

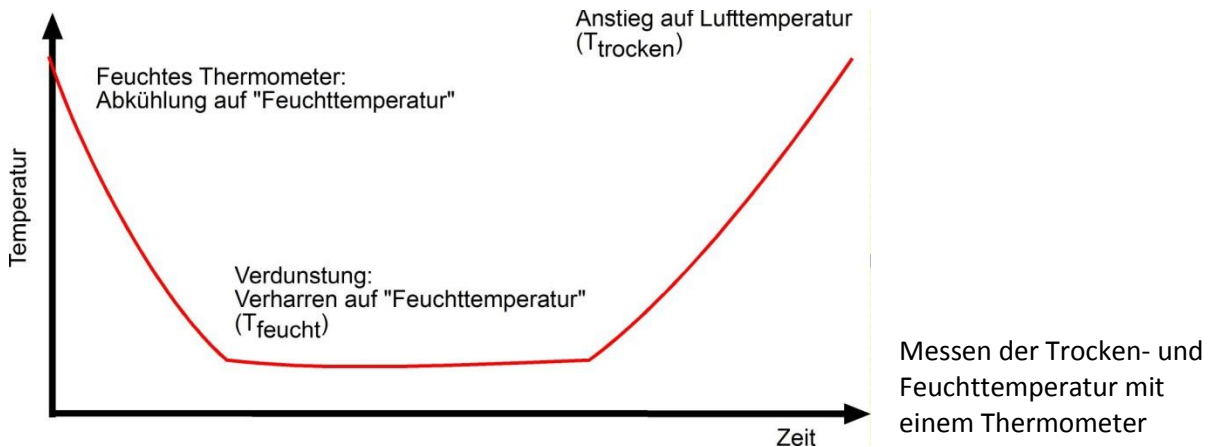
Taupunkt und relative Feuchte über die "Wet Bulb Temperature" (Feuchttemperatur) bestimmen

Hinter dem sperrigen Begriff "Feuchtkugeltemperatur" ("Wet Bulb Temperature", hier verkürzt auf "Feuchttemperatur") steckt ein ganz einfacher, mit einem Thermometer leicht nachprüfbarer Zusammenhang:



Hält man das Thermometer kurz ins Wasser (wobei die Temperatur keine Rolle spielt) und lässt es dann abtrocknen wird es lange Zeit auf einem bestimmten, in der Regel unter der Lufttemperatur liegenden Wert verharren. Erst wenn der Wasserfilm auf der Oberfläche vollständig verdunstet ist steigt der Wert auf die Lufttemperatur der Umgebung an (vergl. "Psychrometer").

Der Grund: Die Verdunstung des Wassers entzieht der Umgebung Energie. Dies wird umgangssprachlich "Verdunstungskälte" genannt. Die Differenz zwischen der Temperatur des trockenen und der des feuchten Thermometers ist ein Maß für die relative Luftfeuchte (RF) und den Taupunkt (T_p).



Sind $T_{(\text{trocken})}$ und $T_{(\text{feucht})}$ gleich ist die RF 100% und der Taupunkt gleich den beiden gemessenen Temperaturen.

Je größer die Differenz $T_{(\text{trocken})}$ und $T_{(\text{feucht})}$ desto niedriger sind die Relative Feuchte und der Taupunkt.

Achtung: Die Temperatur des feuchten Thermometers $T_{(\text{feucht})}$ ist nicht die Taupunkttemperatur!

$T_{(trocken)}$, $T_{(feucht)}$ und der Taupunkt (T_p) und der Luftdruck (P) sind folgendermaßen verknüpft:

$$\begin{aligned} \text{Sättigungsdampfdruck } SDD_{(trocken)} &= 6,108 * (e^{((17,27 * T_{(trocken)}) / (237,3 + T_{(trocken)}))}) \\ \text{Sättigungsdampfdruck } SDD_{(feucht)} &= 6,108 * (e^{((17,27 * T_{(feucht)}) / (237,3 + T_{(feucht)}))}) \\ \text{Dampfdruck (Wasser) } DD &= SDD_{(feucht)} - (0,00066 * (1 + 0,00115 * T_{(feucht)}) * (T_{(trocken)} - T_{(feucht)}) * P) \\ \text{Zwischenergebnis } Z &= (\ln(DD / 6,108)) / 17,27 \\ \text{Taupunkt } T_p &= (237,3 * Z) / (1 - Z) \end{aligned}$$

Formel nach

R. Snyder and R. Snow, 'Converting Humidity Expressions with Computers and Calculators, Cooperative Extension Leaflet 21372, University of California, <https://ag.arizona.edu/azmet/dewpoint.html>

Wer sich mit EXCEL auskennt kann mit Hilfe dieser beiden Formeln eine kleine "APP" schreiben die nach Eingabe von

- $T_{(trocken)}$ (°C)
- $T_{(feucht)}$ (°C)
- und dem aktuellen Luftdruck (hPa)

den Taupunkt und die relative Feuchte auswirft.

Eine kleine EXCEL-"APP"

Der Luftdruck wird in Hektopascal (hPa = Millibar) eingegeben. Sein Wert wirkt sich nur geringfügig auf die Ergebnisse aus sodass man auch mit einem Standardwert (z.B. 1000 hPa) rechnen kann.

$T_{(trocken)}$	29 °C	← Eingabe
$T_{(feucht)}$	19 °C	← Eingabe
Luftdruck	1013 hPa	← Eingabe
Taupunkt	<input type="text" value="13,2 °C"/>	← Ausgabe
RF	<input type="text" value="37,8 %"/>	← Ausgabe

Vorlage für ein EXCEL-Programm

Taupunkt

$$= (237,3 * ((\ln(((6,108 * (\text{EXP}((17,27 * T_{(feucht)}) / (237,3 + T_{(feucht)})))) - (0,00066 * (1 + 0,00115 * T_{(feucht)}) * (T_{(trocken)} - T_{(feucht)}) * \text{Luftdruck(hPa)})) / 6,108)) / 17,27)) / (1 - ((\ln(((6,108 * (\text{EXP}((17,27 * T_{(feucht)}) / (237,3 + T_{(feucht)})))) - (0,00066 * (1 + 0,00115 * T_{(feucht)}) * (T_{(trocken)} - T_{(feucht)}) * \text{Luftdruck(hPa)})) / 6,108)) / 17,27))$$

Relative Feuchte

$$=100 * (((6,108 * (\text{EXP}((17,27 * T_{\text{feucht}}) / (237,3 + T_{\text{feucht}})))) - (0,00066 * (1 + 0,00115 * T_{\text{feucht}})) * (T_{\text{trocken}} - T_{\text{feucht}}) * \text{Luftdruck}(\text{hPa})) / (6,108 * (\text{EXP}((17,27 * T_{\text{trocken}}) / (237,3 + T_{\text{trocken}}))))))$$

Wird wie im Beispiel unten T_{trocken} in das Feld B1, T_{feucht} in das Feld B2 und der Luftdruck in das Feld B3 eingegeben, können die Formeln direkt nach EXCEL kopiert werden:

$$= (237,3 * ((\text{LN}(((6,108 * (\text{EXP}((17,27 * B2) / (237,3 + B2)))) - (0,00066 * (1 + 0,00115 * B2)) * (B1 - B2) * B3)) / 17,27)) / (1 - ((\text{LN}(((6,108 * (\text{EXP}((17,27 * B2) / (237,3 + B2)))) - (0,00066 * (1 + 0,00115 * B2)) * (B1 - B2) * B3)) / 6,108)) / 17,27))$$

$$=100 * (((6,108 * (\text{EXP}((17,27 * B2) / (237,3 + B2)))) - (0,00066 * (1 + 0,00115 * B2)) * (B1 - B2) * B3)) / (6,108 * (\text{EXP}((17,27 * B1) / (237,3 + B1))))))$$

EXCEL-Arbeitsblatt mit einfacher "Taupunkt/Feuchte"-APP:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	T(trocken)	29											
2	T(feucht)	19											
3	Luftdruck	1013											
4													
5	Taupunkt	13,2											
6	Relative Feuchte	37,8											
7													
8													

Mit diesen beiden Formeln und einer in ein EXCEL-Arbeitsblatt geschriebenen Wertetabelle wurden auch die nachfolgenden Diagramme erstellt.

Mit ihnen kann man auch ohne Rechner und "offline" herausfinden, wo der Taupunkt liegt und wie hoch die relative Feuchte ist.

Hinweisen möchten wir zusätzlich auf unser aus zwei Thermometern bestehendes "Einfach-Psychrometer".

Ingo Mennerich
Schulbiologiezentrum Hannover
Juni 2016

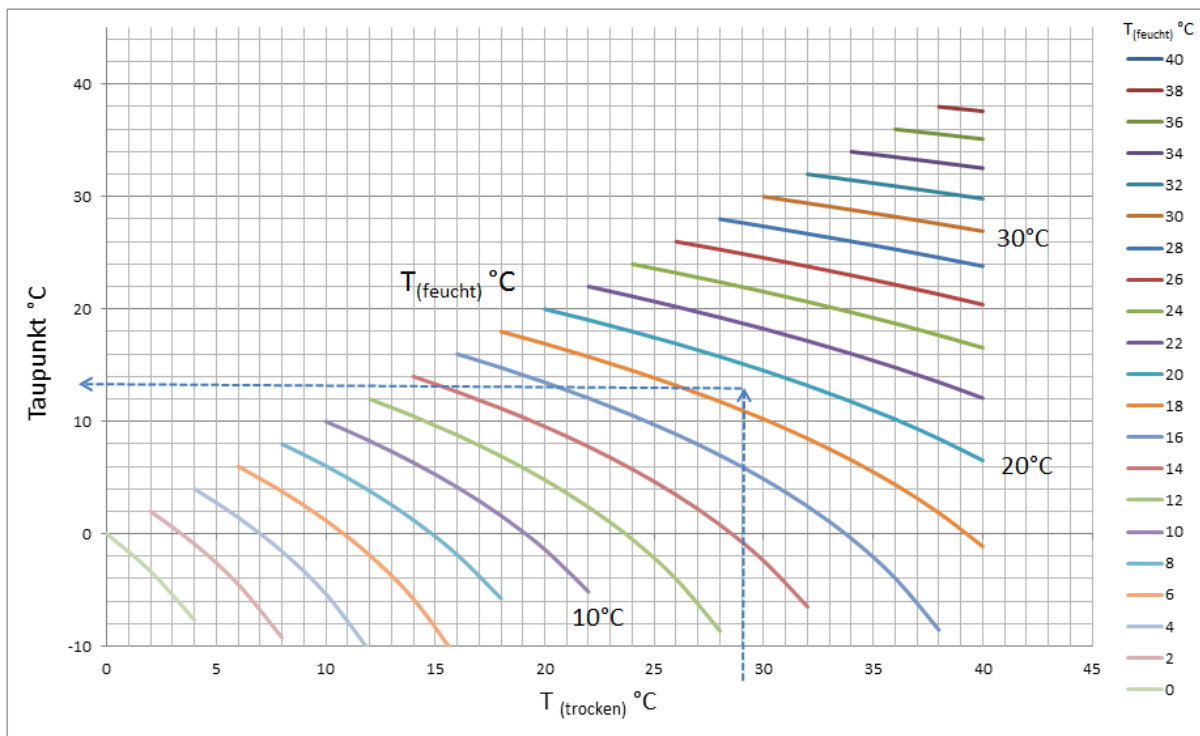


Bestimmen des Taupunktes mit dem Feuchttthermometer

- Thermometer (Messfühler) kurz ins Wasser tauchen
- Herausnehmen und Temperaturverlauf beobachten
- Temperatur verharret bis zur vollständigen Verdunstung des Wasserfilms bei der "Feuchttemperatur" ($T_{\text{(feucht)}}$)
- Feuchttemperatur notieren
- Danach steigt die Temperatur zügig auf die Lufttemperatur ($T_{\text{(trocken)}}$) an.

- $T_{\text{(trocken)}}$ und $T_{\text{(feucht)}}$ im Diagramm suchen und Taupunkt ablesen (linke Seite)

Feuchttemperatur / Taupunkt DIAGRAMM



Ablesebeispiel:

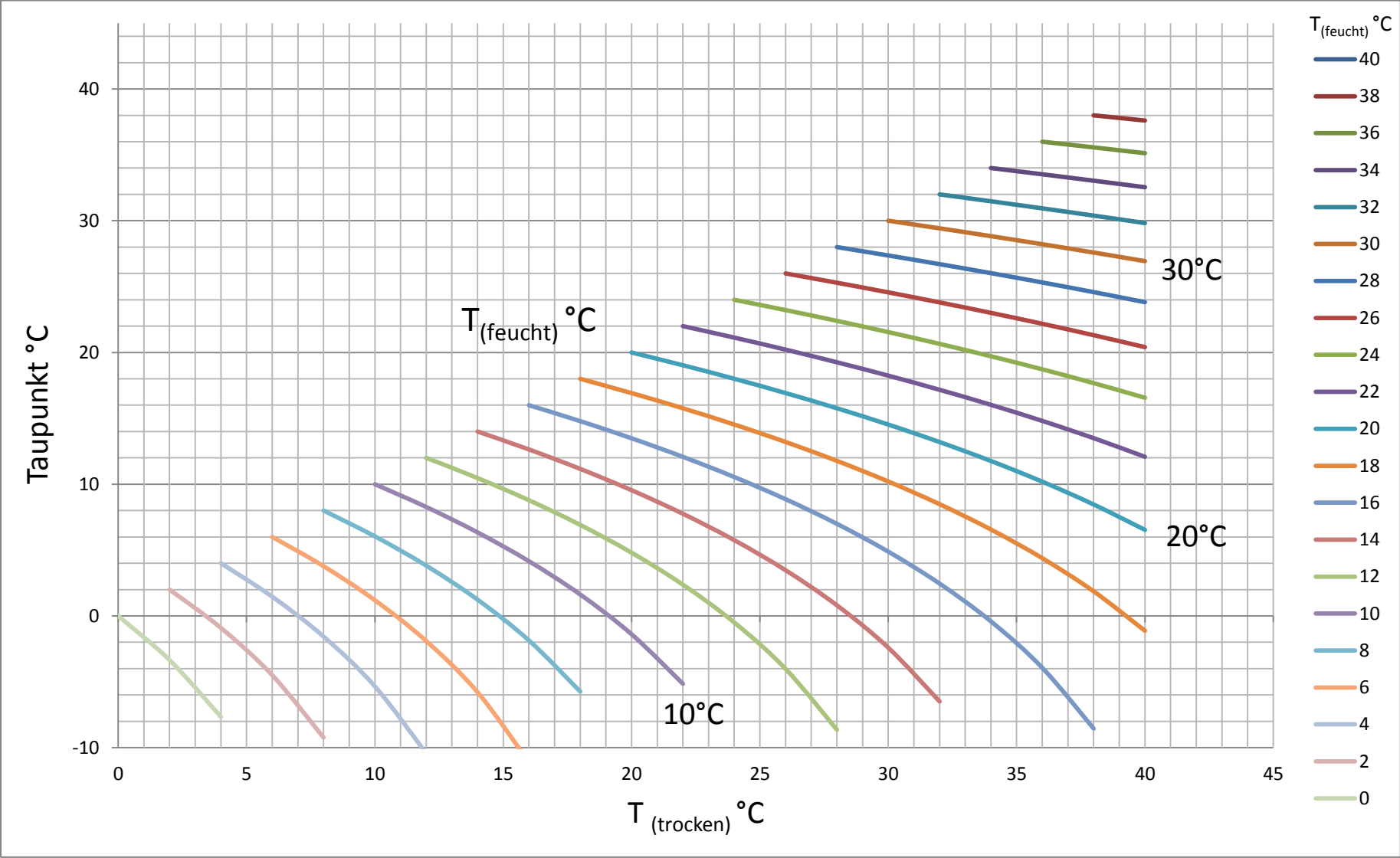
$T_{\text{(trocken)}}$ → 29°C

$T_{\text{(feucht)}}$ → 19°C

Taupunkt → 13,5°C

Diagramm: Ingo Mennerich (EXCEL)

Trocken-/Feuchttemperatur und Taupunkt



Trocken-/Feuchttemperatur und Taupunkt

		T _(trocken) °C																					
		40	38	36	34	32	30	28	26	24	22	20	18	16	14	12	10	8	6	4	2	0	
T _(feucht) °C	40	40,0																					
	38	37,6	38,0																				
	36	35,1	35,6	36,0																			
	34	32,5	33,0	33,5	34,0																		
	32	29,8	30,4	30,9	31,5	32,0																	
	30	26,9	27,6	28,2	28,8	29,4	30,0																
	28	23,8	24,6	25,3	26,0	26,7	27,4	28,0															
	26	20,4	21,3	22,2	23,0	23,8	24,6	25,3	26,0														
	24	16,6	17,7	18,7	19,7	20,7	21,5	22,4	23,2	24,0													
	22	12,1	13,5	14,8	16,0	17,2	18,2	19,3	20,2	21,1	22,0												
	20	6,5	8,5	10,2	11,8	13,2	14,5	15,8	16,9	18,0	19,0	20,0											
	18	-1,1	1,9	4,4	6,6	8,5	10,2	11,8	13,2	14,5	15,8	16,9	18,0										
	16		-8,5	-3,9	-0,4	2,5	4,9	7,0	8,9	10,5	12,1	13,5	14,8	16,0									
	14					-6,5	-2,4	0,8	3,5	5,8	7,8	9,5	11,2	12,6	14,0								
	12							-8,6	-4,0	-0,5	2,4	4,8	6,9	8,8	10,5	12,0							
	10										-5,1	-1,4	1,6	4,2	6,3	8,3	10,0						
	8												-5,7	-1,9	1,2	3,8	6,0	8,0					
6													-11,1	-5,8	-1,9	1,2	3,8	6,0					
4															-10,4	-5,3	-1,6	1,5	4,0				
2																-9,2	-4,5	-0,9	2,0				
0																				-7,7	-3,3	0,0	

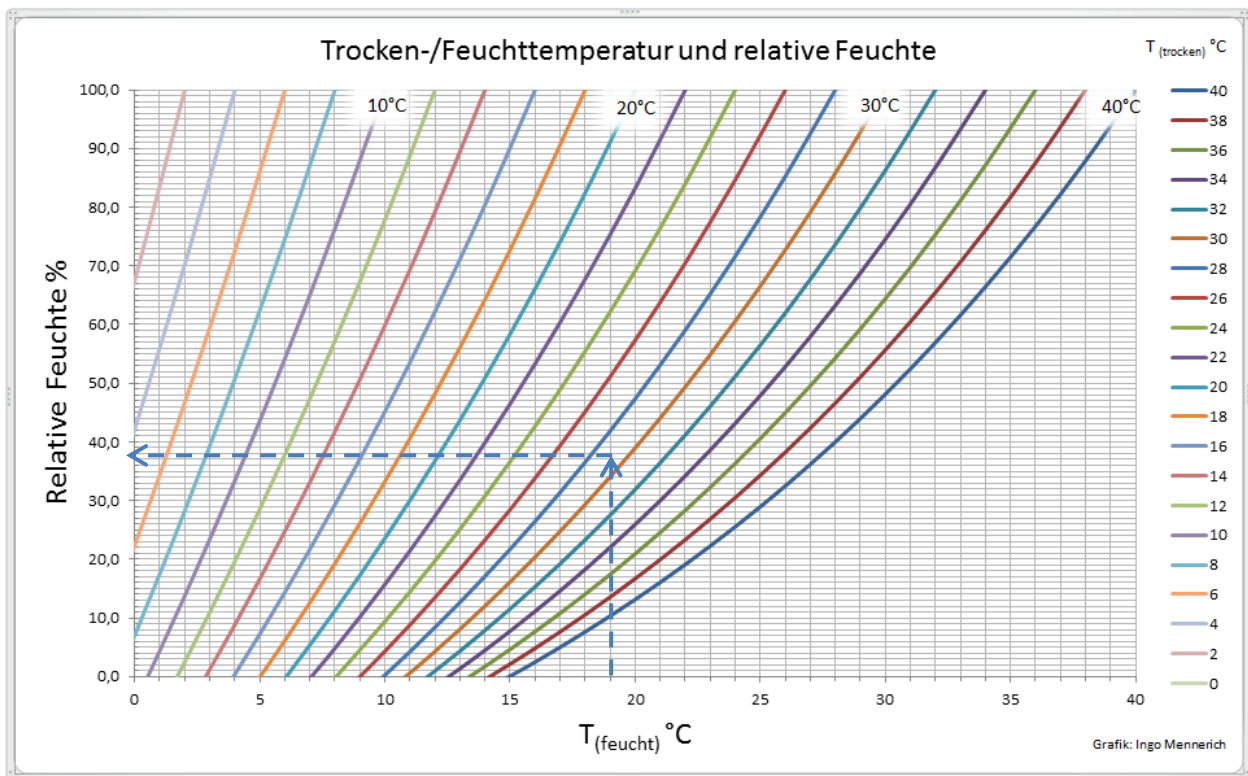
Grundlage Formel (s.o.), Berechnung EXCEL



Bestimmen der Relativen Feuchte mit dem Feuchtthermometer

- Thermometer (Messfühler) kurz ins Wasser tauchen
 - Herausnehmen und Temperaturverlauf beobachten
 - Temperatur verharrt bis zur vollständigen Verdunstung des Wasserfilms bei der "Feuchttemperatur" (T_{feucht})
 - Feuchttemperatur notieren
 - Danach steigt die Temperatur zügig auf die Lufttemperatur (T_{trocken}) an.
-
- T_{feucht} und T_{trocken} im Diagramm suchen und Relative Feuchte ablesen (linke Seite)

Feuchttemperatur / Relative Feuchte DIAGRAMM



Ablesebeispiel:

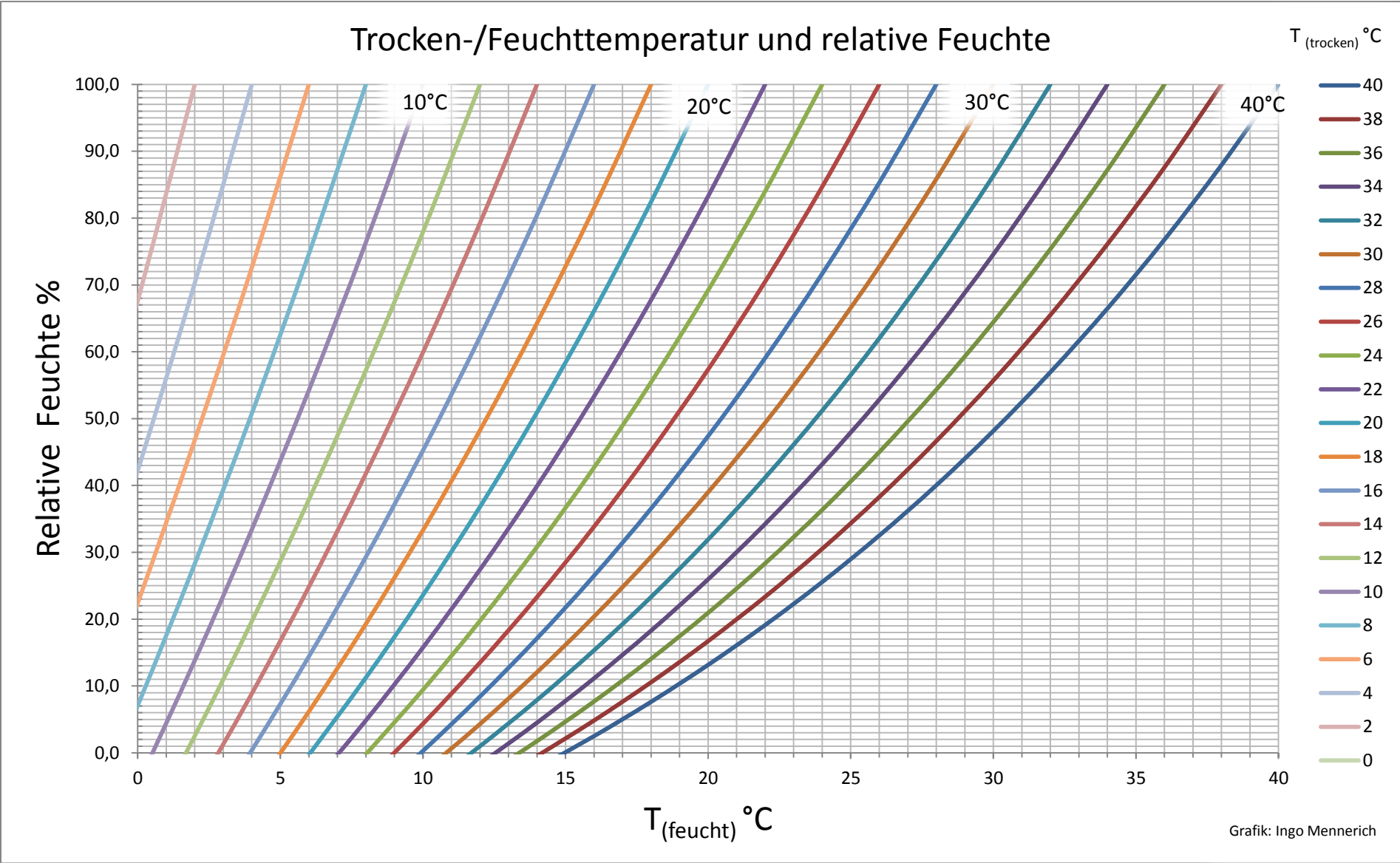
T_{feucht} → 19°C

T_{trocken} → 29°C

Relative Feuchte → 38%

Diagramm: Ingo Mennerich (EXCEL)

Trocken-/Feuchttemperatur und Relative Feuchte



Trocken-/Feuchttemperatur und relative Feuchte

		T _(trocken) °C																					
		40	38	36	34	32	30	28	26	24	22	20	18	16	14	12	10	8	6	4	2	0	
T _(feucht) °C	40	100,0																					
	38	87,9	100,0																				
	36	76,8	87,6	100,0																			
	34	66,5	76,1	87,2	100,0																		
	32	56,9	65,5	75,4	86,8	100,0																	
	30	48,2	55,7	64,4	74,6	86,3	100,0																
	28	40,0	46,6	54,3	63,3	73,7	85,8	100,0															
	26	32,5	38,3	45,0	52,8	62,0	72,7	85,3	100,0														
	24	25,6	30,5	36,3	43,2	51,2	60,6	71,7	84,7	100,0													
	22	19,1	23,4	28,3	34,2	41,2	49,4	59,1	70,5	84,0	100,0												
	20	13,2	16,7	20,9	26,0	31,9	39,0	47,4	57,4	69,2	83,3	100,0											
	18	7,6	10,6	14,1	18,3	23,3	29,3	36,6	45,2	55,4	67,7	82,4	100,0										
	16	2,5	4,8	7,7	11,1	15,3	20,4	26,5	33,8	42,7	53,3	66,1	81,5	100,0									
	14	-2,3	-0,5	1,8	4,5	7,9	12,1	17,1	23,3	30,8	39,9	50,9	64,3	80,4	100,0								
	12			-3,8	-1,7	1,0	4,3	8,4	13,5	19,7	27,4	36,8	48,3	62,2	79,3	100,0							
	10					-5,5	-2,9	0,3	4,3	9,4	15,8	23,6	33,3	45,2	59,9	77,9	100,0						
	8							-7,3	-4,2	-0,2	4,8	11,3	19,3	29,3	41,8	57,2	76,4	100,0					
	6											-5,4	-0,3	6,2	14,4	24,8	37,9	54,2	74,6	100,0			
	4													-6,2	0,4	8,9	19,7	33,4	50,8	72,6	100,0		
2														-12,8	-6,2	2,5	13,8	28,3	46,8	70,3	100,0		
0																-13,7	-4,7	7,1	22,4	42,2	67,6	100,0	

Grundlage Formel (s.o.), Berechnung EXCEL

