

## **Strömungstechnisches und thermodynamisches Modell zur Hackschnitzzellagerung**

K. Gottschalk

Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V.

[www.atb-potsdam.de](http://www.atb-potsdam.de)

[kgottschalk@atb-potsdam.de](mailto:kgottschalk@atb-potsdam.de)

# Trocknung von Holzhackschnitzeln

- **Trocknung vor der Lagerung**
- **Erhöhung des Brennwertes**
- **Verhinderung bzw. Verminderung von Schimmelpilz**

**Anfangsfeuchte:  
ca. 50 % FM**

**Trocknung bis  
ca. 20 % FM**



# Pappel Hackschnitzel

**Pappel** (*Japan 105, var.*)

3 fraktioniert (**grob, mittel, fein**)

2 unfraktioniert (**grob, fein**)



Pappel  
stücke

# Pappel Hackschnitzel



unfraktioniert (**grob** 19.5 mm)

unfraktioniert(**fein** 9.3 mm)



# Pappel



fraktioniert  
(**grob** 23.7 mm)

fraktioniert  
(**mittel** 13.6 mm)

fraktioniert  
(**fein** 8.5 mm)

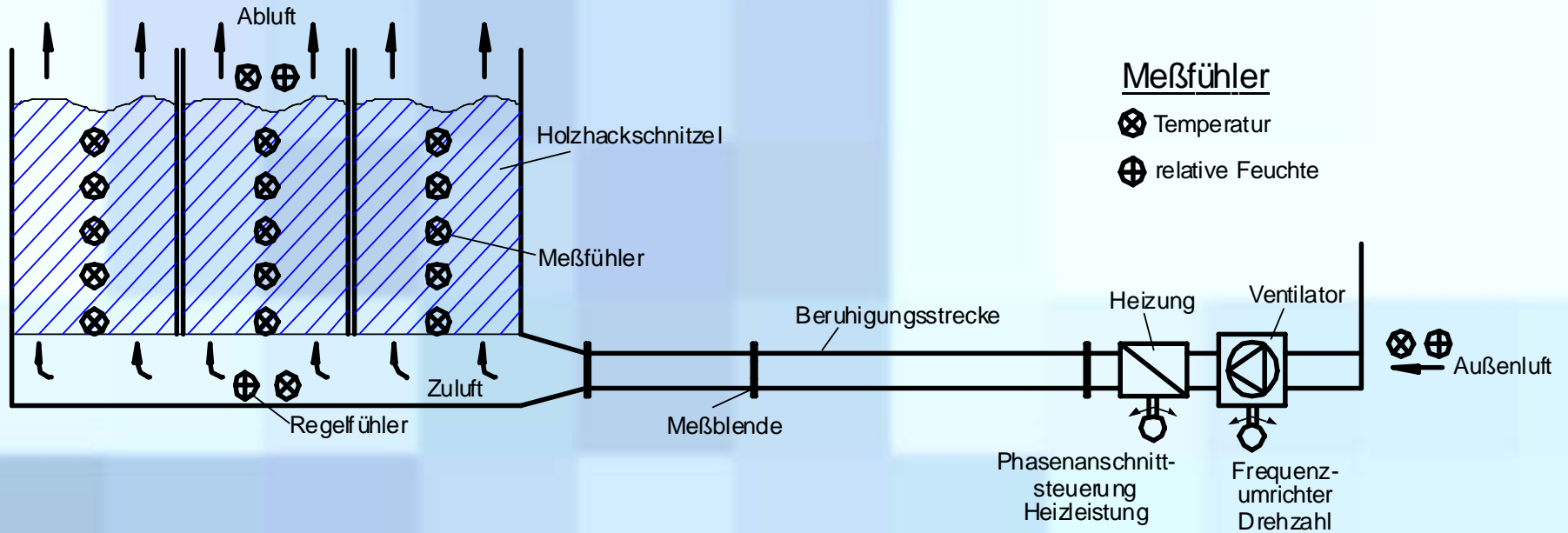


## Weide

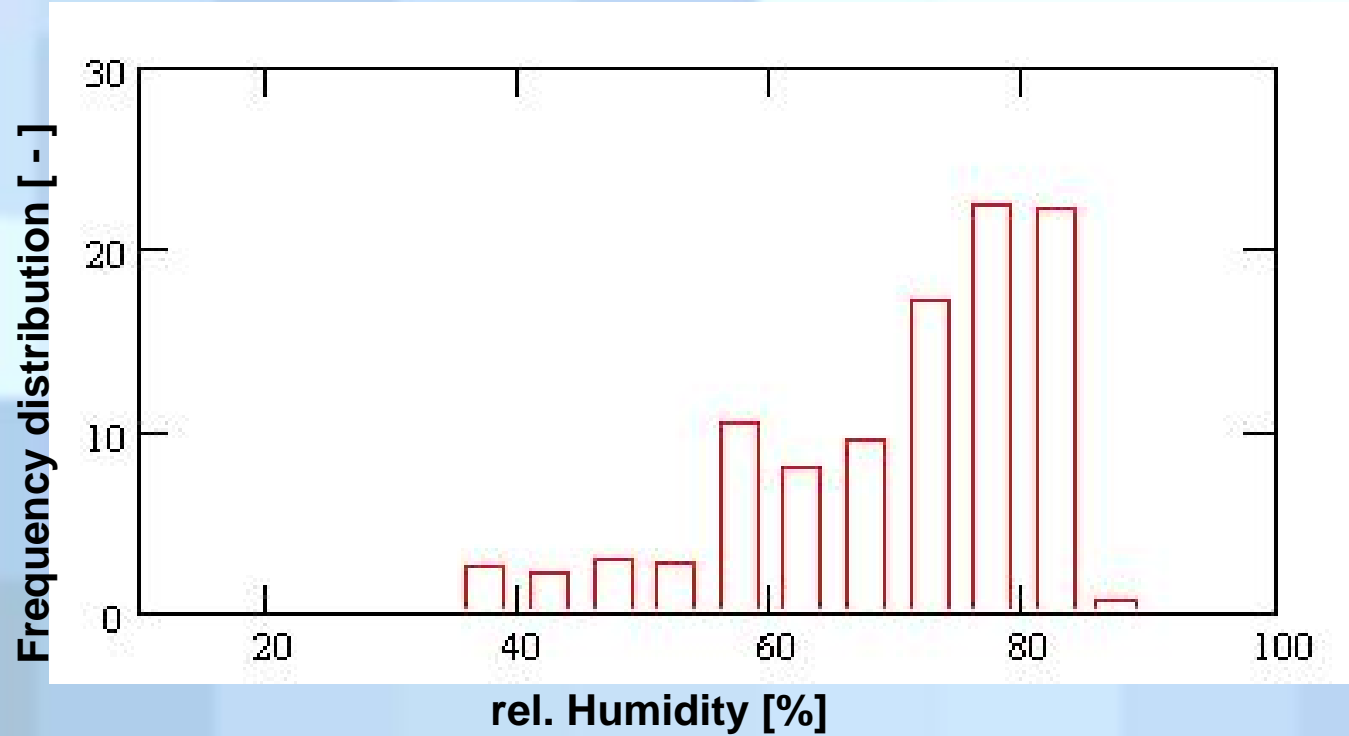
*Salix Viminalis*  
unfraktioniert (grob)



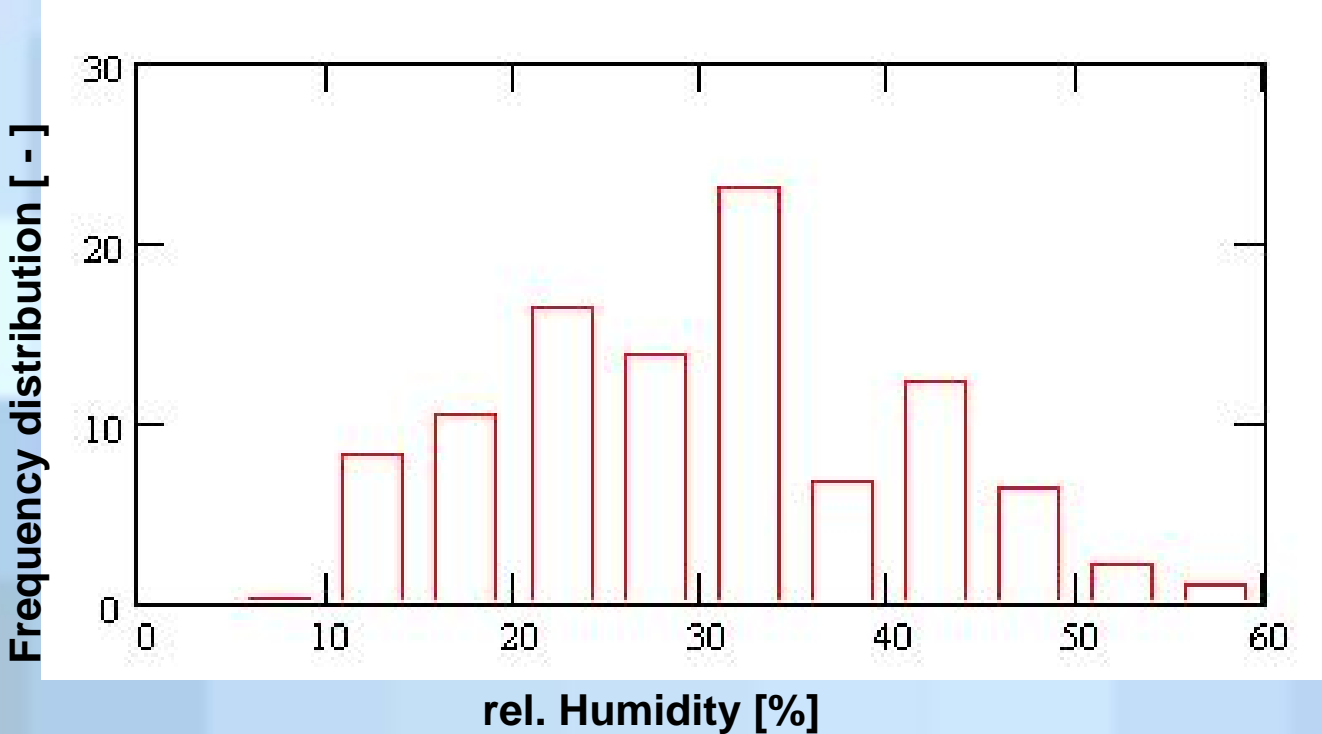
# Versuchsstand – Trocknung von Holzhackschnitzeln



# Feuchteverteilung Außenluft 13 Tage



# Feuchteverteilung Zuluft 13 Tage



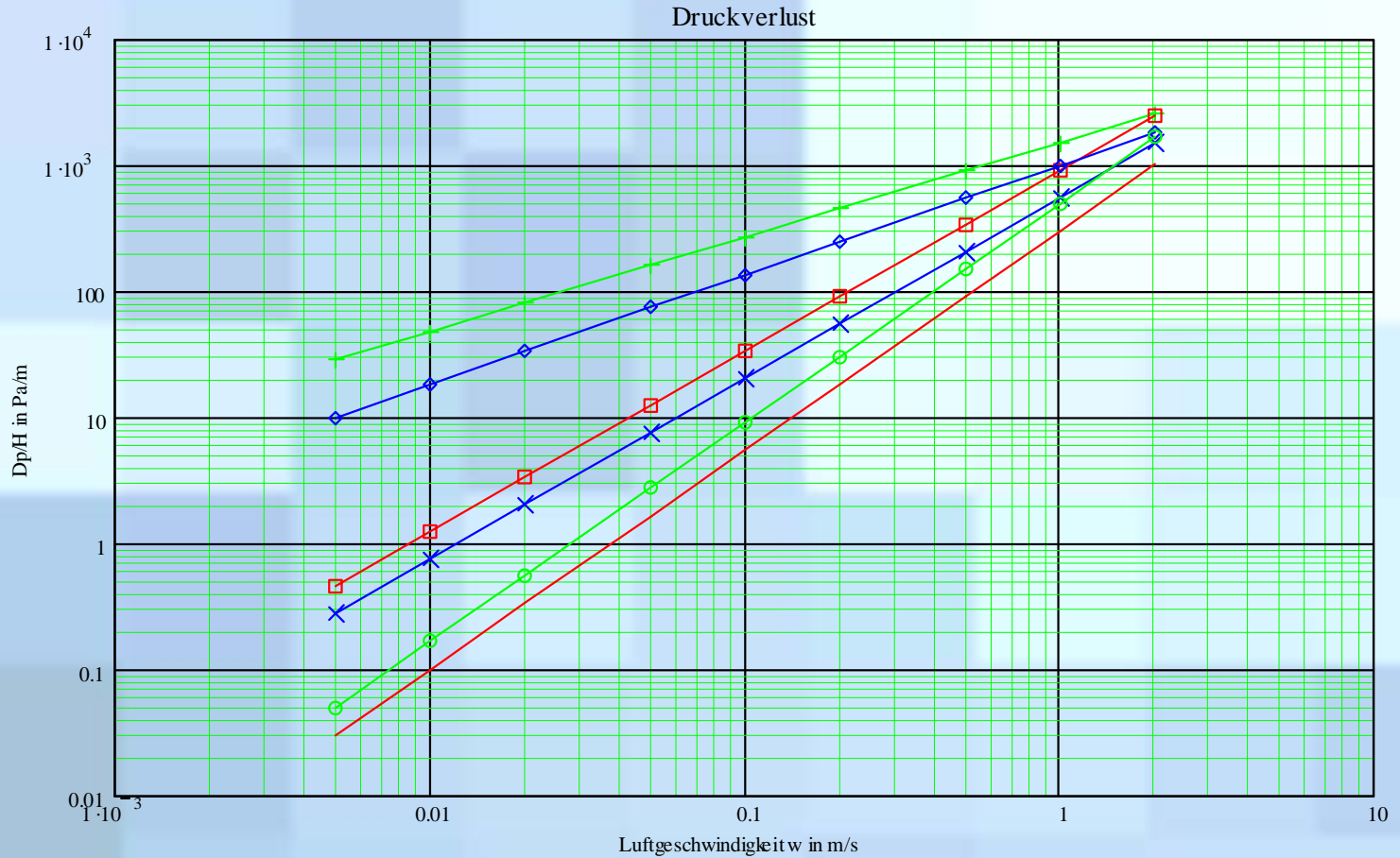
# Tabelle – physik. Parameter

	Pappel unfraktioniert		Pappel fraktioniert			Weide <i>w</i>
	grob <i>g</i>	fein <i>f</i>	grob <i>fg</i>	mittel <i>fm</i>	fein <i>ff</i>	
Mittlere Korngröße [mm]	19,5	9,3	23,7	13,6	8,5	-
Schütthöhe [m]	1,1	1,25	1,05	1,18	1,25	1,1
Frischmasse FM [kg]	58,05	68,4	56,09	58,37	55,31	48,87
Volumen FM [m <sup>3</sup> ]	0,34	0,39	0,33	0,37	0,39	0,34
Schüttdichte FM [kg · m <sup>-3</sup> ]	169	175	171	159	142	142
Schüttdichte tr. <sup>1</sup> [kg · m <sup>-3</sup> ]	89,04	116,31	89,38	81,16	84,77	76,52
Trockenmasse <sup>2</sup> TM [%]	48,5	46,7	50,9	51,0	47,8	53,1
Porosität [ - ]	0,74	0,66	0,74	0,76	0,75	0,83
Schwund [%]	47,4	33,7	47,8	48,8	40,2	46,3
TM-Verlust [%]	33,9	35,4	31,5	7,35	21,3	5,1
Luftgeschwindigkeit Schüttung [m · s <sup>-1</sup> ]	0,01...0,02	0,005..0,010	0,07...0,10	0,09...0,10	0,02...0,03	0,02
$\alpha^3$	900	1000	300	550	1500	500
$\beta^3$	1,43	0,87	1,74	1,43	0,75	1,74

Anm: <sup>1</sup> nach Trocknungsversuch  
<sup>2</sup> vor Trocknungsversuch  
<sup>3</sup> gemäß Glg. →

$$\frac{\Delta p}{h} = \alpha \cdot w^\beta$$

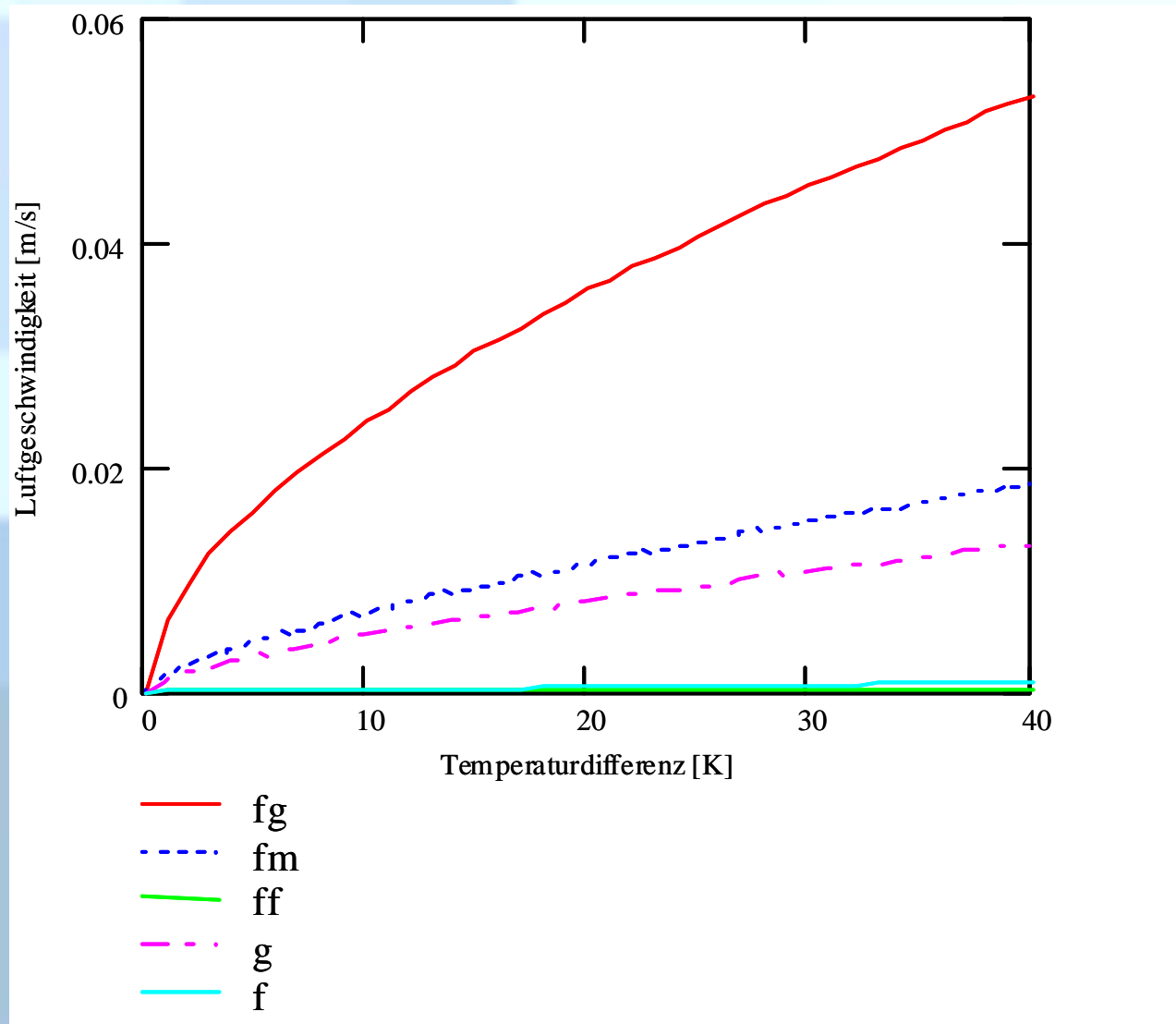
# Strömungswiderstand - Druckverlust



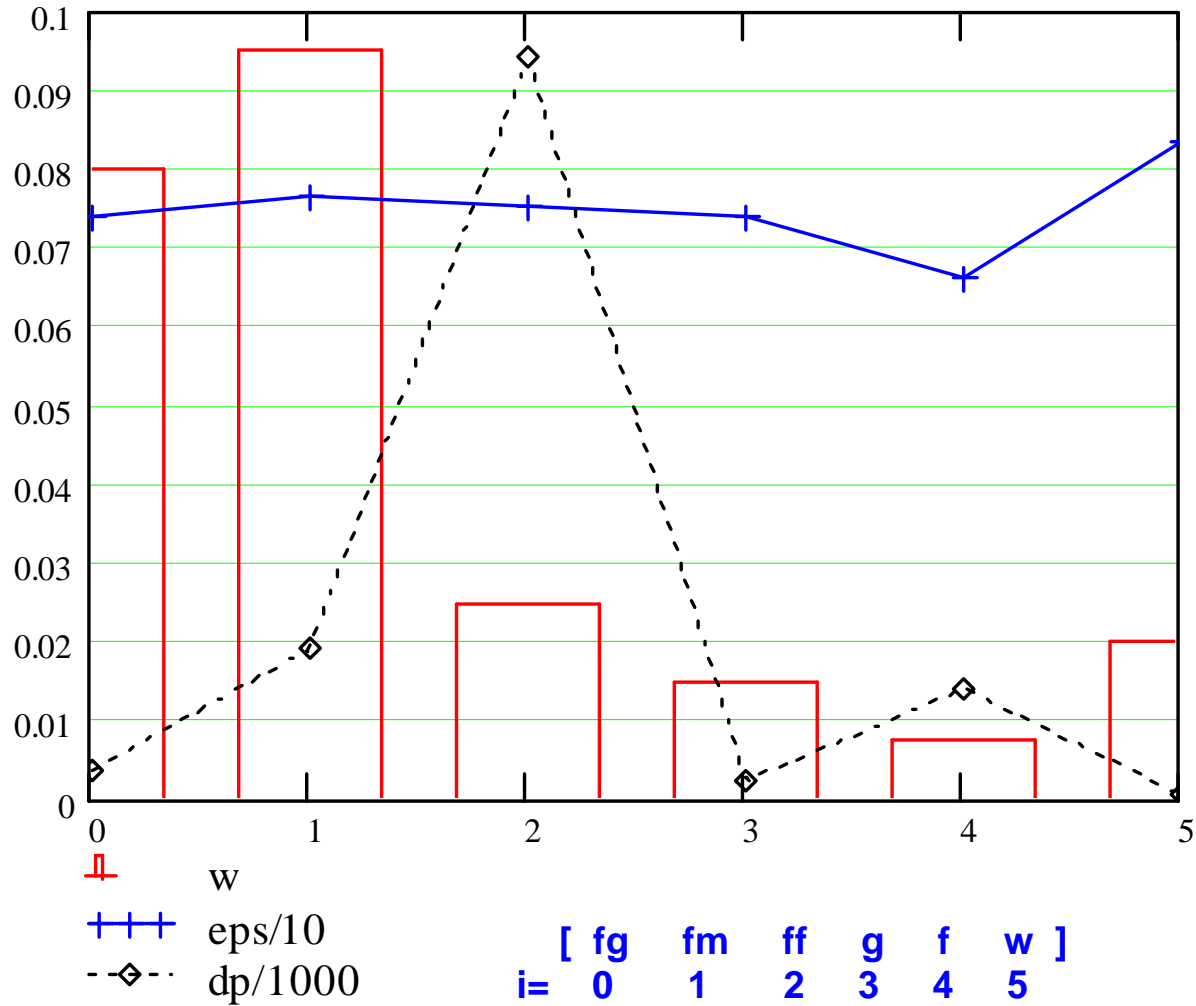
- fg
- ××× fm
- +++ ff
- g
- ◇◇◇ f
- w

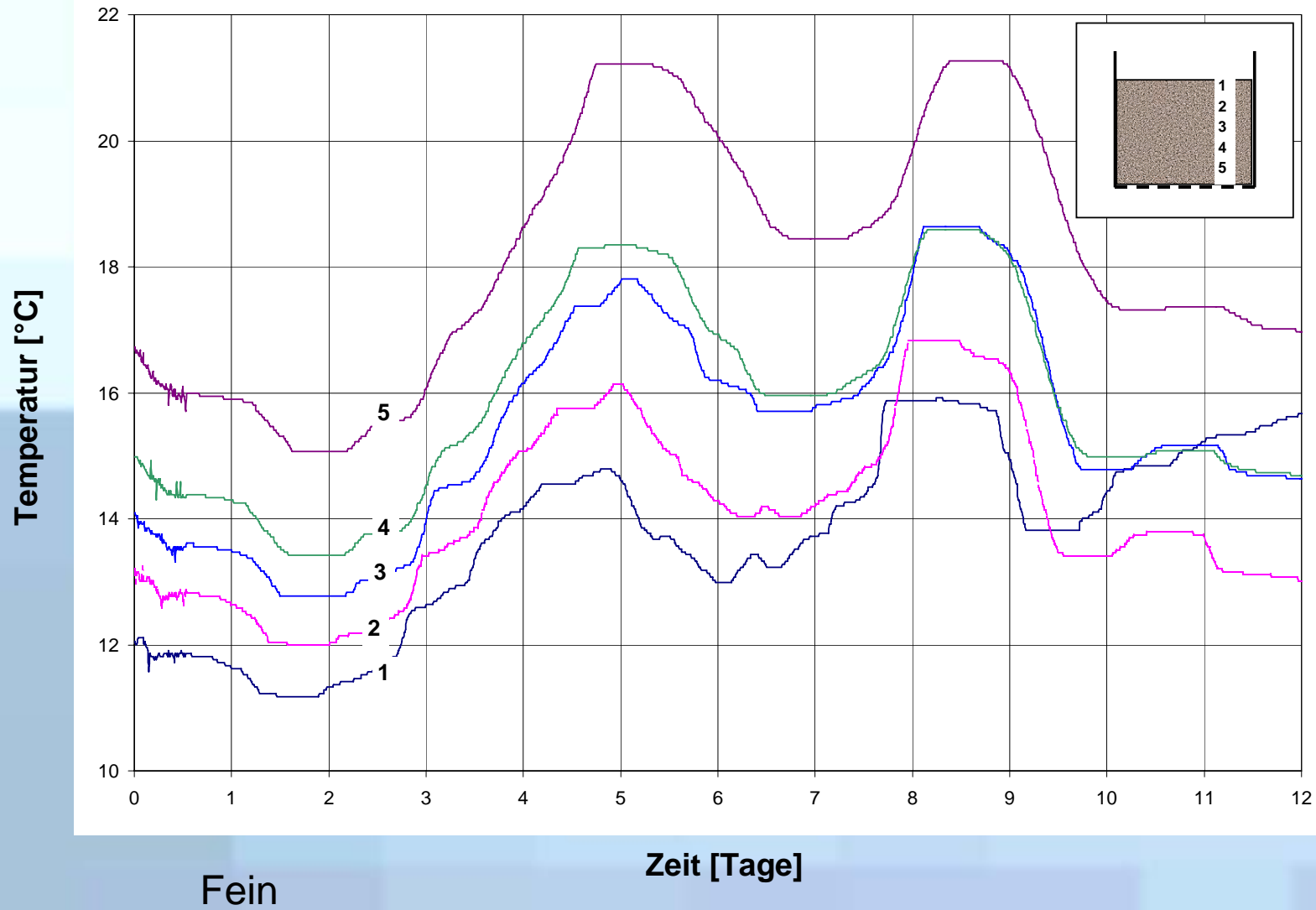
$$\frac{\Delta p}{H} = \alpha \cdot w^\beta \quad [\text{Pa m}^{-1}]$$

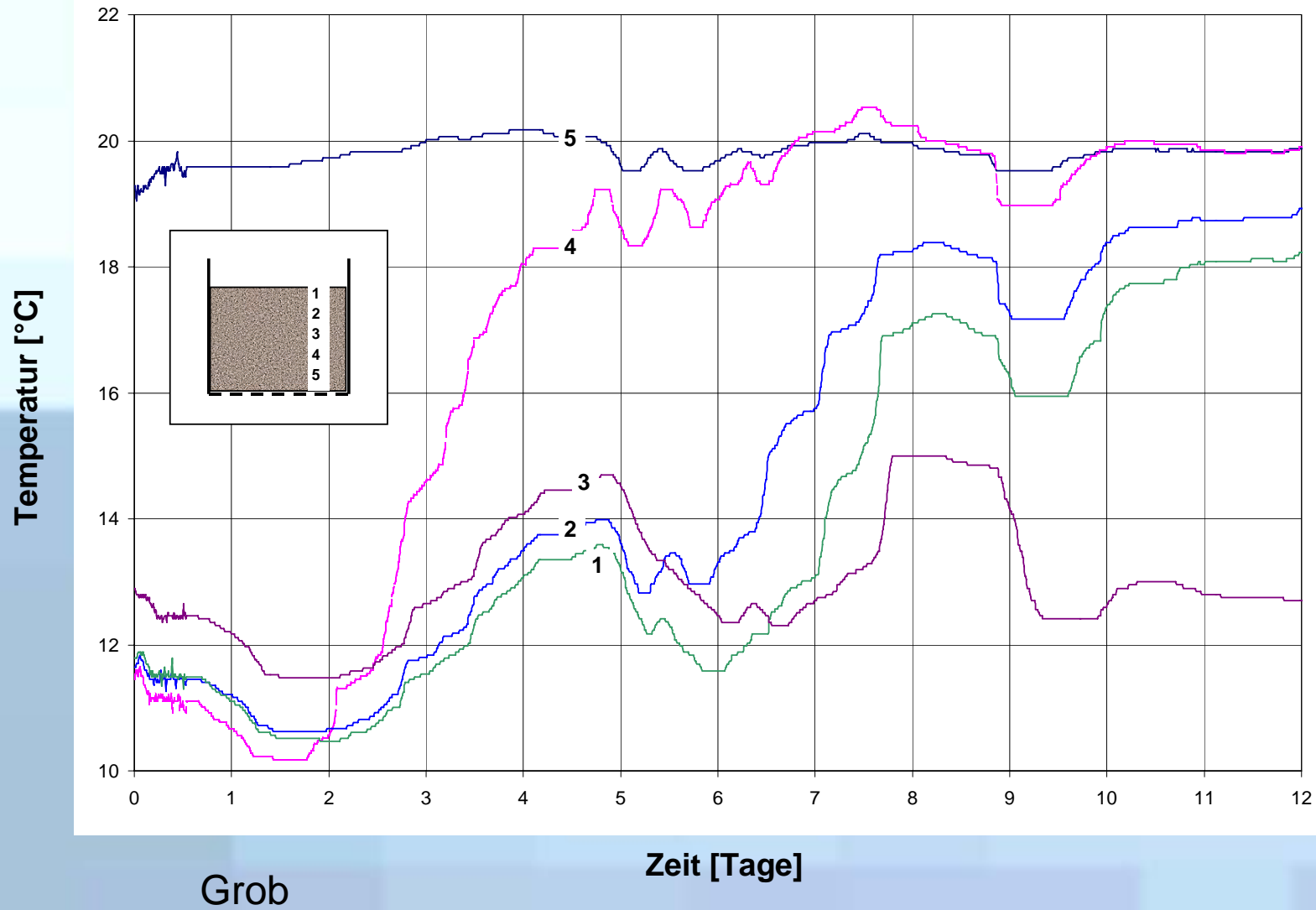
# Freie Konvektion in Schüttung

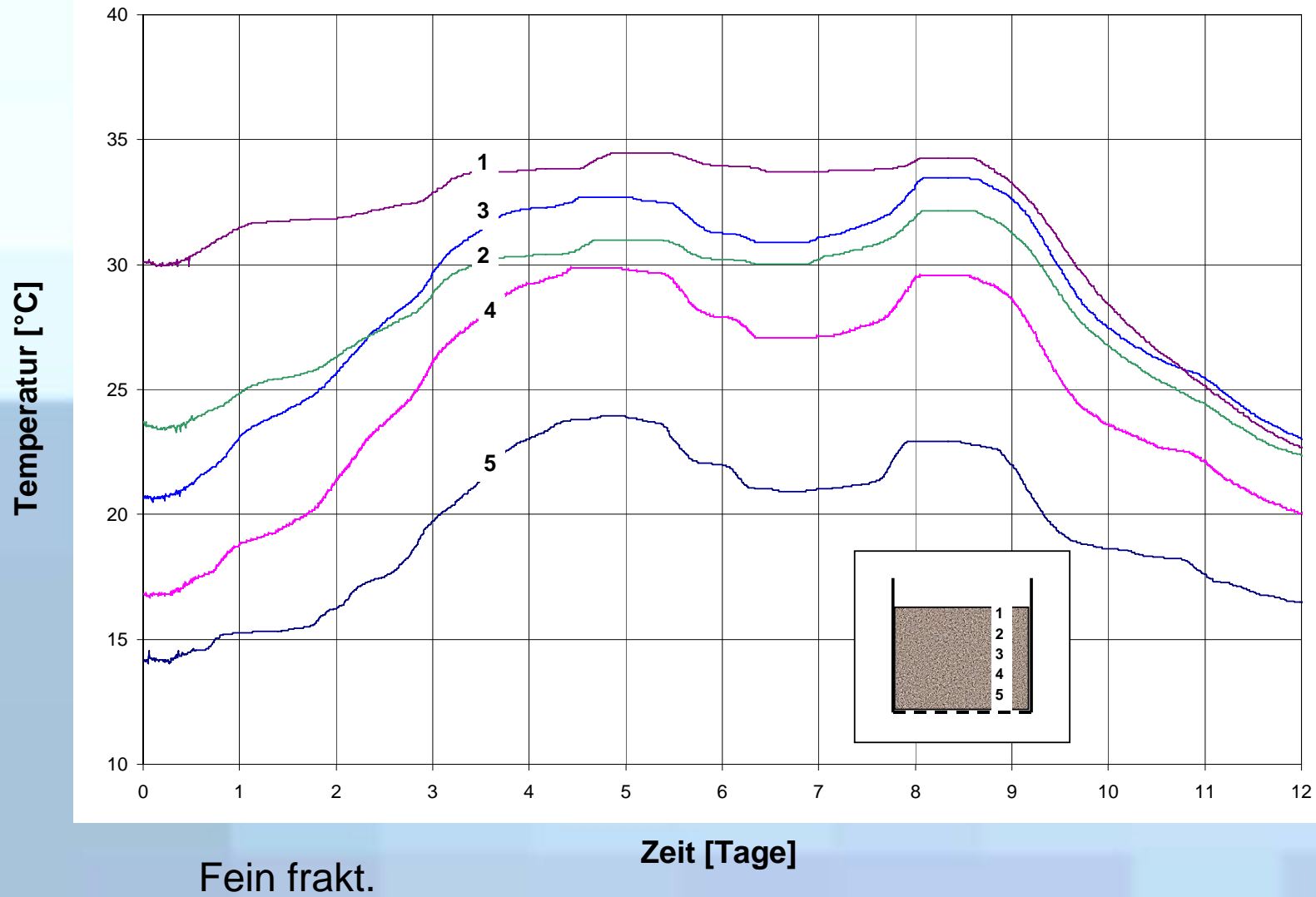


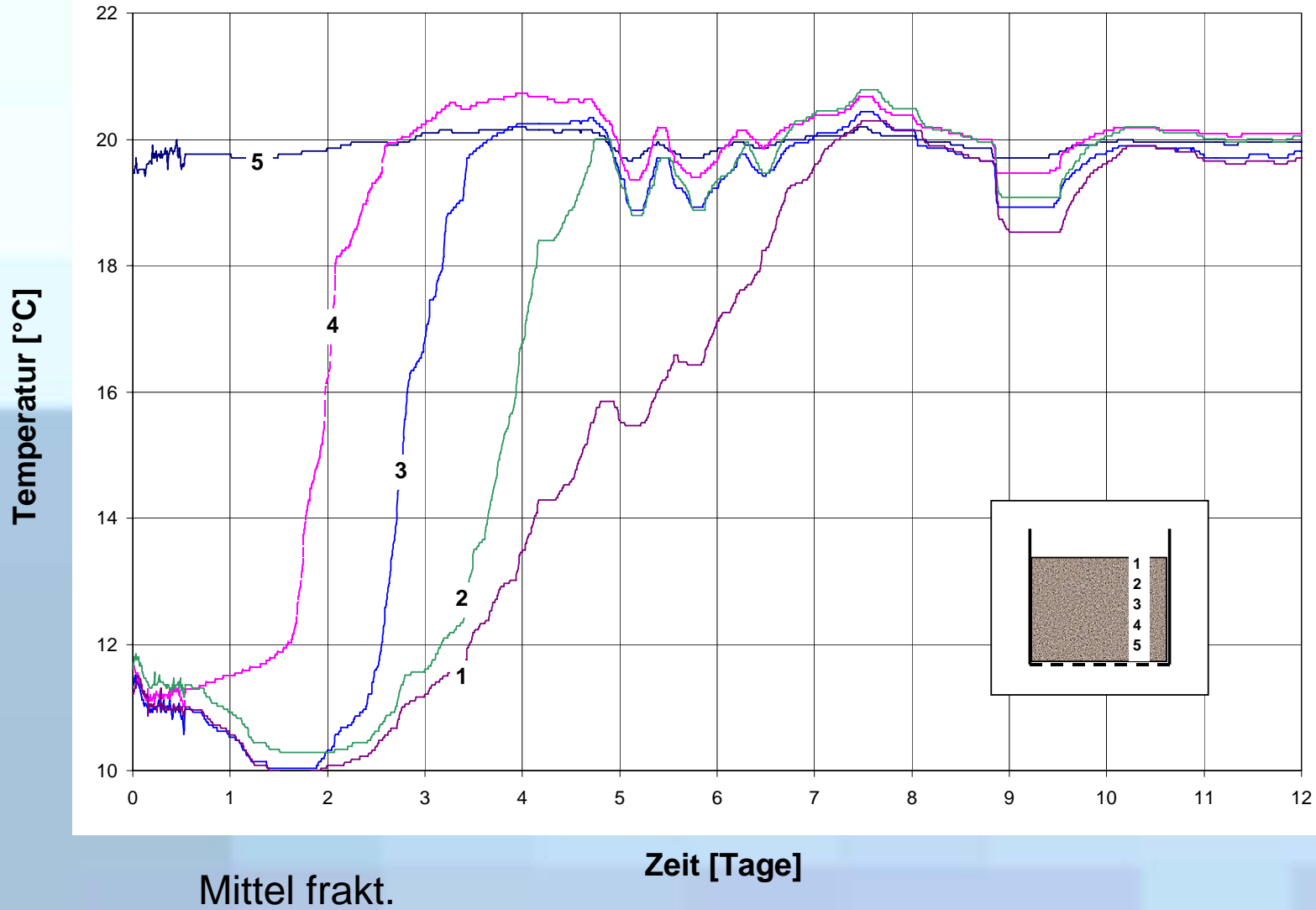
# Vergleich

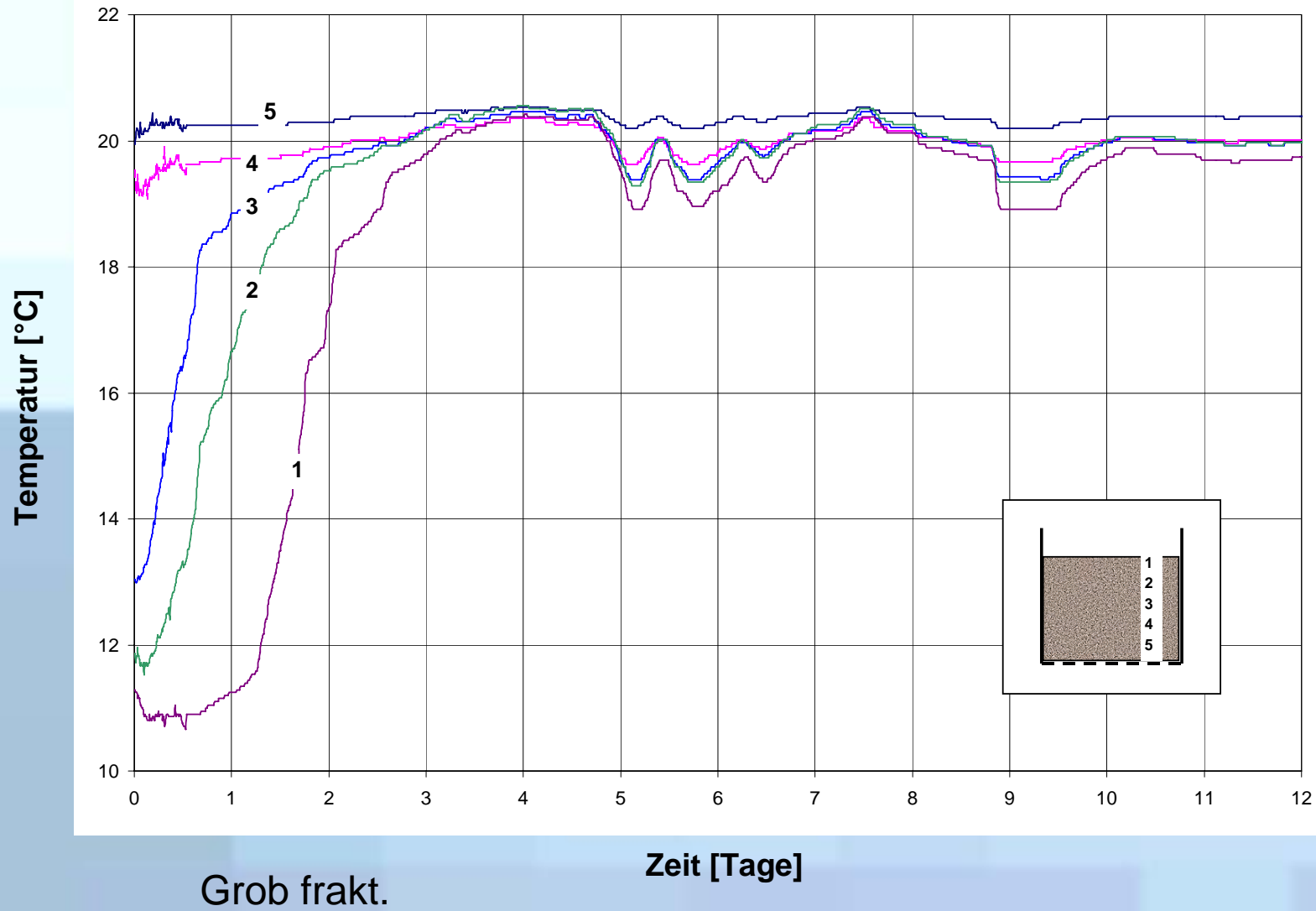






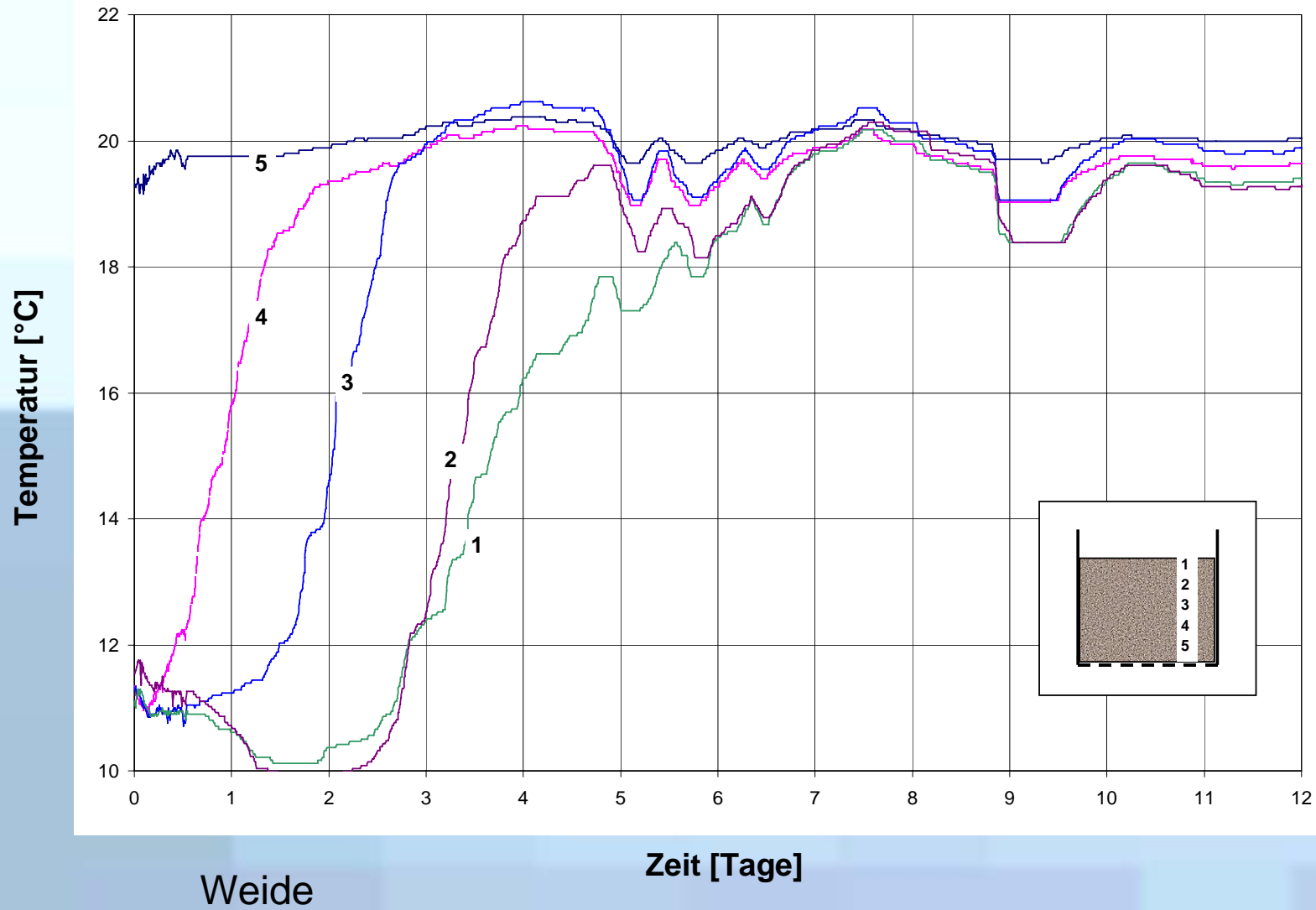




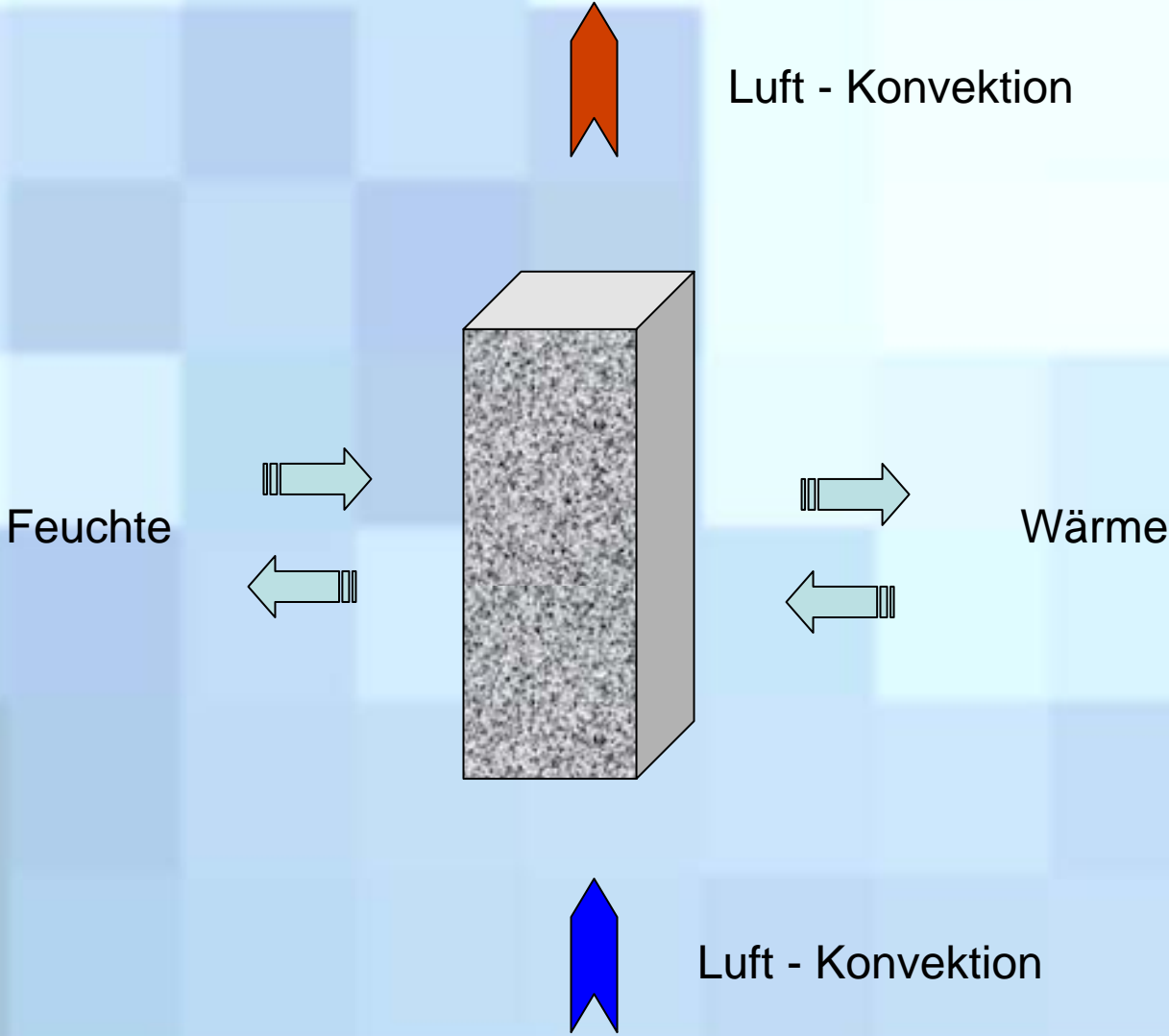


Grob frakt.

Zeit [Tage]

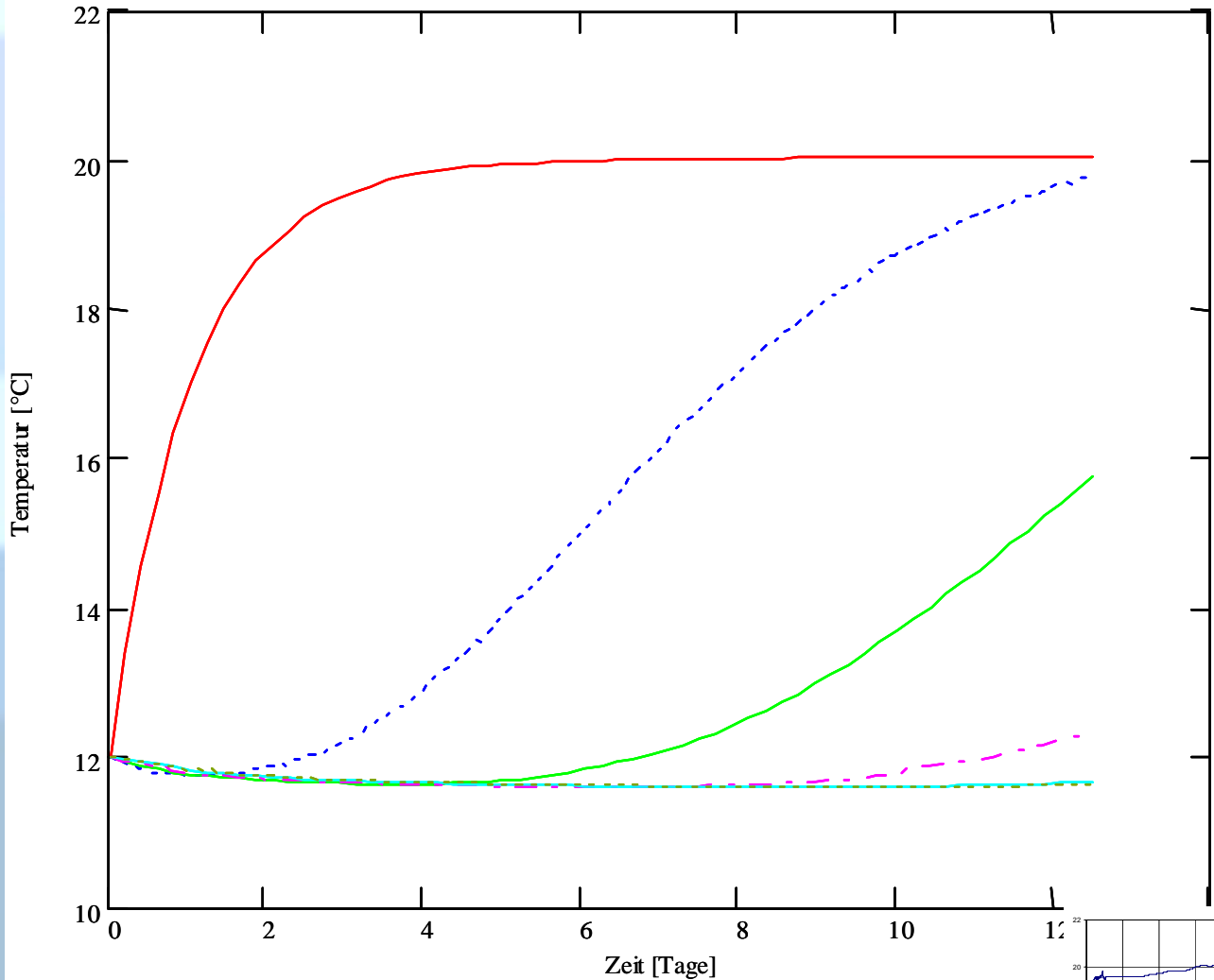


# Modellierung - Bilanzgleichungen

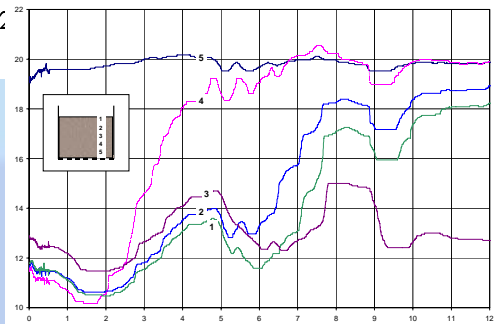


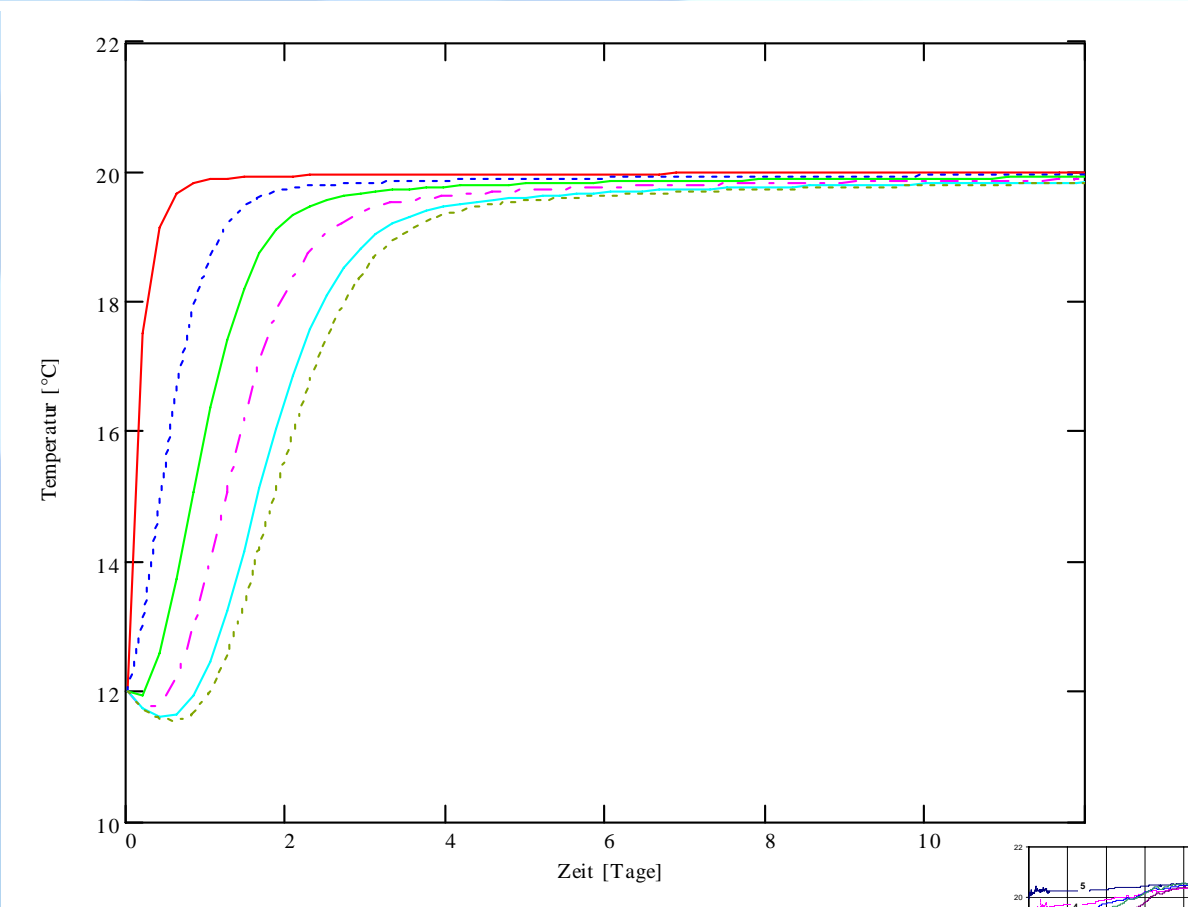
# Modellierung – Bilanzgleichungen und Nebenbedingungen

- Stoffübergang
- Wärmeübergang
- Verdampfungsenthalpie
- Eigenwärmeentwicklung
- Korngrößen
- Schütthöhe
- Druckverlust in der Schüttung
- Temperatur der Luft
- Geschwindigkeit der Luft
- Feuchtebeladung der Luft
- Feuchtegehalt der Hackschnitzel

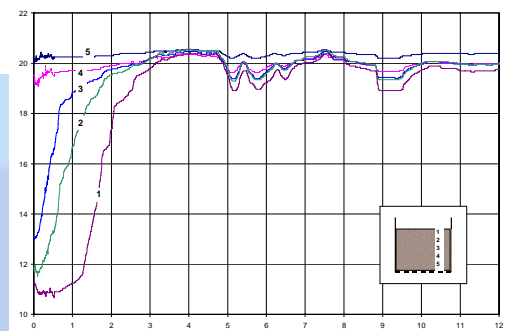


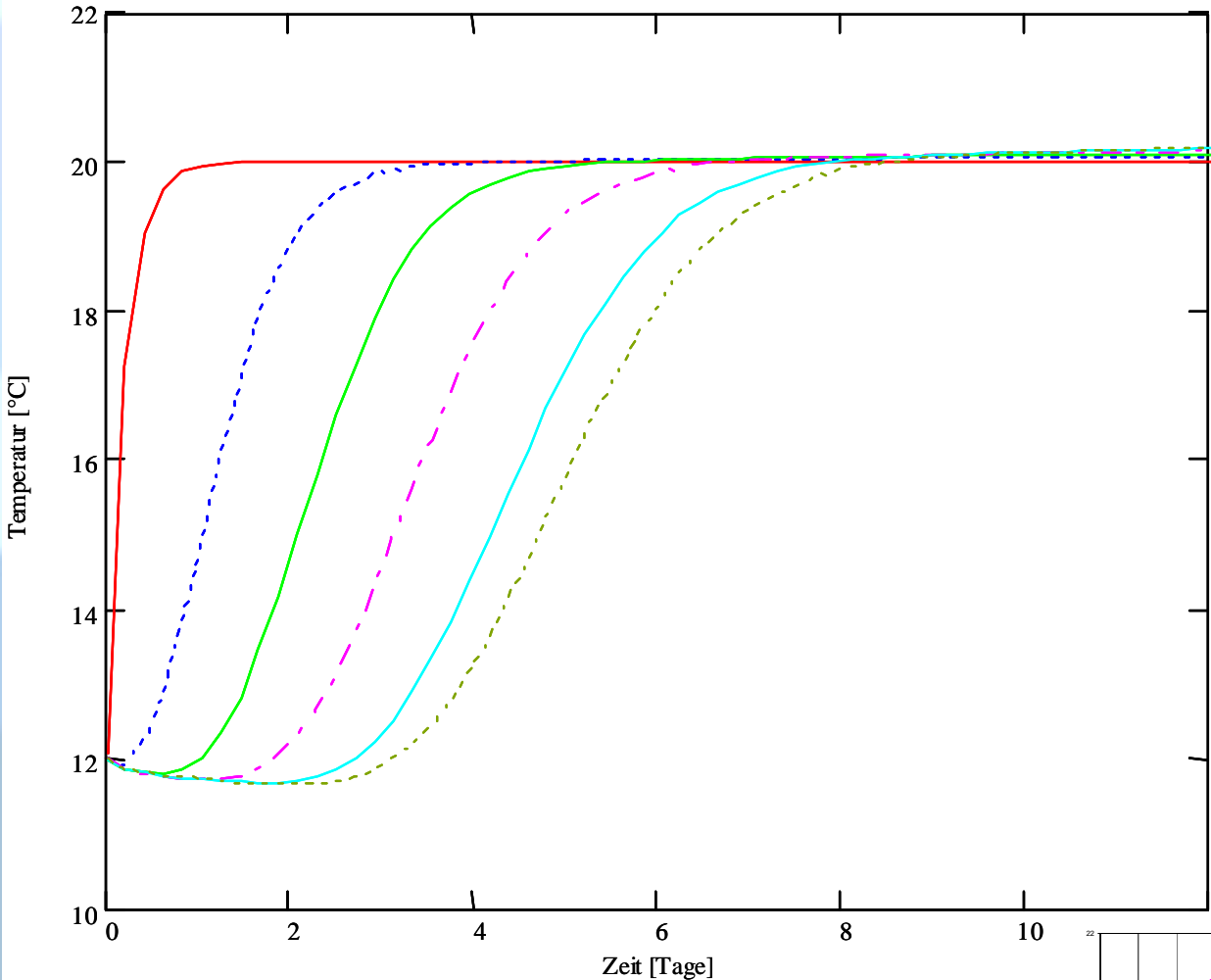
Grob



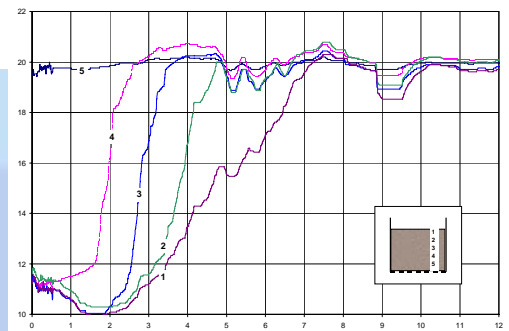


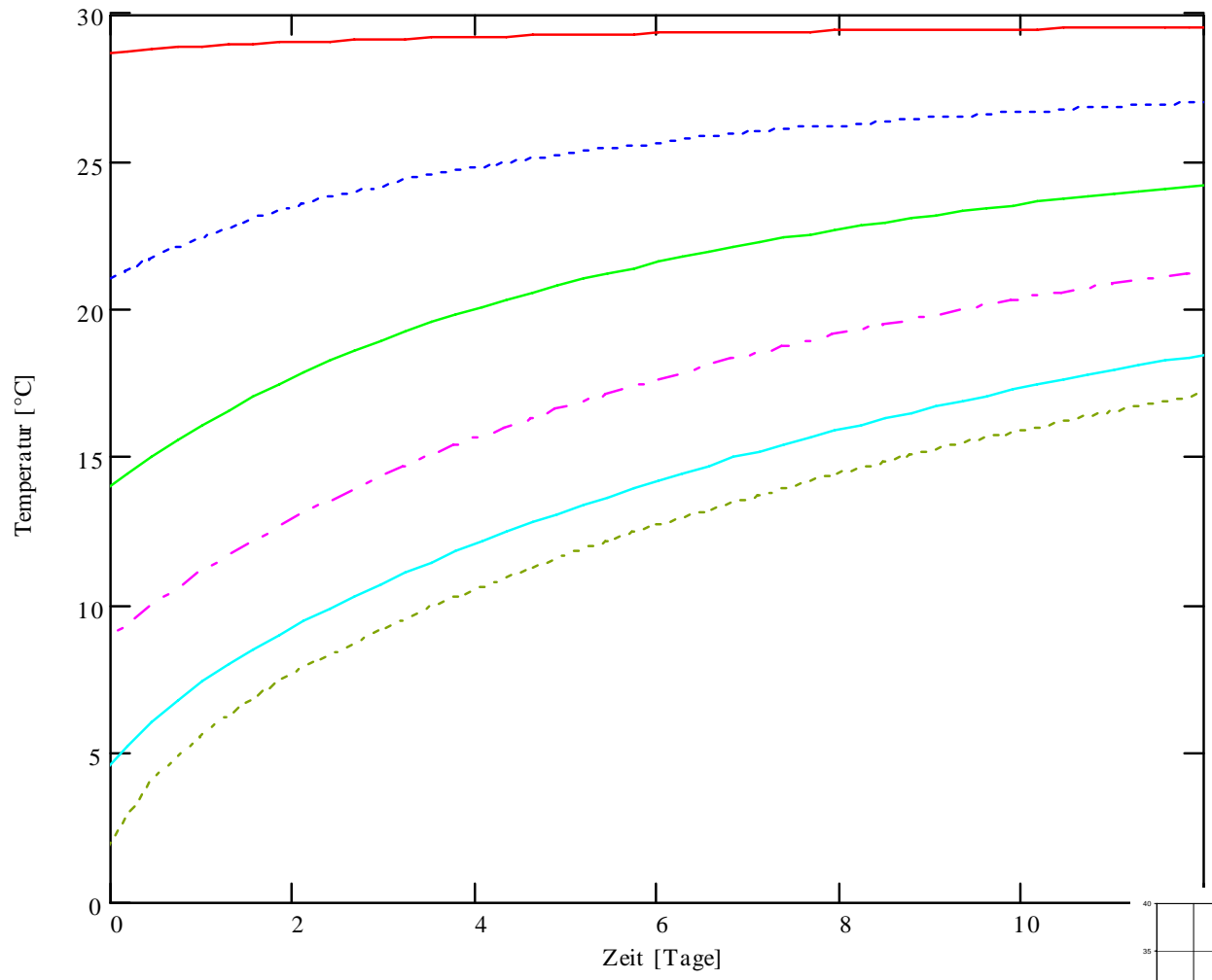
Grob frakt.



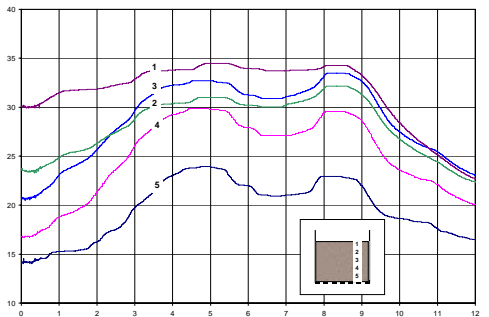


Mittel frakt.

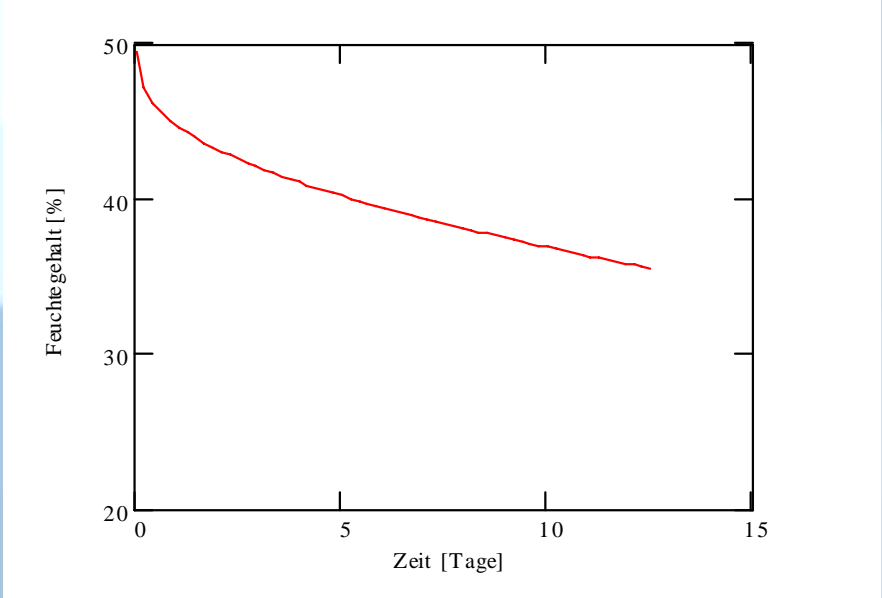




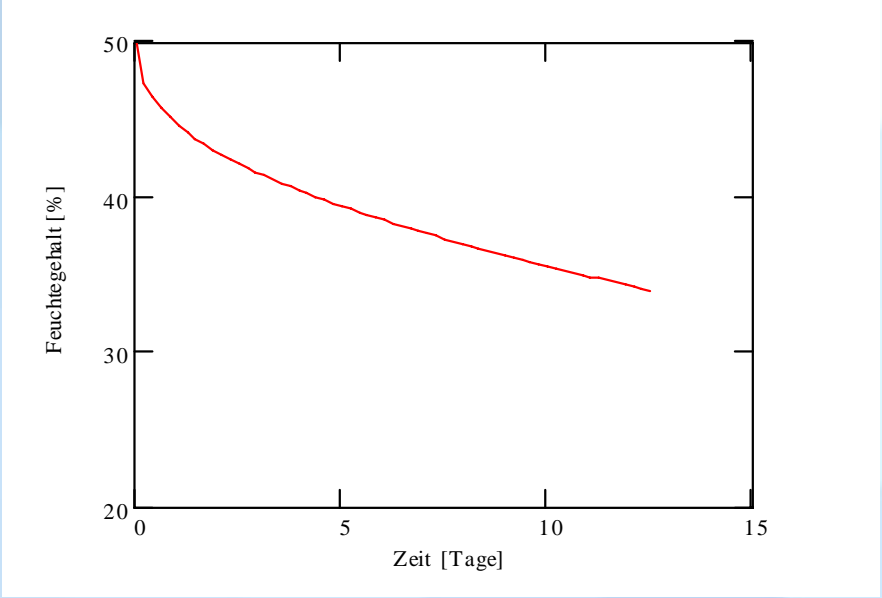
Fein frakt.



# Feuchteverlust - Modellrechnung



Fein frakt.



Grob frakt.

Kaltluftbelüftung bei 5°C

## Thermodynamisches Modell

- ↳ qualitative Übereinstimmung mit Messungen
- ↳ homogene Schüttung
- ↳ gleiche Korngrößen

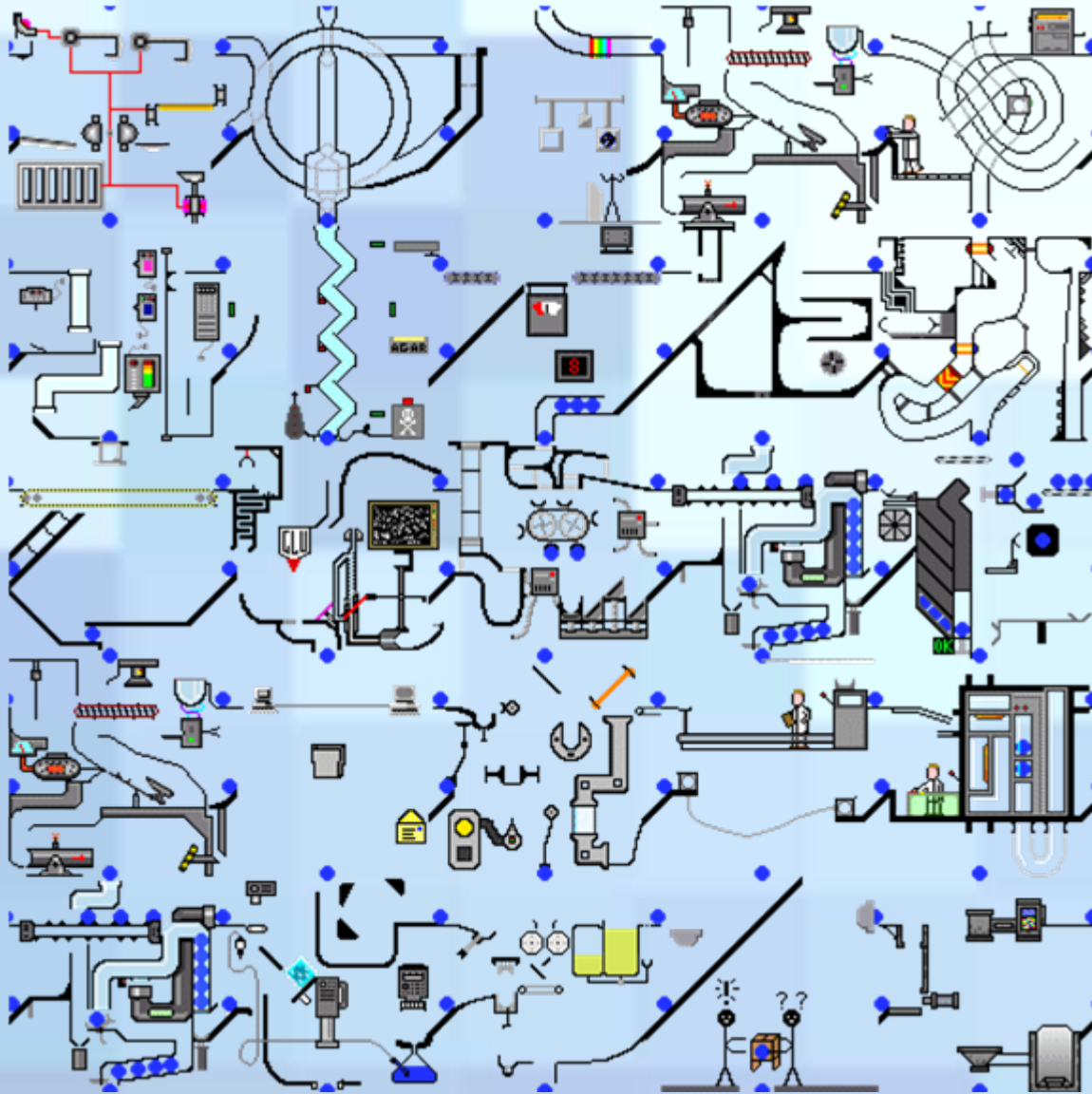
### Weitere Ziele:

- Validierung des Modells durch Messungen
- Parameteridentifikation verschiedene Varianten
- Erweiterung auf 2-dimensional mit Strömung
- Verbesserung Randbedingungen
- Verbesserung Stoffwechselfvorgänge

# Zusammenfassung

- Pappel, sortiert, grob: trocken nach 7 Tg (10 %)
  - Pappel, sortiert, mittel: trocken n. 15 Tg (<20 %)
  - Pappel, sortiert, fein: *keine* Trocknung (40 % nach 18 Tg)
  - Erwärmung (Temperaturinversion)  
bei feinen Schnitzeln (Wiederbefeuchtung)  
Schimmelpilzbildung (*homopathogene*)
- ↳ beste Ergebnisse für grobe und  
homogen verteilte Hackschnitzel
- ↳ Erhöhung des Heizwerts ca. 2 kWh / kg (TM)

# Lagerung von Holzhackschnitzeln



**VIELEN DANK**