(0.1+0.9\frac{S}{So});\ \ e_a = H_R e_s = 0.65*19.6 = 12.74\ [hPa]$$

$$E_{long}^{net} = -0.97*5.67*10^{-8}(17.2+273.15)^4*(0.56-0.08*12.74^{1/2})*(0.1+0.9\frac{7}{12.7}) = -63.94\ [W/m^2]$$

$$E_R^{net} = 138.9 - 63.94 = 74.96\ [W/m^2]$$

4) $L = 28.9\text{-}0.028\ T = 28.4\ [WTag/m^2mm]$

5) $E_{MT} = (0.136 + 0.105\ v_2)(e_s - e_a) = (0.136+0.105*2.8)(19.6-12.74) = 2.94\ [mm/Tag]$

Nach der Einsetzen der 1) –5) in die Penman Formel erhält man folgende Verdunstungsrate:

$$Epot = \frac{1.24}{1.24+0.66}\frac{74.96}{28.4} + \frac{0.66}{0.66+1.24}2.94 = 2.74 \quad [mm/Tag]$$

Aufgabe 6. Gegeben: Korngröße d=0.06cm, der hydraulische Gradient 0.2, dynamische Viskosität des Wassers bei 15°C μ=1.14 10^{-3} Pa s

a) Das Gesetz von Darcy gilt nur für sehr kleine Geschwindigkeiten v, wo die der Strömung inhärente kinetische Energie vernachlässigt werden kann und die Energieverluste nur hydraulischer Natur sind. Als Maßzahl dient hier, ähnlich der klassischen Fluiddynamik, die Reynolds-Zahl Re:

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho V d}{\mu} < 10 \Rightarrow V < \frac{10\mu}{\rho d} = \frac{10\times 1.14\times 10^{-3}}{1000\times 0.06\times 10^{-2}} \Rightarrow V < 0.019 m/s$$

b) Aus dem Darcy Gesetz folgt: $V = K\frac{\Delta h}{\Delta l} \Rightarrow K = \frac{V}{\Delta h/\Delta l} = \frac{0.019}{0.2} = 0.095 m/s$

Aufgabe 7:

Feinere Sandböden mit geringerem Lehmanteil gehören zu dem Bodentyp B (Boden mit mittlerer Infiltration). Nach der SCS Tabelle für einen dichten Wald ist der CN Wert für die Bodenfeuchteklasse II CN=55. Aus dem Diagramm auf der Seite 7.15 des Vorlesungsskripts bekommt man für die Bodenfeuchteklasse I die CN Zahl CN=35.

Aufgabe 8:

Der Abflussbeiwert beschreibt das Verhältnis zwischen dem tatsächlich festgestellten oberflächlichen Abfluss und dem Niederschlag.

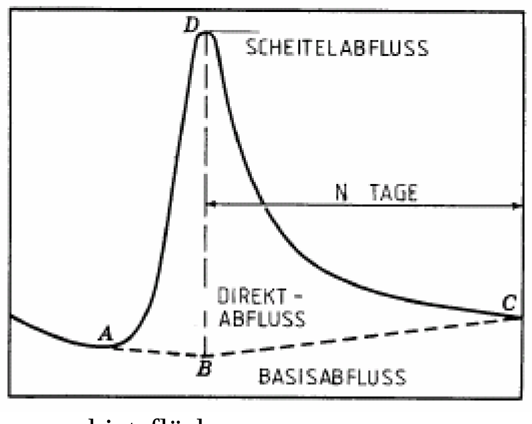
$$\psi = \frac{hne}{hn} = \frac{V_D}{V_N}$$

Ψ Abflussbeiwert

V_D Volumen des direkten Abflusses Q_D [m3]
V_N Volumen des Niederschlags [m3]
hNe effektive Niederschlagshöhe des Ereignisses [mm]
h*N* Niederschlagshöhe des Ereignisses [mm]

Durch die Abtrennung des Basisabflusses Q_B vom Gesamt - Abfluss Q wird die Größe des direkten Abflusses Q_D bestimmt Die einfachste Methode für diese Abtrennung ist das Geradelinienverfahren. Bei diesem Verfahren wird der Basisabfluss als konstant angenommen, gleich zu dem Abfluss direkt vor dem Hochwasseranstieg. Eine andere Möglichkeit ist auf dem Bild 2 graphisch dargestellt. Das Volumen des direkten Abflusses bekommt man aus der Integration der Q_D Ganglinie.

V_N berechnet man als Produkt der Gesamtniederschlagshöhe P mit der Einzugsgebietsfläche A: $V_N = P\ A$ *[m3], wobei P die* Niederschlagshöhe des Ereignisses bezeichnet und A die



Einzugsgebietsfläche.

Abb. 1 Separation des Basisabflusses