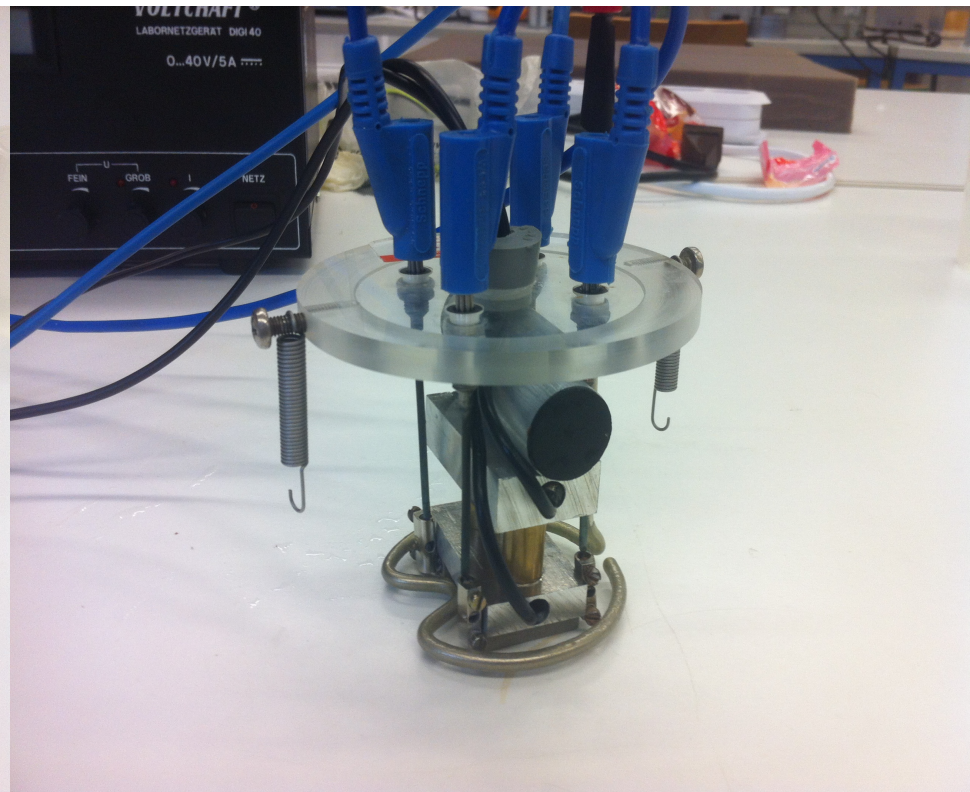
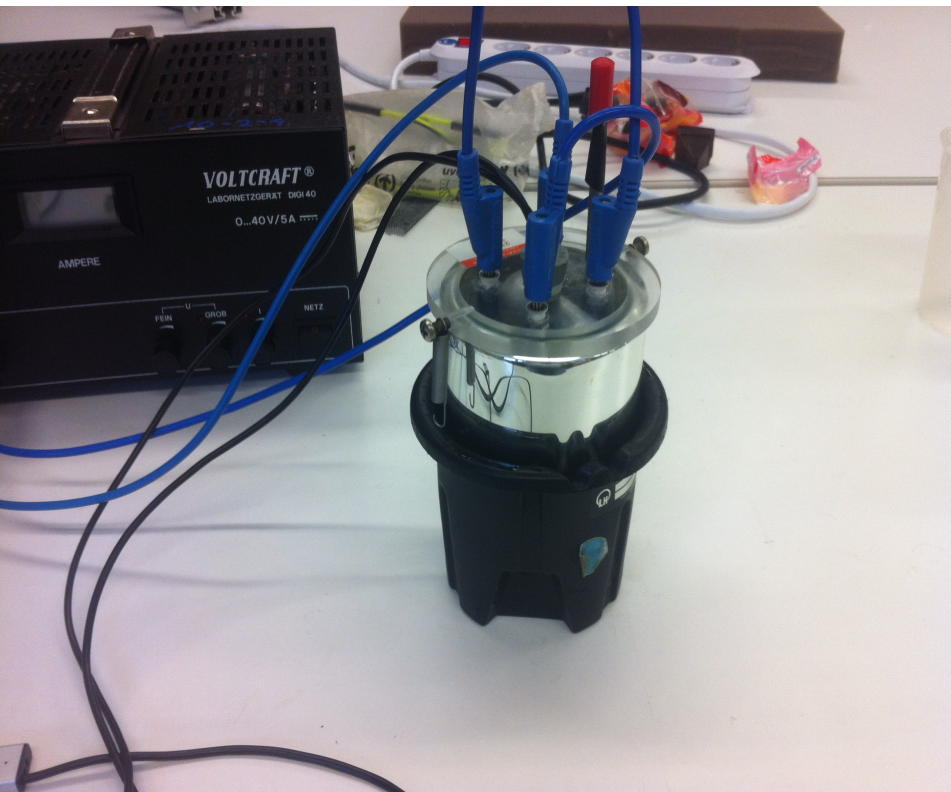




Hysteresis von Schokolade

Vom schmelzen und gefrieren von Schokolade

Inhalt

- Einleitung
- Theoretische Grundlagen
- Versuchsaufbau
- Auswertung
- Zusammenfassung
- Fehlerdiskussion

Einleitung

- Hysterese von Schokolade
- Ziel:
 - Schmelz- und Erstarrungspunkt
 - Zusätzlich Wärmekapazität
- Realisierung durch Kalorimetrie

Theoretische Grundlagen – die Zusammensetzung von Schokolade

- Zucker und Kakaobutter als Hauptbestandteile
- Kakaobutteranteil bestimmt das Schmelzverhalten
- Restliche Bestandteile variieren leicht die Schmelztemperatur

Bestandteil	%
Kakaobutter	54,0
Eiweiß	11,5
organische Säuren	9,5
Cellulose	9,0
Polyphenole	6,0
Wasser	5,0
Mineralstoffe und Salze	2,6
Theobromin	1,2
Zucker	1,0
Koffein	0,2

Schokolade	Kakaomasse %	Kakaobutter %	Milchpulver %	Zucker %
Milch	15	15	20	50
Vollmilch	30	10	25	35
Halb- oder Zartbitter	50	5	0	45
Bitter	60	0	0	40

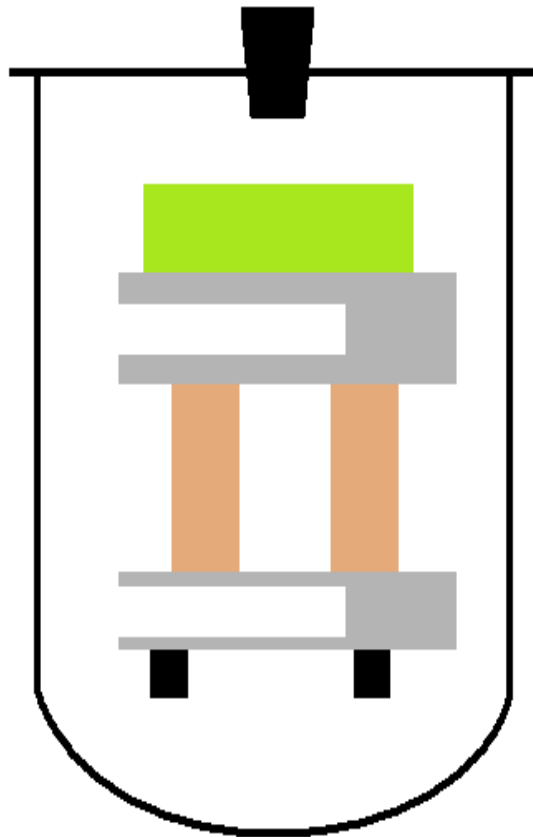
- Kakaobutter verursacht die Hysterese
- Gemisch verschiedener Fette
- Übergang zwischen den Kristallformen
- Verschiedene Schmelzwärmen der Kristallstrukturen

Kristallform	Schmelzpunkt °C	Schmelzwärme cal/g
I	17.3	–
II	23.3	20.8
III	25.5	26.5
IV	27.5	29.0
V	33.8	33.8
VI	36.3	35.4

Kristallformen der Kakaobutter

Versuchsaufbau

Umgebung mit T_3



Probenbehälter aus Alu

Oberes Aluminium T_2

Messingstangen für
Wärmeleck

Unteres Aluminium T_1

- Wärmeleckkalorimetrie
- Messung mit zwei Temperaturfühler
 - Zeit in s
 - Temperatur in $^{\circ}\text{C}$
- Wärmezufuhr mit zwei Widerständen
ca. $38\ \Omega$
- Pro Probe drei Messungen

- Annahmen:
 - Aluminium leitet Wärme ohne Zeitverzögerung
 - Oberes Alu besitzt die selbe Temperatur wie die Probe
 - Wärmekapazität wird als konstant angenommen
- Grundgleichungen:
 - Wärmemenge: $\delta Q_2 = m \cdot c_v \cdot \delta T_2 = C \cdot \delta T_2$
 - Wärmestrom: $\dot{Q}_{12} = j = \frac{A \cdot \lambda}{l} \cdot (T_1 - T_2) = k \cdot (T_1 - T_2)$
- Simulieren des Temperaturverlaufs:

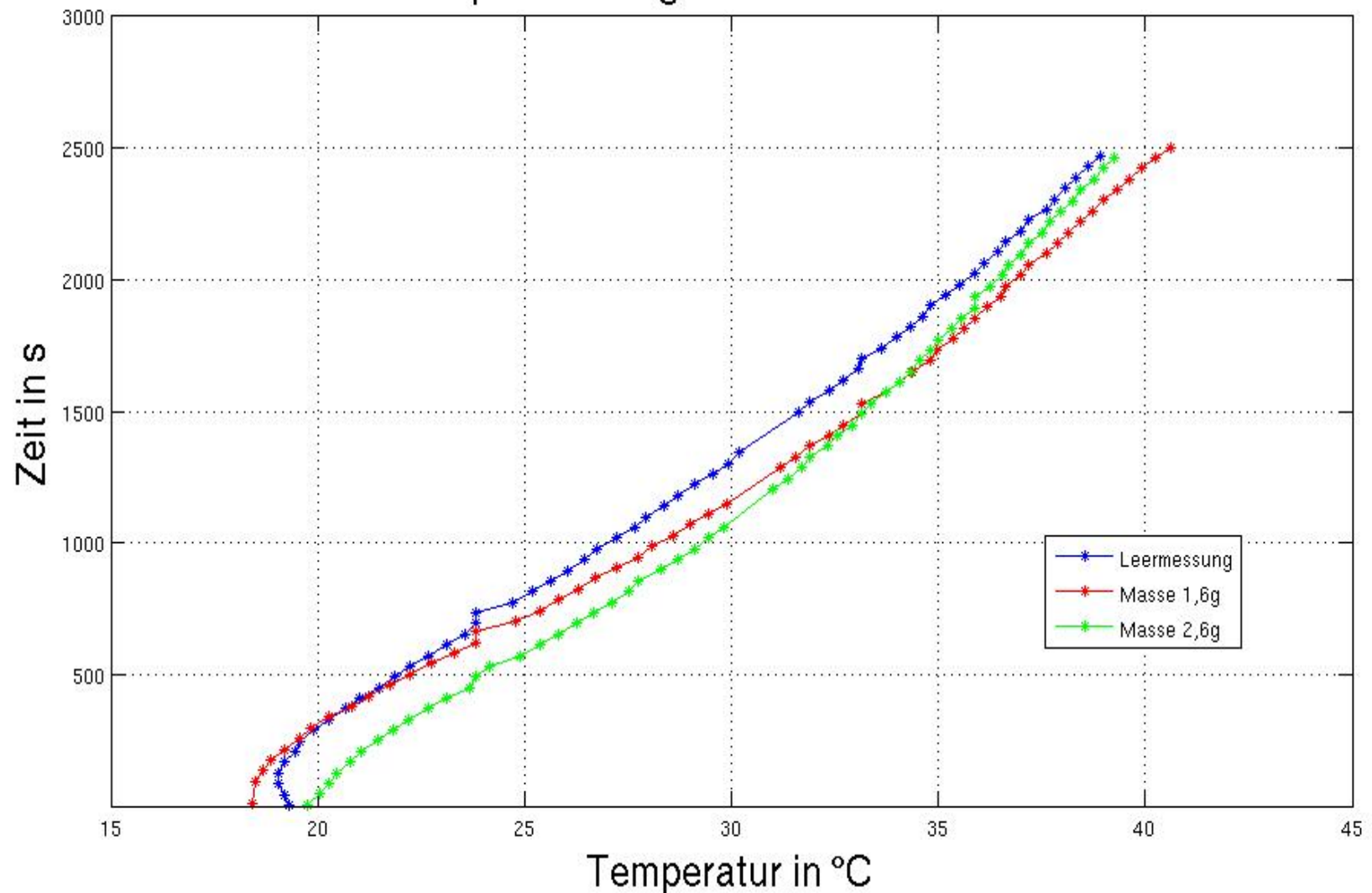
$$T_{2,n, fit} = T_{2,n-1,m} + \frac{1}{C(T_2)} [k(T_{1,n,m} - T_{2,n,m}) - \tilde{k}(T_{2,n,m} - T_{RT})] (t_n - t_{n-1})$$

- Auswerteformel:

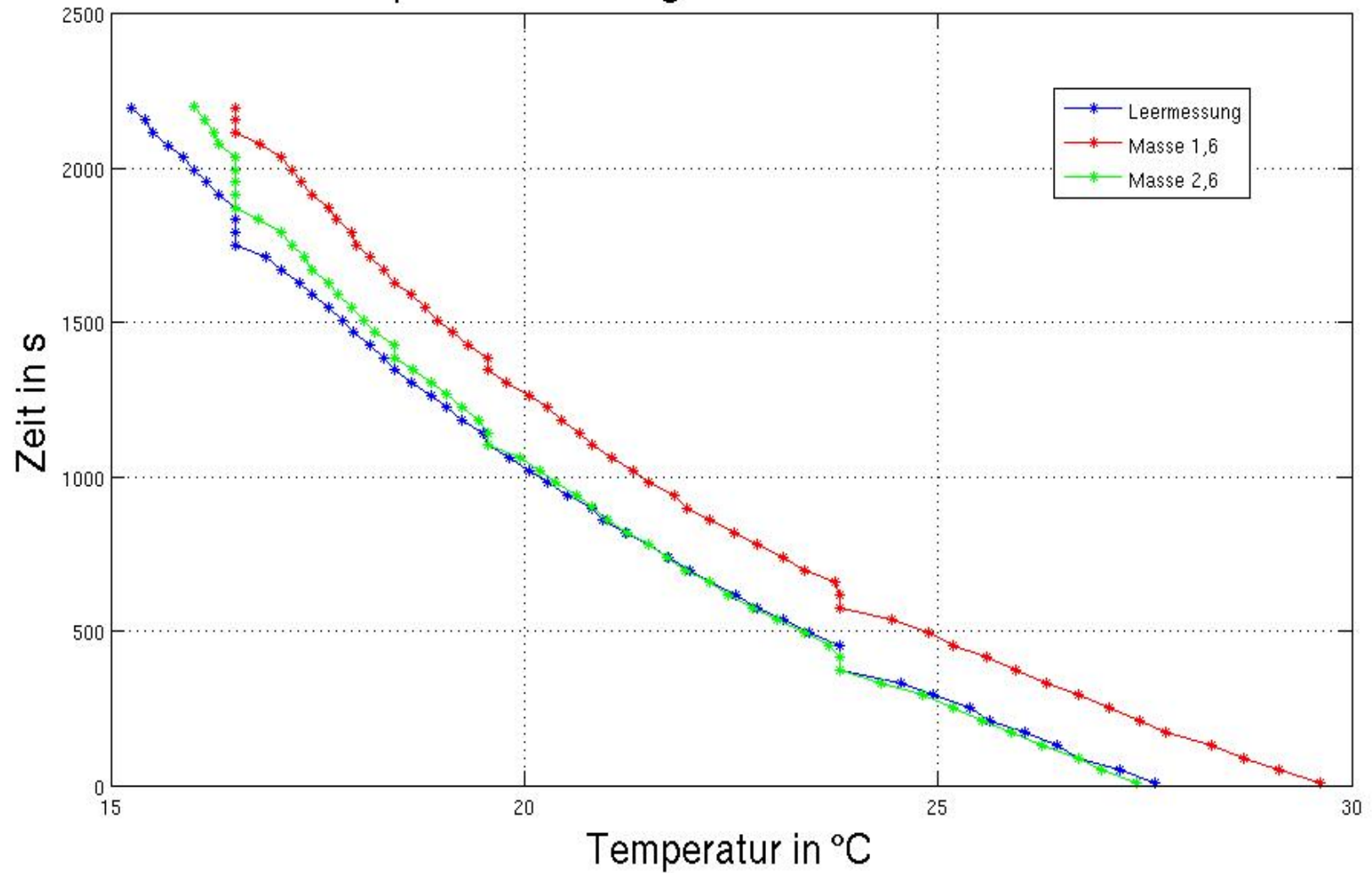
$$C(T_2) = \frac{t_n - t_{n-1}}{T_2(t_n) - T_1(t_{n-1})} \cdot [k \cdot (T_1(t) - T_2(t)) + \tilde{k} \cdot (T_2(t) - T_{RT})]$$

Auswertung

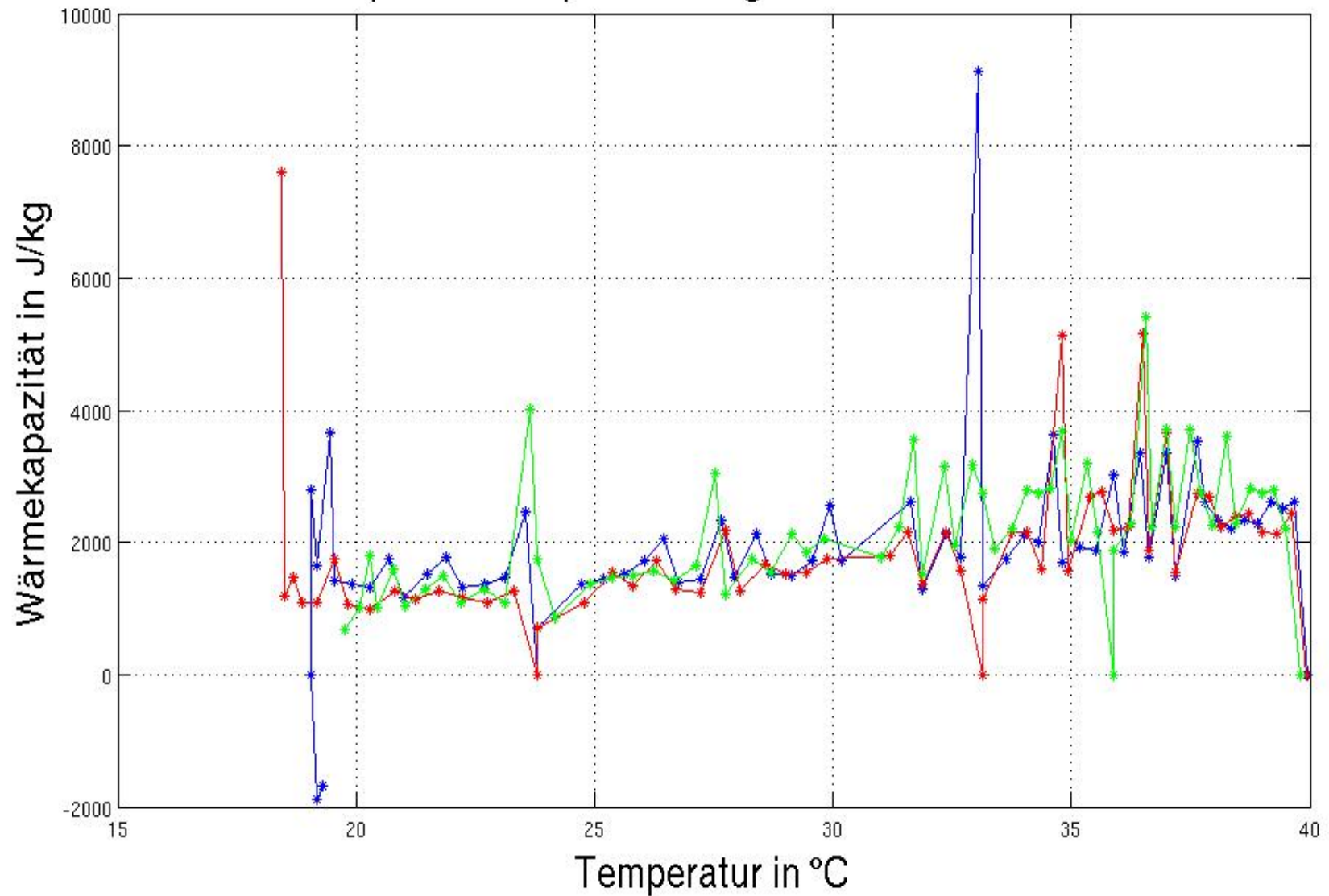
Zeit-Temperatur Diagramm Zartbitter Schokolade



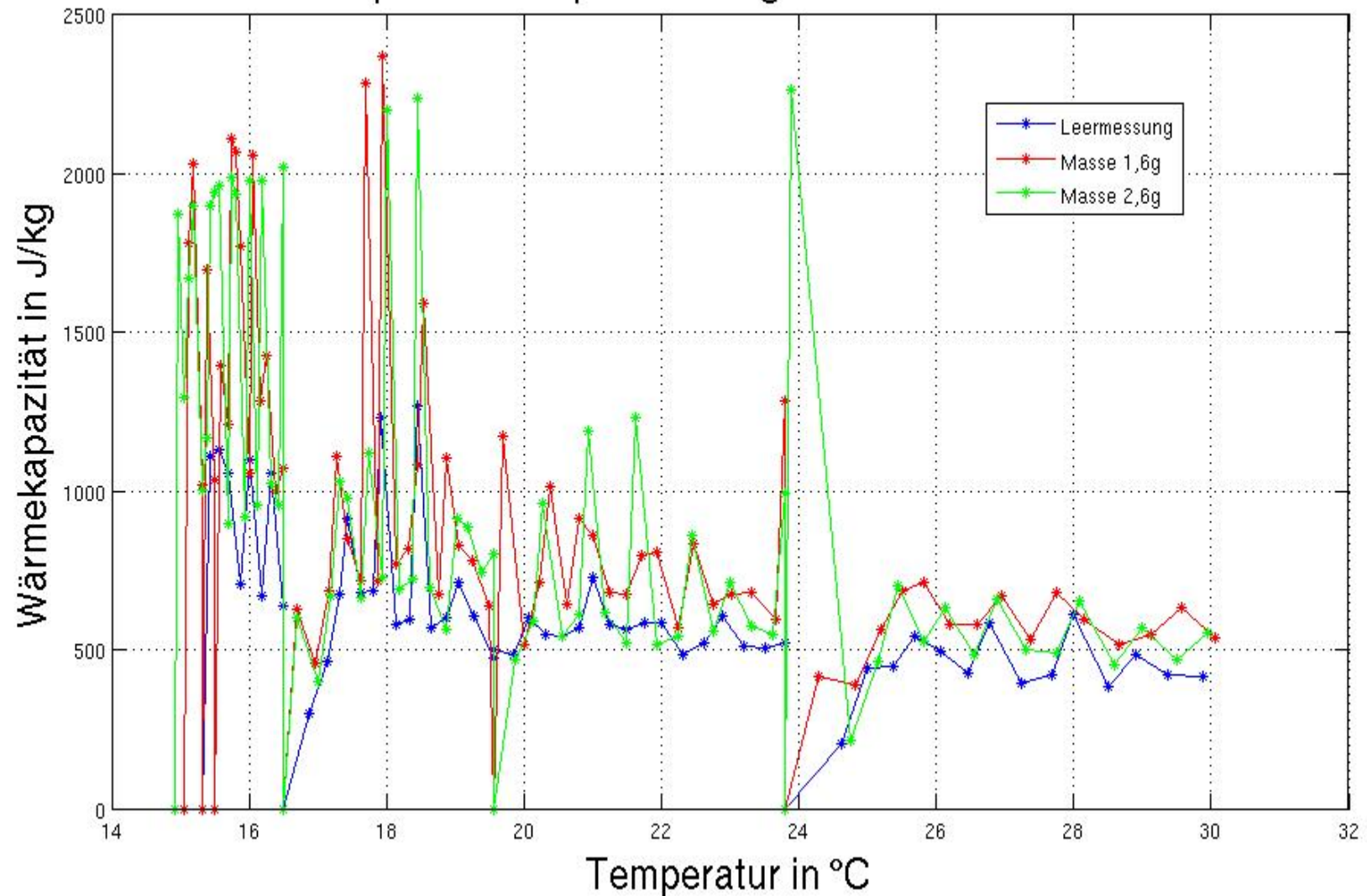
Temperatur-Zeit-Diagramm Zartbitter Schokolade



Wärmekapazität-Temperatur Diagramm Zartbitter Schokolade



Wärmekapazität-Temperatur Diagramm Zartbitter Schokolade



Zusammenfassung

Schokoladensorte	Schmelzpunkt in °C	Erstarrungspunkt in °C	Spez. Wärmekapazität im festen Zustand in J/(kg*K)
Block	31,4 ± 1	19,5 ± 1	3485,55 ± 1500
Vollmilch	30,2 ± 1	19,5 ± 1	2247,25 ± 500
Zartbitter	35,5 ± 1	19,5 ± 1	3185,5 ± 400
Weiß	-	-	56730,75
Literatur Wert Block ZB Vollmilch Weiße KV	(31 - 32) (31 - 32) (30 - 31) (28 - 30)	(16-21) °C für alle	1883,0 2009,8 2005,7 1819,3

Fehlerdiskussion

- Kühlungsproblem: Eis schmolz teilweise zu Wasser
 - » Keine konstante Kühlleistung
- Wärmeverlust durch Kunststoffdeckel
- Annahmenfehler:
 - Gemessene obere Temperatur nicht gleich Probentemp.
 - C nicht konstant

**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit**