

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Fakultät Life Sciences

Studiengang Ökotrophologie

Worin unterscheiden sich Kakaobuttersorten und inwiefern wirken sich diese Eigenschaften auf das Kristallisationsverhalten aus?

Bachelorthesis

Tag der Abgabe: 08.11.2018

Vorgelegt von:

Nadine Büscher

Betreuende Prüferin: Prof. Dr. med. vet. Katharina Riehn

Zweite Prüferin: Stephanie Nottelmann

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	4
1 Einleitung	1
2 Hintergrund	2
2.1 Kakao – Theobroma Cacao	2
2.1.1 Allgemeines	2
2.2 Herstellung Kakaobutter	2
2.3 Inhaltsstoffe & Zusammensetzung	3
2.3.1 Unterschiede zwischen Kakaobuttersorten	4
2.3.2 Allgemeine Eigenschaften	5
2.3.3 Chemische Eigenschaften	6
2.3.4 Physikalische, technologische Eigenschaften	7
2.4 Nutzen für die Schokoladenherstellung	10
2.5 Weitere Verwendungsmöglichkeiten	12
2.6 Kakaobutter Äquivalente und Ersatzfette	12
3 Differential Scanning Calorimetry	14
3.1 Gebiete der DSC	14
3.2 Temperaturprogramme	16
3.3 Messprinzip	16
3.4 Kakaobutter und DSC in der Literatur	16
3.4.1 Gottfried Ziegler	17
3.4.2 Katalin Kerti	18
3.4.3 Foubert et. al. 2002	19
3.4.4 Foubert et. al. 2004	20
3.4.5 Mettler Toledo	21
4 Laboruntersuchungen	22
4.1 Ziel	22

4.2	Material und Methoden	22
4.2.1	Material.....	22
4.2.2	Methode	25
4.3	Ergebnisse.....	28
4.4	Vergleich Messung A und Messung B	28
4.5	Kristallisation	33
4.6	Vergleiche Schmelzen	35
4.6.1	Bio vs. Nicht-Bio.....	35
4.6.2	1 Rapunzel vs. 2 Alnatura	37
4.6.3	Nicht desodoriert vs. Desodoriert.....	38
4.6.4	Weiß vs. Schwarz.....	40
4.7	Diskussion	41
4.7.1	Verwendete Literatur.....	41
4.7.2	Verwendete Methodik	42
4.7.3	Ergebnisse.....	43
5	Ausblick.....	44
	Zusammenfassung.....	46
	Literaturverzeichnis	47
	Rechtsquellenverzeichnis.....	49

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beispiel für ganze Messung A, Probe 4	28
Abbildung 2: Vergleich Schmelzen Messung A, alle Proben	29
Abbildung 3: Vergleich Schmelzen Messung A vs B, Probe 4	29
Abbildung 4: Vergleich Schmelzen Messung A vs B, Probe 10	31
Abbildung 5: Vergleich Schmelzen Messung A vs B, Probe 1	32
Abbildung 6: Vergleich Kristallisationskurve, alle Proben	33
Abbildung 7: Vergleich Schmelzen Bio vs. Nicht-Bio, alle Proben	36
Abbildung 8: Vergleich Kristallisation Bio vs. Nicht-Bio, alle Proben	36
Abbildung 9: Vergleich Schmelzen Probe 1 vs. 2	37
Abbildung 10: Vergleich nicht desodoriert vs. desodoriert, Probe 5 und 2	39
Abbildung 11: Vergleich nicht desodoriert vs. desodoriert, Probe 5 und 3	39
Abbildung 12: Vergleich weiß vs. schwarz, Probe 6 und 7	40

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Fettsäurezusammensetzung ausgewählter CBE-Fette im Vergleich zu Kakaobutter	14
Tabelle 2: Untersuchte Kakaobuttersorten	23
Tabelle 3: Sensorische Untersuchung	24
Tabelle 4: Materialien und Geräte	25
Tabelle 5: Probenmassen beider Messungen	27
Tabelle 6: Peaktemperaturen und max. Schmelzwärme	30
Tabelle 7: Kristallisationspeaks Messung A	34

1 Einleitung

Kakao ist weltweit ein beliebtes Produkt, da sich daraus viele Produkte wie unter anderem die Schokolade herstellen lassen. Schokolade zählt zu einem vielseitig beliebten Lebensmittel.

Als Grundlage der Schokoladenherstellung zählt die Kakaobutter. Diese besteht größtenteils aus Fett und wird auch aus der Kakaobohne hergestellt. Kakaobutter bestimmt viele chemische und physikalische Eigenschaften der Schokolade und ist somit von großer Bedeutung in der Schokoladenherstellung.

Für eine qualitativ hohe Schokolade wird demnach eine qualitativ hohe Kakaobutter benötigt.

Diese Arbeit wird Eigenschaften untersuchen, was eine qualitative Kakaobutter ausmacht, worin sich Kakaobuttersorten unterscheiden, wie sich diese Eigenschaften auf das Schmelz- sowie Kristallisationsverhalten auswirken, welche Alternativen es zu Kakaobutter gibt und wozu Kakaobutter noch verwendet wird.

Die Arbeit ist hierbei in einen Theorieteil und einen Praxisteil aufgeteilt. Im ersteren wird eine Einführung in das Thema und ein Überblick über die Eigenschaften von Kakaobutter gegeben, hierbei wird insbesondere auf die Fettzusammensetzung geschaut. Außerdem wird bereits vorhandene Literatur in Bezug auf den Praxisteil untersucht. Im Praxisteil werden DSC Messungen zu zehn verschiedenen Kakaobuttersorten durchgeführt und verglichen. Hierbei wird insbesondere zwischen Bio-Kakaobutter und Nicht-Bio-Kakaobutter unterschieden sowie verarbeitete und nicht verarbeitete Kakaobutter.

Die Arbeit wird im Zusammenhang des Cocoa Chain Projekts verfasst, welches die verschiedenen Verarbeitungsstufen von Kakao vom Anbau bis zur Schokoladentafel erfasst, um die verschiedenen Stufen hinsichtlich ihres Zusammenwirkens auf die Endqualität der Schokolade hin zu untersuchen.

2 Hintergrund

2.1 Kakao – Theobroma Cacao

2.1.1 Allgemeines

Die Kakaopflanze hat den Namen Theobroma Cacao, was griechisch so viel wie Speise der Götter bedeutet. (Kaden, 2013) Ursprünglich stammt die Pflanze aus den tropischen Gebieten Südamerikas, sie wird mittlerweile aber auch in Asien und Afrika angebaut. Westafrika zählt heutzutage zu den Hauptproduzenten weltweit. (Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 524) In der Natur kann die Kakaopflanze bis zu 15m hoch werden. Um die Ernte zu erleichtern wird der Kakaobaum in den Plantagen aber auf 4-8m Höhe gezüchtet. (Hänsel & Sticher, 2010, S. 1362)

Nach vier Jahren trägt der Kakaobaum das erste Mal Früchte, die in der Regel 20-50 Kakaobohnen in sich tragen. Ca. ein halbes Jahr nach der Blüte lassen sich die Früchte ernten. (Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 524)

2.2 Herstellung Kakaobutter

Kakaobutter (Cacao oleum) ist das Fett der Kakaobohne. (Hänsel & Sticher, 2010, S. 700) Zunächst werden die Bohnen nach der Ernte aufgeschlagen und zur Fermentation auf Bananenblätter oder auch, moderner, in Holzkisten gelegt und bedeckt. Die Fermentation der Kakaobohnen ist ein Gärprozess, der ungefähr eine Woche andauert. (Miedaner, 2018, S. 195) Die Fermentation erleichtert das Entfernen des Fruchtfleisches von der Schale. Zudem verändern sich auch Aroma, Geschmack und die Farbe der Kakaobohnen. Durch Oxidation von Proteinen und anderen phenolischen Inhaltsstoffen entstehen neue Verbindungen. Die Produkte reagieren untereinander, was zu einem Abbau der Gerbstoffe führt und letztlich das bittere Aroma der Bohnen senkt. Dieser Prozess findet durch Amylasen, Enzyme und Proteasen statt. (Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 525) Bei der Fermentation entstehen Kohlendioxid und Alkohol, diese werden durch die Sonne in den tropischen Produktionsländern verdampft. (Miedaner, 2018, S. 195)

Nun werden die Kakaobohnen auf einen Wassergehalt von ca. 6% getrocknet, währenddessen verändern sich Farbe und Aroma ein weiteres Mal. Hiernach folgt im Normalfall das Waschen und Rösten der Bohnen. Je nach Sorte erfolgt das

Rösten zwischen 100°C-150°C. Durch das Rösten erhalten die Bohnen eine dunklere Farbe und ihr klassisches Aroma. (Miedaner, 2018, S. 195) Nach diesem Schritt folgt das Brechen der Kakaobohnen, wodurch sie ihre Schale verlieren. Die sogenannten Cacao nibs werden durch heiße Walzen gemahlen und durch die Reibung zusätzlich erhitzt. Hierbei entsteht eine flüssige Kakaomasse aus der man das Fett herauspressen kann. Das herausgepresste Fett ist nun die Kakaobutter, der Rest, der sogenannte Kakaopresskuchen wird zu Kakaopulver weiterverarbeitet. (Miedaner, 2018, S. 195-196)

2.3 Inhaltsstoffe & Zusammensetzung

Kakaobutter besteht zu knapp zwei Dritteln aus gesättigten Fettsäuren, weshalb sie bei Raumtemperatur eine feste Konsistenz aufweist. Das restliche Drittel besteht demnach aus ungesättigten Fettsäuren, was einen Fettverderb vor allem im geraspelten Zustand erklärt. Die genaue Zusammensetzung von Kakaobutter sieht in der Regel folgendermaßen aus: 25% macht 16:0 Palmitinsäure aus, 37% fallen auf 18:0 Stearinsäure und zu 34% ist 18:1 Ölsäure vorhanden. (Hänsel & Sticher, 2010, S. 700) Außerdem enthält Kakaobutter einen geringen Anteil (2-4%) 18:2 Linolsäure sowie kleine Mengen von Palmitolein-, Laurin-, Myristin-, Arachinsäure und einer Octadecatriensäure, vermutlich Linolensäure. (Fincke, 1965, S. 333)

Die Zahl vor den Fettsäuren beschreibt deren Aufbau. Die erste Zahl steht dabei für die Anzahl an Kohlenstoff-Atomen, die zweite Zahl für die Anzahl an Doppelbindungen. Die Lage, an der die Doppelbindung in der Fettsäure liegt, wird meist mit einer voranstehenden Zahl dargestellt. Fettsäuren mit Doppelbindungen werden als ungesättigte Fettsäuren bezeichnet, Fettsäuren ohne Doppelbindungen nennt man gesättigte Fettsäuren. Generell sind ungesättigte Fettsäuren bei Raumtemperatur flüssig, außerdem weisen sie eine höhere Aktivität auf, durch das freie Elektronenpaar. Dadurch sind ungesättigte Fettsäuren reaktionsfreudiger und neigen eher zum Fettverderb. (Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 81-84)

Die Fettsäuren der Kakaobutter sind hauptsächlich in Triglyceriden zu finden. So besteht Kakaobutter bis zu 97% aus Triglyceriden. (Soeters, 1970, S. 716) Am häufigsten in Kakaobutter vorhanden, und somit von Bedeutung, sind POS, SOS und POP. Dabei stehen die Buchstaben jeweils für Palmitin-, Stearin- und Ölsäure. Diese drei Glyceride machen ca. 80% der Zusammensetzung in Kakaobutter

aus. In allen drei Formen sind jeweils eine ungesättigte Fettsäure und zwei gesättigte Fettsäuren anwesend, es handelt sich also um einfach ungesättigte Triglyceride, aus diesem Grund lässt sich sagen, dass 80% der Triglyceride in Kakaobutter die symmetrische GUG Form besitzen (G= gesättigt, U= ungesättigt). Dass diese Form symmetrisch ist, hat einen bedeutenden Einfluss auf das Verhalten von Kakaobutter (siehe Kapitel 2.3.4). Die Verteilung der drei Formen liegt bei POS 39-57%, SOS 22-27% und POP 5-15%. (Fincke, 1965, S. 336)

Des Weiteren enthält Kakaobutter noch kleine Anteile von freien Fettsäuren, unverseifbare Bestandteile wie zum Beispiel Sterine, Farbstoffe sowie Aromastoffe, organische Nebenbestandteile wie Koffein und Theobromin und Wasser sowie weitere Mineralstoffe. (Fincke, 1965, S. 332) Kakaobutter enthält nicht viele Mineralstoffe und Vitamine, jedoch eines, welches nicht unerwähnt bleiben sollte. So finden sich Vitamin E-Tocopherole in der Kakaobutter. Der Gesamtgehalt an Tocopherolen beträgt im Schnitt 16-37mg/100g, davon sind 84-94% γ -Tocopherole, die restlichen Prozente verteilen sich gleichmäßig auf α -Tocopherole und δ -Tocopherole. (Krist, 2013, S. 318)

Vitamin E gehört zu den fettlöslichen Vitaminen. Es gibt einige bekannte Tocopherole, α -Tocopherol ist biologisch am aktivsten. (Belitz, Grosch, & Schieberle, 2017, S. 416) Tocopherole enthalten einen 6-Chromanol-Ring, an diesem Ring befinden sich Methylgruppen. Die unterschiedliche Anzahl und Stellung dieser Gruppen sowie die Anzahl der Doppelbindungen in der Seitenkette beschreibt die unterschiedlichen Tocopherol-Verbindungen, welche alle durch griechische Buchstaben gekennzeichnet sind. Vitamin E schützt vor allem vor Oxidation im Körper, gerade vor Oxidation von Lipiden und lipophilen Stoffen. (Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 153) Außerdem ist Vitamin E an der Aggregation von Blutplättchen beteiligt und verlangsamt diese. (Belitz, Grosch, & Schieberle, 2017, S. 416) Als Antioxidans ist Vitamin E unter anderem für die Haltbarkeit von Kakaobutter verantwortlich. (Fincke, 1965, S. 332)

2.3.1 Unterschiede zwischen Kakaobuttersorten

Im Hinblick auf die unterschiedlichen Kakaobuttersorten lässt sich feststellen, dass diese sich auch unterschiedlich in ihrer Zusammensetzung zeigen. So zeigte eine untersuchte brasilianische Kakaobutter eine höhere Jodzahl (37,0) als Kakaobut-

ter aus anderen Herkunftsländern (32,7-34,1), was auf den Anteil der ungesättigten Fettsäuren zurückzuführen ist. So hat die brasilianische Kakaobutter einen erheblich höheren Anteil (40,2%) als andere Sorten (35-37%). Es ließ sich feststellen, dass Kakaobutter mit einer hohen Jodzahl und damit zusammenhängend einem höheren Anteil an ungesättigten Fettsäuren insgesamt eine weichere Konsistenz aufweist. Weiterhin lässt sich sagen, dass Kakaobuttersorten mit mehrfach ungesättigten Fettsäuren eine weichere Konsistenz aufweisen, als Kakaobuttersorten, welche einen höheren Anteil an einfach ungesättigten Fettsäuren haben.

2.3.2 Allgemeine Eigenschaften

Bei Zimmertemperatur ist Kakaobutter fest und spröde. Sie hat für üblich eine schwach gelbliche Farbe, dieser Farbton wird im flüssigen Zustand intensiver. Kakaobutter hat einen milden, kakaoartigen Geschmack. Trotz vieler Aromastoffe, die in Kakaobutter enthalten sind, sind der Geruch sowie der Geschmack nur sehr schwach ausgeprägt. (Fincke, 1965, S. 331) Es gibt aber auch schwarze Kakaobutter, diese ist gänzlich unverarbeitet, ungefiltert und besitzt noch die volle Bandbreite an Geruchs- und Geschmacksstoffen, welche ein sehr bitteres Aroma besitzen. (Edelmond Chocolatiers, o.J.)

Kakaobutter gibt es in verschiedensten Qualitätsmerkmalen. Zum einen lässt sich grob Bio-Kakaobutter von normaler Kakaobutter unterscheiden. Außerdem unterscheiden sich Kakaobuttern, die ihre Herkunft aus Süd-Amerika haben von denjenigen, die aus Afrika kommen. Die Anbauart des Kakaos, die Kakaosorte, die Fermentation und viele weitere Prozessschritte, die noch vor der Herstellung der Kakaobutter stattfinden, haben vermutlich ebenfalls einen Einfluss auf das finale Produkt. Inwieweit sich diese Bedingungen auf die Kakaobutter auswirken wird zu einem Teil in den Laboruntersuchungen später untersucht, zum größeren Teil würde die komplette Analyse allerdings den Rahmen dieser Arbeit sprengen und soll im gesamten Cocoa Chain Projekt in Bezug auf die Schokolade untersucht werden.

Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal von Kakaobutter ist ihre Verarbeitung. So gibt es Kakaobutter aus gerösteten Bohnen und Kakaobutter aus ungerösteten Bohnen, desodorierte und nicht desodorierte sowie raffinierte und unraffinierte Kakaobutter. (Vergleich der ausgewählten Kakaobutter Sorten, Tabelle 2)

Vor Licht und Sauerstoff geschützt ist Kakaobutter sehr lange haltbar, kommt sie allerdings mit Licht und Sauerstoff in Kontakt wird sie schnell blass bis farblos und fängt an, ranzig zu werden. (Fincke, 1965, S. 332)

2.3.3 Chemische Eigenschaften

Chemische Kennzahlen in Bezug auf die Zusammensetzung von Kakaobutter sind unter anderem die Jodzahl, die Verseifungszahl und der Säuregrad. Die Jodzahl gibt an, wie viel Jod formal an 100g Fett addiert werden können. Sie zeigt also den Gehalt an Doppelbindungen in einem Fett an. Denn je mehr Doppelbindungen vorhanden, desto mehr Jod kann addiert werden. Die Verseifungszahl zeigt an, wie viel mg Kaliumhydroxid nötig ist, um 1g Fett zu neutralisieren. Sie zeigt demnach den Gehalt an gebundenen Estern und freien Säuren im Fett an und gilt als Reinheitskriterium des Fettes. (Schatz, 2017, S. 176) (Hänsel & Sticher, 2010, S. 689) Die Säurezahl sagt aus, wie viel mg Kaliumhydroxid notwendig ist, um die freien Fettsäuren von 1g des Fettes zu neutralisieren. Die Verseifungszahl abgezogen der Säurezahl ergibt rechnerisch die gebundenen Ester eines Fettes. (Hänsel & Sticher, 2010, S. 688) (Ebermann & Elmadfa, 2011, S. 114)

Typische Werte für die Jodzahl sind z.B. 10-20 für Palmkernöl, 20-50 für Butter, 50-100 für Olivenöl und >170 für Leinöl. (Schatz, 2017, S. 177) Typische Werte für die Verseifungszahl sind z.B. 250 für Palmkernöl, 225 für Butter und 190 für Olivenöl. (Belitz, Grosch, & Schieberle, 2017, S. 684)

Die Säurezahl darf laut den Leitsätzen für Speisefette und Speiseöle bei nativen und nicht raffinierten Fetten- und Ölen nicht größer als 4,0 sein und bei raffinierten Fett- und Ölen maximal 0,6 groß sein. Allerdings gelten diese Leitsätze nicht für Kakaobutter, für diese gelten gesonderte Bestimmungen. (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2011)

Für Kakaobutter gelten die Bestimmungen der Verordnung über Kakao- und Schokoladenerzeugnisse (Kakaoverordnung). Diese besagen, dass der Gehalt an freien Fettsäuren nicht über 1,75% betragen darf. (§2 Anlage 1 Abs.1 KakaoV 2003) Spezifisch zur Säurezahl findet sich nichts in der Kakaoverordnung.

Laut Fincke beträgt der Säuregrad von Kakaobutter für üblich zwischen 2 bis 5. Der Säuregrad ist das 1,782-fache der Säurezahl, somit bewegt sich die Säure-

zahl zwischen 1,12 bis 2,81. Weiterhin beträgt der Anteil der freien Fettsäuren, bei einem Säuregrad von 1, 0,275%. Demnach beträgt der Anteil der freien Fettsäuren, bei Säuregraden zwischen 2 bis 5, 0,55% bis 1,375%. Diese Angaben erfüllen somit die Bestimmungen der Kakaoverordnung (s.o.). (Fincke, 1965, S. 336-337)

2.3.4 Physikalische, technologische Eigenschaften

In Hinsicht auf die physikalischen Eigenschaften von Kakaobutter sind vor allem das Schmelz- und Kristallisationsverhalten von großer Bedeutung, vor allem in der Lebensmitteltechnik.

Wie erwähnt, ist Kakaobutter bei Raumtemperatur fest und spröde, dieser Zustand ändert sich allerdings bereits bei Temperaturen über 27°C, bei diesen Temperaturen fängt Kakaobutter an, weich zu werden. Der Schmelzpunkt fängt also bei 27°C an, flüssig wird Kakaobutter für üblich bei Temperaturen von 33-35°C, somit liegt der Schmelzpunkt von Kakaobutter zwischen 27-35°C. Kakaobutter hat demnach keinen eindeutigen „scharfen“ Schmelzpunkt, sondern vielmehr einen Schmelzbereich. (Fincke, 1965, S. 339) Dies lässt sich dadurch erklären, dass Kakaobutter ein polymorphes Fett ist, sie kann in unterschiedlichen Kristallformen kristallisieren. Diese verschiedenen Kristallformen haben allesamt unterschiedliche Schmelzpunkte. Und da in der Kakaobutter meist mehrere Kristallformen zugleich vorhanden sind, sind in der Kakaobutter mehrere Schmelzpunkte vorhanden, was für die gesamte Kakaobutter dann einen Schmelzbereich bedeutet. (Kattenberg, o.J.) Die Fähigkeit polymorph zu kristallisieren spricht man generell allen Triacylglyceriden zu. Man geht davon aus, dass jedes Triacylglycerid in mindestens drei polymorphe Kristallstrukturen kristallisieren kann. Im Falle der Kakaobutter hat man insgesamt sechs verschiedene Kristallmodifikationen entdeckt. (Hänsel & Sticher, 2010, S. 685-686) Die Polymorphie kann stets in zwei Arten unterteilt werden: In Enantiotropie und Monotropie. Bei der Enantiotropie bestehen die Kristallformen unter ganz bestimmten Temperaturen, die Umwandlung erfolgt stets an dieser Temperaturschwelle. An der Umwandlungstemperatur existieren beide Kristallstrukturen nebeneinander. In ihrem Temperaturbereich ist jede Kristallform stabil. Anders hingegen bei der Monotropie: Hierbei gibt es nur eine stabile Kristallform, diese wird einheitlich als β -Form bezeichnet. Alle weiteren Kristallformen, ebenfalls mit griechischem Buchstaben bezeichnet, sind instabil. Umwandlungen

erfolgen demnach immer in Richtung der stabilen β -Form, diese hat folglich den höchsten Schmelzpunkt. Die instabilste Form hat demnach den niedrigsten Schmelzpunkt, meist als α -Form, früher auch γ -Form bezeichnet. Triglyceride weisen immer nur die monotrope Polymorphie auf. (Fincke, 1965, S. 342) Generell lässt sich sagen, dass schnelles Abkühlen zur instabilen α -Form führt, wohingegen langsames Abkühlen die stabile β -Form ermöglicht. Zur Schmelzpunktbestimmung sollte immer die stabile Kristallform vorhanden sein. (Hänzel & Sticher, 2010, S. 686-687)

Weiterhin ist die Fettsäurezusammensetzung weitestgehend ausschlaggebend für das Schmelzverhalten von Fetten, da sie bis zu 90% des Gesamtgewichts ausmachen. Hierbei lässt sich grob feststellen, dass ungesättigte Fettsäuren einen niedrigeren Schmelzpunkt haben als gesättigte Fettsäuren, weshalb Öle bei Raumtemperatur meist flüssig sind, sie besitzen also einen hohen Anteil an ungesättigten Fettsäuren. Dass das Schmelzverhalten von Fetten allerdings nicht allein aus der Fettsäurezusammensetzung zu bestimmen ist zeigt der Vergleich von Kakaobutter mit Rindertalg: So haben beide Fette eine ähnliche Zusammensetzung von Palmitinsäure, Stearinsäure und Ölsäure, weichen aber in ihren sensorischen Eigenschaften sowie ihrem Schmelzverhalten weit voneinander ab. Während Kakaobutter hart und spröde erscheint und bei Temperaturen leicht über Raumtemperatur schmilzt, ist Rindertalg deutlich formbarer und schmilzt erst bei höheren Temperaturen. (Hänzel & Sticher, 2010, S. 687)

Weiche Kakaobutter kristallisiert langsamer, sie hat bei Raumtemperatur meist noch nicht die gewünschte Festigkeit, die ein großes Qualitätsmerkmal von Schokolade ausmacht, da diese für den klassischen „Knack“ der Schokolade verantwortlich ist. (Klagge & Sen Gupta, 1990, S. 486-487) Auch Foubert et. al. stellten fest, dass die Fettsäurezusammensetzung sich auf das Kristallisationsverhalten auswirkt. So haben ungesättigte Fettsäuren und zweifach ungesättigte Triglyceride einen negativen Effekt auf die Kristallisation. Außerdem haben freie Fettsäuren, Phosphorlipide und Spuren von Seife ebenfalls einen bedeutenden Effekt auf das Kristallisationsverhalten. (Foubert I. , Vanrolleghem, Thas, & Dewettinck, 2004) Insgesamt lässt sich feststellen, dass die Triglyceride in der Kakaobutter das Schmelz- und Kristallisationsverhalten bestimmen. Dies lässt sich dadurch erklären, dass die Triglyceride den Großteil der Kakaobutter ausmachen. Soeters geht

sogar so weit, dass gesagt wird, freie Fettsäuren hätten keinen Einfluss auf das Kristallisationsverhalten, dies steht im Widerspruch zu Foubert et. al., die den freien Fettsäuren einen bedeutenden Einfluss zuschreiben (s.o.). (Soeters, 1970, S. 716)

Den oben beschriebenen Unterschied zwischen Kakaobutter und Rindertalg lässt sich durch die genaue Betrachtung der Triglyceride erklären. Ebenso lässt sich dadurch erklären, weshalb manche Kakaobutter Austauschfette eine stark abweichende Fettzusammensetzung aufweisen und dennoch als Austauschfette eingesetzt werden, und demnach ähnliche physikalische Eigenschaften zeigen. Und zwar weist Rindertalg eine erheblich größere Menge an G_3 Triglyceriden (G = gesättigt) auf (15%), während Kakaobutter (1-8%) sowie Illipe-Butter (3-4%) geringere Mengen an G_3 Triglyceriden besitzen. Kakaobutter (70-78%) sowie Illipe-Butter (82%) besitzen hingegen einen hohen Anteil an G_2U Triglyceriden (U = ungesättigt), dieser liegt bei Rindertalg lediglich bei 45%. (Soeters, 1970, S. 717) Dies reicht allerdings noch immer nicht allein dafür aus, um das Schmelzverhalten zu beschreiben. Denn die Schweinefett Fraktion weist ebenfalls hohe Anteile an G_2U Triglyceriden auf, eignet sich aber nicht als Kakaobutter Austauschfett. Hier gibt die genaue G_2U Triglycerid Zusammensetzung Aufschluss über die Unterschiede: Während, im Hinblick auf die G_2U Triglyceride, Kakaobutter (95%) und Illipe-Butter (99%) einen hohen Anteil an symmetrischen GUG Triglyceriden aufweisen, besitzt Schweinefett einen größeren Anteil an unsymmetrischen GGU Triglyceriden (87%). (Soeters, 1970, S. 717)

Zusammenfassend lässt sich feststellen: Je höher der Anteil an ungesättigten Fettsäuren, desto langsamer kristallisiert die Kakaobutter und desto weicher ist sie in ihrer Konsistenz. Ungesättigte Fettsäuren wirken sich demnach negativ auf das Schmelz- und Kristallisationsverhalten aus. Weshalb eine schnelle Kristallisation und eine härtere Konsistenz erwünscht ist wird in den nächsten Kapiteln erläutert.

2.4 Nutzen für die Schokoladenherstellung

Kakaobutter findet unterschiedliche Anwendungsmöglichkeiten, für diese Arbeit von Bedeutung ist ihre Anwendung in der Schokoladenherstellung. Weitere Verwendungsmöglichkeiten werden im nachfolgenden Kapitel kurz angeführt.

Kakaobutter ist ein wichtiger Bestandteil von Tafelschokolade. Durch sie erhält die Schokolade ihren Glanz und Schmelz, demnach sollte die verwendete Kakaobutter von hoher Qualität sein und ein gutes Schmelz- und Kristallisationsverhalten aufweisen, um eine Schokolade von hoher Qualität zu ermöglichen. (Miedaner, 2018, S. 196)

Für Schokolade und Schokoladenerzeugnisse gibt es genaue rechtliche Anforderungen, die in der Kakaoverordnung (Stand 2003) aufgeführt sind. Laut dieser Verordnung muss Schokolade, um Schokolade genannt werden zu dürfen, mindestens 35% Gesamtkakaotrockenmasse enthalten, hiervon müssen mindestens 18% auf die Kakaobutter fallen und mindestens 14% auf fettfreie Kakaotrockenmasse. (Anlage 1, Begriffsbestimmungen 3. Schokolade, KakaoV 2003) Milchsokolade und Haushaltmilchsokolade müssen laut der Kakaoverordnung einen Gesamtfettgehalt von mindestens 25% ausweisen, dieser Fettgehalt besteht aus Kakaobutter und Milchfett. (Anlage 1, Begriffsbestimmungen 4. Milchsokolade; 5. Haushaltmilchsokolade, KakaoV 2003) Weiße Schokolade hingegen muss zu mindestens 20% Kakaobutter enthalten und hat somit den höchsten rechtlichen Anteil an Kakaobutter. (Anlage 1, Begriffsbestimmungen 6. Weiße Schokolade, KakaoV 2003) Der Anteil von Kakaobutter in Zartbitterschokolade ist in der Kakaoverordnung nicht geregelt, allerdings lässt sich sagen, dass der Anteil hierbei deutlich niedriger ist, als in anderen Sorten. Im Schnitt liegt dieser Anteil bei 4%. (Miedaner, 2018, S. 197)

Der Anteil der Kakaobutter in der Schokolade ist also rechtlich festgelegt. Weiterhin ist das Schmelzverhalten der Kakaobutter von großer Bedeutung für die Herstellung von Schokolade. Wie bereits erwähnt, kann Kakaobutter in sechs verschiedenen polymorphen Kristallmodifikationen kristallisieren. Dies ist beim Temperieren von Schokolade wichtig:

Dem Temperieren vorausgehend ist das Conchieren der Schokoladenmasse. Hierbei kommen die Schokoladenmasse aus Kakaopulver und Zucker zusammen in Walzen mit der Kakaobutter und fettfreiem Milchpulver. Durch die Reibungswärme und zusätzlich hinzugefügter Wärme verflüssigt sich die Masse und wird so lange gewalzt, bis alle fettfreien Stoffe von der Kakaobutter vollständig umhüllt

sind. Das Conchieren erfolgt bei sehr hohen Temperaturen, am Ende des Vorgangs wird die Masse auf 45°C abgekühlt. (Alfred Ritter GmbH & Co. KG, o.J.)

Nach diesem Schritt folgt nun das Temperieren, bei dem das Schmelzverhalten der Kakaobutter von entscheidender Rolle ist. Wie bereits erwähnt, ist die β -Form die stabilste Form, die Kakaobutter kann aber in weiteren fünf Kristallstrukturen kristallisieren, die vier Hauptmodifikationen sind hierbei die α -Form, γ -Form, β' -Form und die β -Form. (Kattenberg, o.J.) Die Festlegung der Bezeichnung der Namen ist nicht einheitlich geklärt, weshalb im Folgenden weiterhin die genannten Bezeichnungen verwendet werden, auch wenn vom Autor der folgenden Quelle römische Zahlen verwendet wurden.

Für eine qualitativ hochwertige Schokolade ist genaues Temperieren wichtig, hierbei wird die Schokoladenmasse einem genauen Temperaturprogramm aus Abkühlen und Erhitzen unterzogen, um sie möglichst homogen in der β -Form auszukristallisieren. Bei der Alfred Ritter GmbH & Co. KG wird sie zunächst von 45°C auf 28°C abgekühlt, hierbei entstehen neben der thermodynamisch stabilen β -Form auch Kristalle der thermodynamisch instabilen α -Form sowie der β' -Form, welche stabiler als die α -Form ist, jedoch instabiler als die β -Form. Die beiden instabileren Formen haben einen niedrigeren Schmelzpunkt als die β -Form, weshalb man durch langsames Erhitzen auf 29-33°C die instabilen Formen schmilzt, während die stabilen Kristalle erhalten bleiben. Durch diesen Prozess erhält man eine Schokoladenmasse, die nur noch stabile β -Kristalle enthält. Die genauen Temperaturen schwanken von Schokoladensorte und Hersteller sowie verwendeter Kakaobutter. Durch eine homogene Masse aus β -Kristallen erhält man eine Schokolade mit gutem Schmelz, Haltbarkeit, Biss sowie dem gewünschten Glanz. Instabile Kristallmodifikationen haben die Bildung von Fettreif, weiße Flecken auf der Schokolade sowie ein Schmelzen bei Raumtemperatur als Auswirkung. (Alfred Ritter GmbH & Co. KG, o.J.) Dies zeigt, dass die Kakaobutter einen erheblichen Einfluss auf die Schokoladenherstellung und somit die Qualität der Schokolade hat.

2.5 Weitere Verwendungsmöglichkeiten

Neben der Schokoladenherstellung gibt es noch einige weitere Verwendungsmöglichkeiten für Kakaobutter. Da Kakaobutter bei Körpertemperatur schmilzt findet

sie vor allem in der Kosmetik Anwendung. Sie wird in Cremes, Seifen oder Lippenpflegeprodukten eingesetzt und soll sowohl Haut als auch Lippen durch ihren Fettanteil vor Trockenheit und Falten schützen und die Elastizität stärken. Aber nicht nur das Fett alleine entfaltet hierbei seine Wirkung, auch die Vitamine, Mineralstoffe und Antioxidantien pflegen die Haut. (Breuninger, o.J.) Auch für die Haarpflege soll Kakaobutter eingesetzt werden und sprödem Haar wieder mehr Feuchtigkeit und Glanz verleihen. (Reketat, 2018) Außerdem findet Kakaobutter Anwendung in der Pharmazie. So galt sie lange Zeit als Grundlage für Zäpfchen und Salben gegen Operationsnarben und Dehnungsstreifen sowie gegen Verbrennungen. Auch bei der Herstellung von Pflastern soll Kakaobutter helfen, da diese besser kleben ohne die Haut zu belasten. (Nook Marketing Corp., o.J.)

2.6 Kakaobutter Äquivalente und Ersatzfette

Neben der Kakaobutter gibt es Fette, die ebenfalls zur Schokoladenherstellung ganz oder teilweise verwendet werden dürfen, so genannte Austauschfette. Die Fette, die hierfür verwendet werden dürfen sind in der Kakaoverordnung Anlage 2 Nr. 2 aufgeführt: Illipe/ Borneo-Talg oder Tengkwang, Palmöl, Sal, Shea, Kokumgurgi und Mangokern. (Anlage 2 Nr. 2, KakaoV 2003) Diese Fette dürfen zur Schokoladenherstellung verwendet werden wenn „a) sie nicht-laurinsäurehaltige pflanzliche Fette darstellen, die reich an symmetrischen, einfach ungesättigten Triglyceriden vom Typ POP, POST und StOST sind (...), b) sie mit Kakaobutter in jedem Verhältnis mischbar und mit deren physikalischen Eigenschaften (...) kompatibel sind und c) sie durch die Verfahren der Raffination oder Fraktionierung gewonnen werden; enzymatische Veränderung der Triglyceridstruktur ist ausgeschlossen.“ (Anlage 2 Nr. 1, KakaoV 2003)

Kakaobutteräquivalente (CBE = Cocoa Butter Equivalents) können aus verschiedenen Gründen zur Schokoladenherstellung verwendet werden. Da es bereits gesetzlich vorgeschrieben ist, dass sie eine ähnliche Fettzusammensetzung wie Kakaobutter besitzen müssen und in jedem Verhältnis mit Kakaobutter mischbar sowie mit deren physikalischen Eigenschaften kompatibel sein müssen, bleibt die Frage, worin sie sich denn dann von Kakaobutter unterscheiden. Für die Qualitätsmerkmale der Schokolade kann es tatsächlich Sinn machen, die Kakaobutter teilweise durch CBE-Fett zu ersetzen. Wie bereits erwähnt gibt es Kakaobuttersor-

ten, die reich an ungesättigten Fettsäuren sind und somit langsam kristallisieren. Diese Kakaobuttersorten sind generell weicher und haben auch in der Schokolade die Auswirkung, dass der gewünschte Bruch und die Festigkeit darunter leiden. Um diese minderwertige Kakaobutter aufzuwerten, lässt sie sich mit CBE-Fetten mischen, um somit ein festeres Endprodukt zu gewährleisten. Industriell hergestellte CBE-Fette haben also den Vorteil, dass man sie frei auswählen kann, um die Eigenschaften von der hauptsächlich verwendeten Kakaobutter aufzubessern. CBE-Fette leiden außerdem nicht unter so starken Qualitätsschwankungen wie es die Kakaobutter tut. Ferner bleibt zu erwähnen, dass CBE-Fette meist billiger sind als Kakaobutter, sodass es kostengünstiger ist, Kakaobutter mit CBE-Fetten zu strecken, ohne einen Qualitätsverlust einbüßen zu müssen. (Klagge & Sen Gupta, 1990, S. 489-492) Dass CBE-Fette jedoch nicht unverarbeitet als Kakaobutterersatz eingesetzt werden können haben Klagge und Sen Gupta bereits erwähnt und auch Lipp und Anklam haben dies an den CBE-Fetten bemängelt. Es wurden alle CBE-Fette auf ihre Fettzusammensetzung untersucht und es wurde festgestellt, dass kein Fett auf natürliche Weise die Eigenschaften aufweist, die Kakaobutter so besonders macht. Somit kann kein pflanzliches Fett das Schmelzverhalten nachweisen, welches in der Schokolade dafür verantwortlich ist, dass diese bei Raumtemperatur fest ist und im Mund anfängt zu schmelzen. Dieses einzigartige Mundgefühl kann wohl nur Kakaobutter in ihrer natürlichen Form hervorrufen. CBE-Fette müssen demnach meist modifiziert werden, indem sie fraktioniert werden oder es findet eine Umesterung von Fetten statt. Außerdem kann eine Züchtung der Pflanzen die erwünschten Effekte erzielen. (Lipp & Anklam, 1997, S. 88+93)

Die Tabelle 1 zeigt die durchschnittliche Fettzusammensetzung sowohl der Fettsäuren als auch der Triglyceride von drei Kakaobutteraustauschfetten im Vergleich zur Kakaobutter. Die Werte für die Kakaobutter sind die, die bereits in Kapitel 2.3 erwähnt wurden und stammen demnach aus denselben Quellen. (s. Kapitel 2.3) Die Quellen der weiteren Werte sind unter der Tabelle erläutert. Da aus der Ölpalme sowohl das Palmöl als auch das Palmkernöl gewonnen werden (Krist, 2013, S. 578) findet man zu der Fettzusammensetzung beider Öle viele verschiedene Werte. Es wurden daher alle Werte verglichen und eine Quelle mit Durchschnittswerten ausgewählt. Dass sich Palmöl von seiner Zusammensetzung stark

von Kakaobutter unterscheidet und somit als CBE fraktioniert werden muss haben allerdings alle Quellen ergeben. (Lipp & Anklam, 1997, S. 76-79) (Klagge & Sen Gupta, 1990, S. 490-491) (Jahurul, et al., 2013, S. 470-472) Auch Sheabutter weicht von ihrer Fettzusammensetzung und ihren Eigenschaften stark von Kakaobutter ab, sodass sie vor Verwendung als Austauschfett fraktioniert werden muss. Borneotalg/ Illipebutter hingegen muss nicht fraktioniert werden, da sie der Triglyceridzusammensetzung von Kakaobutter sehr ähnlich ist. (Klagge & Sen Gupta, 1990, S. 490)

	Kakaobutter	Palmöl	Borneotalg	Shea
Palmitinsäure	25%	43,8% ¹	18-21% ⁴	3,4-8,0% ⁴
Stearinsäure	37%	5% ¹	39-46% ⁴	37,0-58,0% ⁴
Ölsäure	34%	39% ¹	34-37% ⁴	33,0-50,0% ⁴
POS	39-57%	2,1-13,0% ²	34% ⁴	6% ⁴
SOS	22-27%	1,1% ³	45% ⁴	42% ⁴
POP	5-15%	16,9-63,2% ²	7% ⁴	3% ⁴

Tabelle 1: Fettsäurezusammensetzung ausgewählter CBE-Fette im Vergleich zu Kakaobutter

¹ (Belitz, Grosch, & Schieberle, 2017, S. 662)

² (Lipp & Anklam, 1997, S. 80)

³ (Klagge & Sen Gupta, 1990, S. 490)

⁴ (Jahurul, et al., 2013, S. 474)

3 Differential Scanning Calorimetry

3.1 Gebiete der DSC

Die Differential Scanning Calorimetry (DSC; deutsch: DDK = Dynamische Differenzkalorimetrie) dient der thermischen Analyse von Stoffen und deren physikalischen sowie chemischen Eigenschaften. Hierbei wird der zu untersuchende Stoff sowie eine Referenzprobe einem genauen Temperaturprogramm unterworfen. Vorwiegend wird die DSC für Kunststoffe eingesetzt. Die Eigenschaften die untersucht werden sind unter anderem Kristallisationstemperaturen, Glasübergangs-

temperaturen, Aushärtungen, Enthalpieänderungen. DSC Analysen beziehen sich also im Wesentlichen auf Umwandlungstemperaturen, Reaktionstemperaturen und Umwandlungsenthalpien. Anwendung finden DSC Analysen vor allem zur Qualitätskontrolle, Prozessoptimierung, Schadensanalyse, Rohstoffkontrolle. Außerdem wird so die Recyclingfähigkeit und Alterungsbeständigkeit von Kunststoffen gemessen. (Kaiser, Schmölzer, Straßer, Pohland, & Turan, 2015, S. 18)

Weiter werden DSC Messungen im Rahmen der Pharmatechnologie und Biotechnologie eingesetzt. Die DSC hat sich hier bewährt, da sie schnell und zuverlässig quantitative und qualitative Aussagen über Proben liefern kann. Es können mehrere Proben automatisiert, schnell und effizient gemessen werden und Aufschluss über verschiedene Eigenschaften der Proben geben. Des Weiteren werden DSC Messungen dazu genutzt, um Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Substanzen zu untersuchen. Hierbei wird also analysiert, ob die untersuchten Substanzen miteinander kompatibel sind. Außerdem liefern DSC Messungen Aussagen dazu, ob eine Substanz polymorphe Formen bilden kann, sprich, ob eine Substanz verschiedene Kristallstrukturen annimmt. Dies lässt sich durch DSC Messungen feststellen, da verschiedene Kristallmodifikationen unterschiedliche Schmelzpunkte aufweisen. Die Substanz wird dann unterschiedlichen Temperaturprogrammen unterzogen und somit auf polymorphe Strukturen getestet. Außerdem können Verpackungsmaterialien für Medikamente mit DSC Messungen thermisch analysiert werden. In der Biotechnologie werden Enzyme und Mikroorganismen, welche industriell zum Einsatz kommen sollen, analysiert. (Platthaus, 2007)

Aber auch in der Ernährungswissenschaft finden DSC Messungen Anwendung. Schmelz- und Kristallisierungsvorgänge können analysiert werden, sowie die Wasserdynamik einer Probe. Es wird davon ausgegangen, dass Veränderungen der Wasserverteilung mit Veränderungen in der Textur des Lebensmittels zusammenhängen. (Kodre, Attarde, Yendhe, Patil, & Barge, 2014)

3.2 Temperaturprogramme

Wie bereits erwähnt, werden die untersuchte Probe und eine Referenzprobe einem genauen Temperaturprogramm unterzogen. Die Messung findet hierbei gleichzeitig unter standardisierten Bedingungen statt. Es wird dabei die Differenz

zwischen den Wärmeströmen der beiden Tiegel gemessen und als Funktion der Temperatur oder der Zeit aufgezeichnet. Hierbei unterscheidet man zwischen verschiedenen Temperaturprogrammen. Bei der Messung von Kunststoffen wird meist mit zwei Aufheizperioden gemessen, dazwischen wird die Probe abgekühlt. Um die Heiztemperatur zu erreichen unterscheidet man zwischen linearem, dynamischen Aufheizen mit vorgegebener Heizrate oder aber ein stufenweises Aufheizen indem sich dynamisches Aufheizen mit kurzen isothermen Abschnitten abwechselt. Ist die Heiztemperatur erreicht folgt nun ein isothermer Abschnitt, in dem die Temperatur konstant gehalten wird. (Kaiser, Schmölder, Straßer, Pohland, & Turan, 2015, S. 20-21)

3.3 Messprinzip

Die Messung bei der DSC erfolgt durch Aufzeichnen der Wärmeströme der Probe sowie der Referenz. Zu Anfang besteht keine Differenz, beide Tiegel werden mit gleicher Heizrate geheizt und die Temperaturen steigen jeweils gleich linear an. Sobald in der Probe ein Prozess stattfindet, beispielsweise ein Aufschmelzen, treten Differenzen zwischen Probe und Referenz auf. Während des Schmelzvorgangs verändert sich die Temperatur der Probe nicht, während die der Referenz weiter ansteigt. Nun entsteht ein sogenannter Peak, die Differenz zwischen Probe und Referenz steigt an, bis der Schmelzvorgang vorbei ist. Hiernach wird die Differenz wieder kleiner, bis sowohl Probe als auch Referenz wieder dieselbe Steigung erreichen. Umgekehrt funktioniert dies natürlich auch beim Abkühlen und Kristallisieren. Die Fläche, die durch die Differenz der Kurven entsteht, nennt man Peakfläche. Sie ist zur Schmelzwärme/ Schmelzenthalpie proportional. (Kaiser, Schmölder, Straßer, Pohland, & Turan, 2015, S. 22)

3.4 Kakaobutter und DSC in der Literatur

DSC Messungen an Kakaobutter wurden in der Vergangenheit bereits aus verschiedenen Gründen und mit unterschiedlichen Forschungszielen durchgeführt. Zum einen haben Ziegleder und Kerti Kakaobutter mit DSC Messungen untersucht und zur Auswertung die Avrami Gleichung herangezogen (Ziegleder, 1990) (Kerti, 1998), Kerti hat hierbei Kakaobutter mit Kakaobutter Alternativen verglichen, Ziegleder hingegen hat Kakaobutter unterschiedlicher Herkunft miteinander in Vergleich gezogen. Zum anderen haben Foubert et.al. eine Methodik erarbeitet, wie

Kakaobutter thermisch zu messen sei. (Foubert, Vanrolleghem, & Dewettinck, 2002) Außerdem haben Foubert et. al. mit der herausgearbeiteten Methodik verschiedene Kakaobuttersorten unterschiedlicher Herkunft vermessen und in Hinblick auf die Fettzusammensetzung sowie anderer chemischer Komponenten analysiert. (Foubert I. , Vanrolleghem, Thas, & Dewettinck, 2004)

Des Weiteren findet sich die Anwendung von Dynamischer Differenzkalorimetrie zur Analyse von Kakaobutter in einer Broschüre von Mettler Toledo. Hierbei wurden unterschiedliche Kakaobuttersorten auf ihr Kristallisationsverhalten sowie ihre Schmelzkurven hin untersucht. (Behlau & Widmann, o. J., S. 35-37)

3.4.1 Gottfried Ziegleder

Ziel Ziegleders war, eine geeignete Methodik zu finden, um Kakaobutter qualitativ zu untersuchen. Hierbei ging es um die Qualität der Kakaobutter in Hinblick auf die industrielle Schokoladenverarbeitung. Um das Keimbildungswachstum zu erörtern wurden DSC Messungen angewandt, welche empirisch mit der Avrami Gleichung beschrieben werden sollten. Ziegleder hat die Kakaobutter erhitzt, isotherm gehalten, abgeschreckt und auf einer Kristallisationstemperatur wieder isotherm gehalten. (Ziegleder, 1990, S. 481)

Die Untersuchungen zeigten, dass es Unterschiede zwischen den untersuchten Kakaobutterproben gab, diese Unterschiede entstanden durch unterschiedliche Herkunftsorte. Ziegleder machte diese Unterschiede an der Fettzusammensetzung fest, die wiederum unterscheidet sich je nach Herkunft, Erntezeit, Reifegrad, Fermentation und nicht zuletzt des Klimas, aus dem die Kakaobohne stammte. (Ziegleder, 1990, S. 482) Weiter konnte Ziegleder feststellen, dass die Kristallisation von Kakaobutter mit der Avrami Gleichung zu beschreiben sei. Hierbei kam er auf Werte der Avrami Konstanten mit $n=4,4$. Bei einer Avrami Konstante von $n=4$ breitet sich die Kristallisation kugelförmig um die Keime aus. (Ziegleder, 1990, S. 483) (Lechner, Gehrke, & Nordmeier, 2014, S. 449) Ziegleder wies weiterhin darauf hin, dass unterschiedliche Kakaobuttersorten unterschiedlich gekühlt werden müssen. Je nach Kristallisationsneigung müssen kakaobutterhaltige Massen kühler oder weniger kühl gehalten werden, um die erwünschte Kristallisation zu zeigen. Überdies stellte Ziegleder fest, dass ein hoher Gehalt an symmetrischen, gesättigten Triglyceriden eine harte Kakaobutter ausmacht, weiche Kakaobutter ent-

hält eher unterdurchschnittliche Gehalte an diesen Triglyceriden. Er erklärte dies damit, dass symmetrische, gesättigte Triglyceride eher Kristallgitter aufbauen und das Wachstum und die Geschwindigkeit der Keime beschleunigen. (Ziegleder, 1990, S. 484)

3.4.2 Katalin Kerti

Kerti führte ebenfalls eine DSC Messung von Kakaobutter durch, ebenfalls untersuchte sie Kakaobutter Alternativen. Auch sie wandte die Avrami Gleichung an um zu zeigen, dass sie die Kristallisation von Kakaobutter und Kakaobutter Alternativen beschreibt. Kerti bezog sich in ihrer Arbeit oft auf Ziegleder. Kerti untersuchte Kakaobutter Alternativen, weil sie kostengünstiger in der Schokoladenproduktion eingesetzt werden können, daher hat sie das Kristallisationsverhalten dieser Fette untersuchen wollen. (Kerti, 1998, S. 157)

Kerti ließ die Kakaobutter nach einer Erhitzungs- sowie isothermen Schmelzphase langsamer abkühlen und somit kristallisieren als Ziegleder. Sie hat eine Kühlrate von 1,2°C/min gewählt, während Ziegleder die Proben mit einer maximalen Rate abschrecken ließ (vgl. 3.4.1). (Kerti, 1998, S. 158)

Die Untersuchungen zeigten, dass Kakaobutter Alternativen teils langsamer, teils schneller kristallisierten als Kakaobutter, und Kerti machte dies an der unterschiedlichen Fettzusammensetzung der Fette fest. Nach der Linearisierung nach Avrami stellte Kerti fest, dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen Kakaobutter und einem Kakaobutteräquivalent gab. Sie stellte somit fest, dass die beiden Fett ähnliche chemische sowie physikalische Eigenschaften besitzen mussten. Kertis Untersuchungen bewiesen ebenfalls, dass die Avrami Gleichung dazu geeignet ist, um die Kristallisation von Kakaobutter und Kakaobutter Alternativen zu beschreiben. Ferner eignet sich die Avrami Gleichung um Qualitäts- und Prozesskontrollen an Kakaobutter und Austauschfetten durchzuführen. (Kerti, 1998, S. 159-160)

3.4.3 Foubert et. al. 2002

Foubert, Vanrolleghem und Dewettinck bezogen sich 2002 auf Ziegleder, Kerti sowie andere DSC Untersuchungen und stellten fest, dass sie mit der Methodik dieser Untersuchungen nicht ganz zufrieden sind. Für eine DSC Messung von Ka-

kaobutter wird die Kristallisationskurve integriert, der Start- und Endpunkt dieser Kristallisation wurde in der bisherigen Literatur meist visuell bestimmt, oder zumindest wurde nicht erwähnt, wie diese Punkte bestimmt wurden. Foubert, Vanrolleghem und Dewettinck kritisierten dies und untersuchten, wie weit die Differenzen bei visueller Bestimmungen der Punkte seien. Des Weiteren entwickelten sie einen Algorithmus, der den Anfangs- und Endpunkt der Kristallisation bestimmen soll. Weiterhin untersuchten sie, wie die Probenvorbereitung eine Auswirkung auf die spätere Messung hat, denn auch diesen wichtigen Aspekt haben die vorherigen Autoren nicht erwähnt. Als letztes untersuchten die drei Forscher die gewählten Temperaturprogramme. Sie wollten feststellen, auf welche Temperatur die Kakaobutter gebracht werden muss, wie lange sie gehalten werden sollte und wie hoch die Kühlrate sein sollte, um optimale Aussagen über das Kristallisationsverhalten machen zu können. (Foubert, Vanrolleghem, & Dewettinck, 2002, S. 131-132)

Sie untersuchten hierbei zwei verschiedene Probenvorbereitungstechniken und nahmen Messungen mit drei verschiedenen Temperaturprogrammen vor.

Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigten, dass es zu großen Abweichungen im visuellen Bestimmen der Start- und Endzeit geben kann und ein festgelegter Algorithmus klarere Ergebnisse liefert. Überdies war festzustellen, dass die Probenvorbereitung Auswirkung auf das Kristallisationsverhalten der Kakaobutter hat und somit unbedingt auf eine einheitliche Probenvorbereitung geachtet werden sollte. Denn ansonsten lassen sich die Ergebnisse schlecht miteinander vergleichen. Das Temperaturprogramm, welches ausreichend ist, um alle Kristalle zu schmelzen, liegt bei 65°C für 15min., höhere Temperaturen sind laut den Autoren nicht nötig. Die Kühlrate sollte hoch genug gewählt werden, damit die Kakaobutter nicht bereits in der Abkühlphase kristallisiert. (Foubert, Vanrolleghem, & Dewettinck, 2002, S. 134-141)

3.4.4 Foubert et. al. 2004

Mit der Probenvorbereitung B, dem beschriebenen Temperaturprogramm und dem erarbeiteten Algorithmus führten Foubert, Vanrolleghem, Dewettinck und Thas DSC Messungen mit verschiedenen Kakaobutterproben durch. Ziel ihrer Untersuchungen war es, Unterschiede im Kristallisationsverhalten zu erkennen und auf

die Herkunft sowie die Fettzusammensetzung der jeweiligen Proben hin zu analysieren. (Foubert I. , Vanrolleghem, Thas, & Dewettinck, 2004, S. 479)

Hierfür wurden die Proben zunächst einer Fettanalyse unterworfen sowie weiteren Analysemethoden, um Inhaltstoffe wie Eisen und Phosphorlipide mengenmäßig zu bestimmen. (Foubert I. , Vanrolleghem, Thas, & Dewettinck, 2004, S. 480)

Die chemische Analyse der Fettzusammensetzung zeigte ähnliche Werte, wie sie in Kapitel 2.3 dieser Arbeit bereits zu finden sind. Zusätzlich ergaben die Messungen Gehalte von 1,16-2,77% an freien Fettsäuren, 0,59-2,2% an Diacylglycerolen und stark unterschiedliche Gehalte an Phosphor, Eisen sowie Seifengehalte. (Foubert I. , Vanrolleghem, Thas, & Dewettinck, 2004, S. 482)

Es wurde erfasst, dass der Gehalt an freien Fettsäuren nicht von der Herkunft abhängig ist. Vielmehr hängt dieser Gehalt vom Produktionsprozess ab. Außerdem ist der Gehalt an freien Fettsäuren bei kranken Pflanzen erhöht. Durch unzureichende Trocknung entsteht Schimmelpilz, dieser führt zu einer Hydrolyse von Lipasen, es spalten sich freie Fettsäuren ab. Durch zu schnelles Trocknen der Bohnen findet eine weitere Gärung statt, sodass die flüchtigen Säuren erhalten bleiben. (Foubert I. , Vanrolleghem, Thas, & Dewettinck, 2004, S. 481) Die Kakaobutter Nibs werden für üblich vor dem Pressen alkalisiert. Wird dies nicht sorgfältig durchgeführt kann es zur Verseifung der Kakaobutter führen, dies erklärt höhere Seifengehalte. Ein unüblich hoher Eisengehalt wird durch alte Maschinen in der Produktion erklärt. Der Eisengehalt korreliert mit dem Peroxidwert, da Eisen ein pro-oxidierendes Element ist. In gleicher Weise bestimmt der Seifengehalt den Phosphorgehalt. Denn mit entfernen von Seife wird auch Phosphor entfernt. (Foubert I. , Vanrolleghem, Thas, & Dewettinck, 2004, S. 481-482)

Die DSC Messungen zeigten insgesamt, dass freie Fettsäuren die Kristallisationszeit erhöhen und den Anteil von festem Fett in Kakaobutter erhöhen. Außerdem verlangsamt sich die Kristallisationszeit durch höhere Gehalte an Diacylglycerol sowie durch hohe Gehalte an Phosphorlipiden. Kakaobutter mit hohen Anteilen an Phosphor und Phosphorlipiden hat einen hohen Peroxidwert, diese Kakaobuttersorten verursachen Probleme in der Produktion. Ebenso verursachen Kakaobuttersorten mit hohen Eisengehalten Probleme. (Foubert I. , Vanrolleghem, Thas, & Dewettinck, 2004, S. 483-486)

3.4.5 Mettler Toledo

Zunächst wurden drei verschiedene Kakaobuttersorten auf 60°C erhitzt um diese zu schmelzen, nun wurden 10mg jeder Sorte eingewogen und bei einer Kühlrate von 10K/min auf -10°C runter gekühlt. Die Kristallisationen der Kakaobuttersorten beginnt jeweils zwischen 21,1°C – 23,6°C. Außerdem zeichnet sich eine zweistufige Kristallisationskurve ab, mit je einem kleinen und einem zweiten größeren Peak. Bei wieder Aufschmelzen der Kakaobuttersorten ergeben sich Peaktemperaturen um 23°C, was bedeutet, dass es sich um metastabile Produkte handelt. Da die Kristallisation bei niedriger Temperatur erfolgte lässt sich schlussfolgern, dass Kakaobuttersorten mit niedriger Kristallisationstemperatur metastabile Kakaobuttersorten sind. (Behlau & Widmann, o. J., S. 35)

Weiter wurde der Kristallisationsfortschritt bei Kakaobutter untersucht, indem 10g von einer Probe in einem Becherglas aufbewahrt wurde, und täglich Proben entnommen wurden. Hier wurden die Schmelzkurven miteinander verglichen und mit der Originalprobe (Tag 0) in Vergleich gezogen. Die Kurven zeigten, dass Kakaobutter, die bereits einmal aufgeschmolzen war, an Tag 1 eine geringere Schmelzwärme und Peaktemperatur aufwies als an Tag 3. Die höchste Schmelzwärme und Peaktemperatur wies die Originalprobe auf, je länger die Probe stand, desto eher stieg sie Richtung Originalprobe an. (Behlau & Widmann, o. J., S. 36)

4 Laboruntersuchungen

Für die Untersuchungen im Rahmen dieser Thesis wurden zehn verschiedene Kakaobuttersorten ausgesucht und unter standardisierten Bedingungen einer DSC Messung unterzogen. Es wurden jeweils zwei Durchläufe unter gleichen Bedingungen gemessen, um möglichst repräsentative Ergebnisse zu erhalten und mögliche fehlerhafte Messungen auszuschließen.

4.1 Ziel

Ziel der Untersuchungen ist, Unterschiede im Kristallisationsverhalten der verschiedenen Kakaobutterproben zu erkennen und daraufhin zu analysieren. Das Hauptaugenmerk liegt hierbei in der Unterscheidung zwischen Bio-Kakaobutter und Nicht-Bio-Kakaobutter. Aber auch Unterschiede im Kristallisationsverhalten aufgrund verschiedener Verarbeitung sollen untersucht werden.

4.2 Material und Methoden

4.2.1 Material

4.2.1.1 Kakaobuttersorten

Die ausgewählten Kakaobuttersorten wurden hauptsächlich nach Bioqualität und Nicht-Bioqualität unterteilt. Weitere Unterscheidungsmerkmale sind die Herkunft und die Behandlung z.B. desodoriert und nicht desodoriert. Mit Ausnahme der Nummer 7 wiesen alle Sorten eine weiß-gelbliche Farbe auf.

Die Proben wurden verschlossen in einem Karton bei Raumtemperatur aufbewahrt. Da die Untersuchungen im Sommer 2018 durchgeführt wurden, und es zwischenzeitlich zu Außentemperaturen von 30°C-35°C kam, lag die durchschnittliche Raumtemperatur höher als normal.

Zwischen dem Öffnen der Packungen und dem Einwiegen der Proben lagen maximal 30 Stunden. Die Proben des ersten Durchlaufs wurden direkt im Anschluss an das Einwiegen gemessen, die des zweiten Durchlaufs wurden zunächst eingewogen und dann 1 Woche trocken, lichtgeschützt und verschlossen verwahrt bevor sie der Messung unterzogen wurden.

Kakaobutter	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Hersteller/ Marke	Rapunzel	Alnatura	Staubenel Kräutergarten	Pacari	Terra Elements	Edelmond (weiß)	Edelmond (schwarz)	Casa Luker	LaVita	Spinnrad
Herkunft	Dominikanische Republik		Dominikanische Republik	Ecuador	Peru			Kolumbien		
Verwendungszweck	Desserts, Schokolade, Glasuren	Alternative zum Backen und Kochen	Herstellung, auch Kosmetik		Schokolade, Körperpflege	Backen, kochen, Kosmetika, Seifen	Kochen, backen mit intensivem Aroma	Schokolade, Seifen, Cremes, Kosmetik	Kosmetika, Rohstoff für Lebensmittel	Backen, Kochen, Pralinen
Zertifizierungen	EU-BIO-Logo, Hand-in-Hand (Fairer Handel)	Biologische Landwirtschaft	Bio Fairtrade	Eu-Bio-Logo	EU-Bio-Logo, Vegan	EU-Bio-Logo	EU-Bio-Logo			Vegan
Qualität	Desodoriert, rein, vegan		Desodoriert, natürlich, rein	Ungeröstete Bohnen	Kartoffel presst, nicht desodoriert	Nicht desodoriert	Ungefiltert, natürlich, schwarz	Nicht desodoriert	Lebensmittelqualität	

Tabelle 2: Untersuchte Kakaobuttersorten

Zusätzlich zur eigentlichen Untersuchung wurden die Kakaobuttersorten einer kurzen sensorischen Untersuchung unterzogen. Die Ergebnisse sind in folgender Tabelle aufgelistet.

Kakaobuttersorte	Konsistenz	Geruch	Geschmack
Rapunzel	Fest, leicht cremig	Leicht nach Butter	Muffig, nach Butter
Alnatura	Fest, leicht cremig	Leicht nach Butter	Muffig, nach Butter
Stübener Kräutergarten	Fest, leicht cremig	Leicht nach Butter	Muffig, nach Butter
Pacari	Fest, leicht cremig	Muffig, leicht schokoladig	Nach Butter, weiße Schokolade
Terra Elements	Fest, leicht cremig	Nach weißer Schokolade	Leicht nach weißer Schokolade
Edelmond weiß	Fest, leicht cremig	Stark säuerlich	Leicht säuerlich, muffig
Edelmond schwarz	Sehr fest, brüchig	Herb, schokoladig, intensiver Geruch	Bitter, herb
Casa Luker	Weich, brüchig	Muffig, schokoladig	Muffig/ ranzig
LaVita	Weich, cremig	Muffig/ ranzig	Muffig, nach Butter
Spinnrad	Weich, cremig	Leicht nach Butter	Muffig, ranzig, Butter

Tabelle 3: Sensorische Untersuchung

4.2.1.2 Weitere Utensilien und Geräte

Neben den Kakaobutterproben wurden folgende Materialien und Geräte für die Untersuchungen herangezogen:

Material / Gerät	Hersteller	Produkt	Bemerkung
DSC-Messgerät	Netzsch	DSC 214 Polyma	
Analysenwaage	Mettler Toledo	XS205 DualRange	0,01mg Genauigkeit
Verschleißpresse	Netzsch		
Tiegel + Deckel	Netzsch		
Gummibrett, Locher, Pinzette	Netzsch		
Skalpell, Spatel, Pinzette			

Tabelle 4: Materialien und Geräte

Das DSC 214 Polyma Messgerät von NETZSCH besitzt einen ovalen Ofen, in dem hohe Heiz- und Abkühlvorgänge möglich sind. Mit bis zu 500K/min erreicht die DSC 214 Polyma Werte, die bisher kein anderes Gerät aufweisen konnte. Der Temperaturbereich der DSC 214 Polyma liegt bei -170°C – 600°C , die Auflösung bei $0,1\mu\text{W}$. (NETZSCH-Gerätebau GmbH, o.J.)

Zur Kühlung ist der Intracooler von NETZSCH angeschlossen. Die Kühlung erfolgt durch Stickstoff. Es werden Aluminium Concavus®-Tiegel von NETZSCH verwendet. (NETZSCH-Gerätebau GmbH, o.J.)

4.2.2 Methode

4.2.2.1 Vorbereitungen

Vor der eigentlichen Messung mussten zunächst einige Vorbereitungen getroffen werden. Hierzu zählen die Einführung und Einarbeitung mit dem DSC Messgerät und der zugehörigen Software, die Probenvorbereitung und das Bestimmen eines Temperaturprogrammes.

Für das Bestimmen eines geeigneten Temperaturprogramms und um mit der DSC 214 Polyma und der Software vertraut zu werden wurden anfänglich einige Testläufe durchgeführt. Zu diesem Zweck wurden mehrere Durchläufe mit derselben

Kakaobutterprobe und unterschiedlichen Temperaturprogrammen durchgespielt und die Messkurven miteinander verglichen. Dabei wurde hauptsächlich an der Heiztemperatur und der Kühlrate gedreht, bis sich eine Messkurve ergab, die den Erwartungen und der herangezogenen Literatur (Foubert I. , Vanrolleghem, Thas, & Dewettinck, 2004, S. 484) entsprach.

Den weitaus größeren Zeitanteil in der Vorbereitung hat die Probenvorbereitung in Anspruch genommen. Es musste vorerst die Masse bestimmt werden, die groß genug war, um geeignete Ergebnisse zu erhalten, und klein genug war, um sie in die vorhandenen Tiegel einzuwiegen. Mithilfe der Analysenwaage konnte auf 0,01mg genau gemessen werden. Nach einigem Ausprobieren wurde eine Masse von 20mg +/- 0,01mg als Probenmasse festgelegt. Nun mussten insgesamt 20 Tiegel befüllt werden, um von jeder Probe jeweils zwei Tiegel für die zwei Messungen bereitzuhaben. Das Einwiegen der Proben brachte anfangs einige Schwierigkeiten mit sich. Zum einen war die Kakaobutter leicht weich und somit ein wenig klebrig in ihrer Konsistenz, zum anderen bewegte sich die einzuwiegende Masse in einem bisher unbekanntem und sehr kleinen Bereich. Die Kakaobutterproben wurden mit einem Skalpell geschnitten und mit einer Pinzette und einem Spatel in die Tiegel gesetzt. Die Tiegel selber wurden mit einer zweiten Pinzette bewegt.

Nachdem ein Tiegel befüllt wurde wurden zwei kleine Löcher in den Deckel gestochen, damit eventuelle Gase und erwärmte Luft dort hinausströmen können. Danach wurde der Deckel auf den Tiegel gesetzt und mit der Verschleißpresse gestanzt. Nun war der Tiegel fertig für die Messung vorbereitet.

In der folgenden Tabelle sind die eingewogenen Massen der Proben für beide Messungen aufgelistet.

Kakaobuttersorte	1. Messung Masse in mg	2. Messung Masse in mg
Rapunzel	20,00	19,99
Alnatura	19,99	20,01
Stübener Kräutergarten	19,99	19,99
Pacari	20,01	20,01
Terra Elements	19,99	20,01
Edelmond weiß	20,00	20,00
Edelmond Schwarz	20,01	19,99
Casa Luker	19,99	20,01
LaVita	20,01	20,01
Spinnrad	20,00	19,99

Tabelle 5: Probenmassen beider Messungen

4.2.2.2 Messungen

Nun erfolgt die eigentliche Messung. Für die erste Messung kommen die zehn Proben in den Magazinlauf der DSC 214 Polyma, ein Leertiegel als Referenzprobe ist bereits im Ofen. Das ausgewählte Temperaturprogramm wird ausgewählt und die Messung startet. Durch den Auto-Sampler wird jede Probe nach ihrer Messung in den Trash geworfen und automatisch die nächste Probe eingesetzt, so kann die Messung auch über Nacht laufen.

Das Temperaturprogramm startet jeweils bei 20°C, dann werden die Proben bei einer konstanten Heizrate von 30K/min auf 80°C erhitzt. Diese Temperatur wurde gewählt, um die Kakaobutter zuverlässig zu schmelzen und alle vorhandenen Kristalle aufzubrechen. Die 80°C werden 15min isotherm gehalten, dann werden die Proben mit einer konstanten Kühlrate von 150K/min auf 20°C abgeschreckt. Die hohe Kühlrate soll verhindern, dass sich während dieser Phase bereits Kristalle

bilden. Nun wird die Kakaobutter auf 20°C für 15min gehalten und kann isotherm kristallisieren.

4.3 Ergebnisse

Zur Auswertung der Messreihen wurde die Auswertungssoftware NETZSCH Proteus verwendet. Im ersten Schritt wurden zunächst die Messung A mit der Messung B verglichen, um zu überprüfen, ob die Messergebnisse repräsentativ waren. Hiernach wurde die Messung A verwendet, um Unterschiede im Kristallisations- und Schmelzverhalten zwischen den verschiedenen Kakaobuttersorten zu ermitteln.

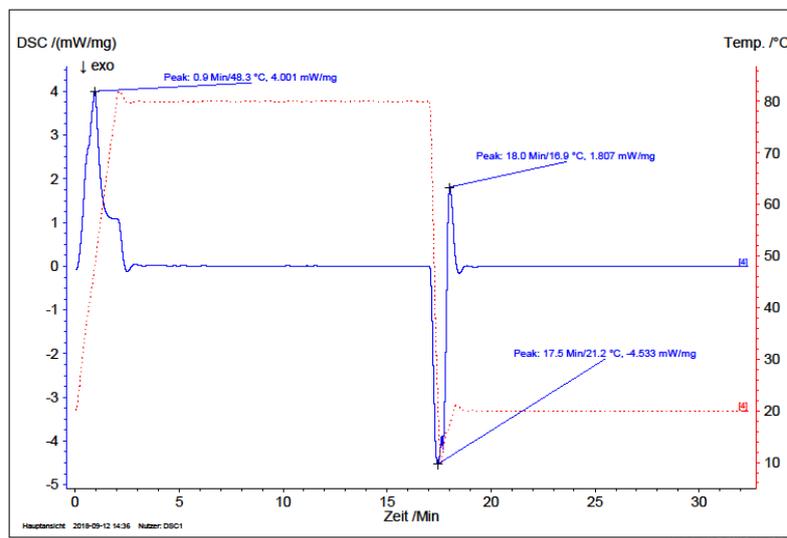


Abbildung 1: Beispiel für ganze Messung A, Probe 4

Die vollständigen Diagramme der Messergebnisse sind gesondert im Anhang zu finden.

4.4 Vergleich Messung A und Messung B

Zum Vergleich der beiden Messungen und zur Überprüfung der Repräsentativität wurden jeweils alle Messungen der ersten Messreihe mit den zugehörigen Messungen der zweiten Messreihe verglichen. Hierbei wurde sich auf den Abschnitt des Schmelzens konzentriert, um die Schmelzwärmen und Peaktemperaturen miteinander in Vergleich zu ziehen.

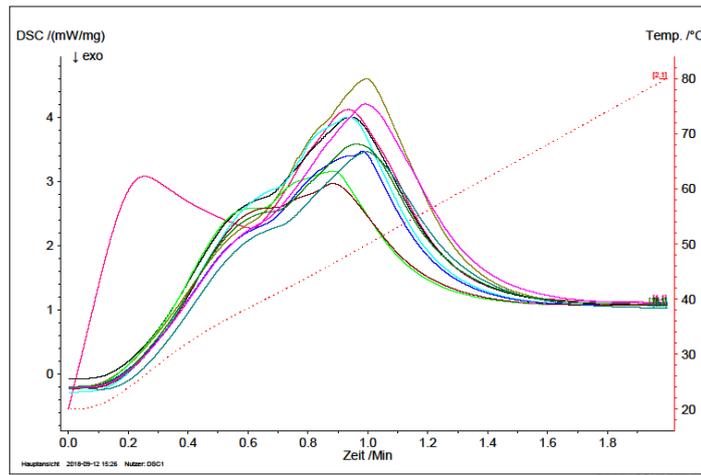


Abbildung 2: Vergleich Schmelzen Messung A, alle Proben

Hierbei fällt zunächst auf, dass sich die Kurven von ihrer Form zwischen den unterschiedlichen Kakaobuttersorten unterscheiden, die jeweiligen Kurven derselben Kakaobutter aber eine ähnliche Form aufweisen. Dies zeigt, dass es tatsächlich Unterschiede zwischen den verschiedenen Kakaobuttersorten gibt, dieser Punkt wird später noch genauer betrachtet. Außerdem zeigt sich, dass die Kurvenform der jeweils gleichen Kakaobuttersorte zwar eine Ähnlichkeit aufweist, jedoch unterschiedliche Schmelzwärmen sowie Peaktemperaturen enthält und die Kurven der Messreihe A verschoben zu den Kurven der Messreihe B wirkt.

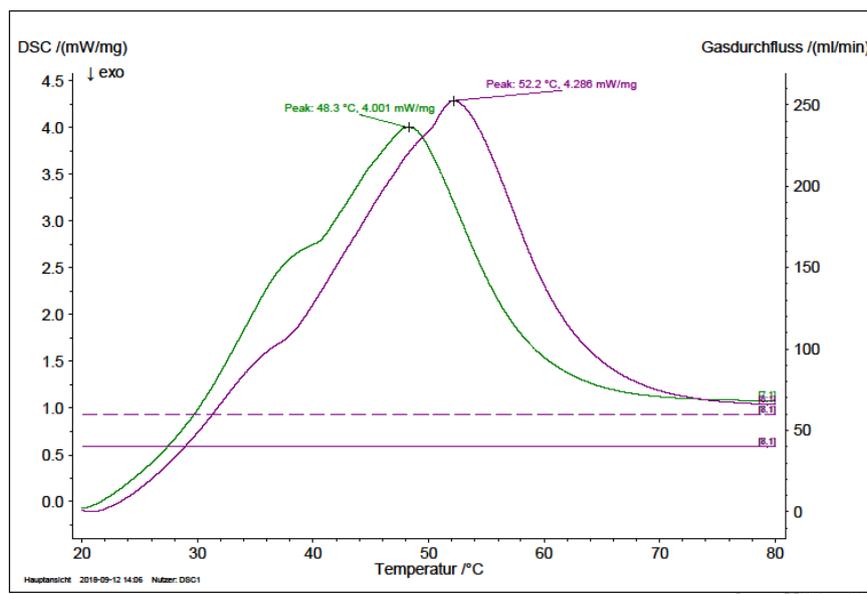


Abbildung 3: Vergleich Schmelzen Messung A vs B, Probe 4
Grün = Messung A, Lila = Messung B

Die Peaktemperaturen der ersten sechs Kakaobuttersorten (vgl. Tabelle 6) sind bei der Messung A geringer als bei der Messung B. Bei den Kakaobuttersorten 7-10 ist die Peaktemperatur der Messung A, teilweise geringfügig, höher. Die maximale Schmelzwärme liegt bei allen Proben, außer bei Probe 6, bei der Messung B höher als bei Messung A.

Die folgende Tabelle zeigt die Peaktemperaturen sowie die maximalen Schmelzwärmen der beiden Messreihen.

Probe	Peaktemp. Messung A in °C	Peaktemp. Messung B in °C	Max. Schmelzwärme Messung A in mW/mg	Max. Schmelzwärme Messung B in mW/mg
1) Rapunzel	48,3	51,0	4,119	4,652
2) Alnatura	49,7	51,1	4,205	4,640
3) Stübener Kräutergarten	49,9	51,4	4,599	4,935
4) Pacari	48,3	52,2	4,001	4,286
5) Terra Elements	46,6	52,3	3,158	3,991
6) Edelmond weiß	47,9	54,0	4,004	3,717
7) Edelmond schwarz	49,5	49,0	3,470	3,959
8) Casa Luker	46,5	45,6	2,967	3,647
9) LaVita	49,9	49,5	3,462	3,675
10) Spinnrad	48,9	48,4	3,581	3,598

Tabelle 6: Peaktemperaturen und max. Schmelzwärme

Die Werte zeigen nochmal deutlich, dass die Peaktemperatur der Messung A unter der, der Messung B oder nur in geringem Maße über der Peaktemperatur, der Messung B liegt.

Eine weitere Auffälligkeit zeigt die Probe 10, da die Messkurven der beiden Messreihen sich sehr ähnlich sind und beinahe übereinanderliegen. Auch die Werte aus der Tabelle zeigen dies, da sie nur sehr geringfügig voneinander abweichen.

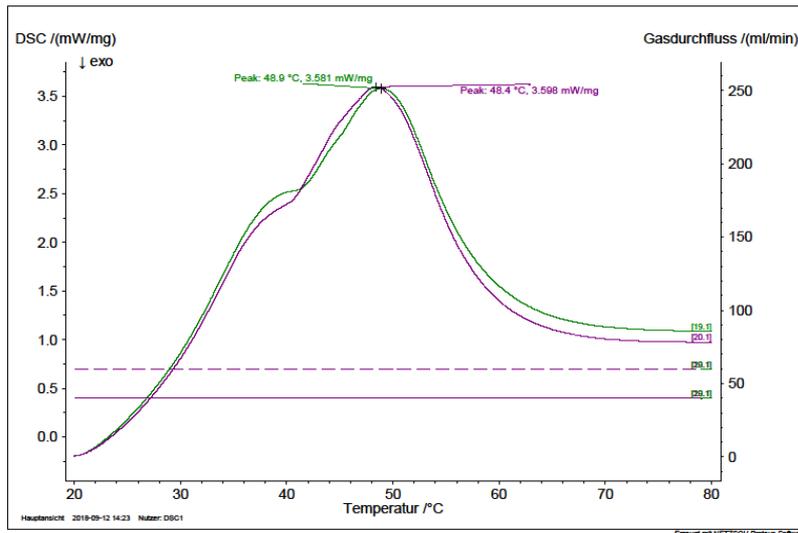


Abbildung 4: Vergleich Schmelzen Messung A vs B, Probe 10
Grün = Messung A, Lila = Messung B

Die unterschiedlichen Messkurven zwischen Messung A und Messung B lassen sich durch die bereits erwähnte Literatur von Mettler Toledo erklären. Hier wurde beschrieben, dass sich Peaktemperatur und Schmelzwärme verändern, wenn Kakaobutterproben aufgeschmolzen werden und eine längere Lagerzeit folgt, bevor die Messung stattfindet (s. 3.4.5). Diese Veränderung kann auch bei den erfolgten Messungen beobachtet werden. Die Peaktemperatur und Schmelzwärme sind nach längerer Lagerung höher als nach kürzerer Lagerung. In der Literatur konnte dies beobachtet werden, nachdem die Kakaobutterprobe bereits einmal aufgeschmolzen war. In der erfolgten Messung gehörte dies zwar nicht zur verwendeten Methodik, jedoch wurden die Proben bei einer hohen Raumtemperatur gelagert, sodass davon ausgegangen werden muss, dass die Proben unbeabsichtigt während der Lagerung zum Teil oder ganz geschmolzen sind.

Dies könnte auch erklären, weshalb nicht bei allen Proben die Messwerte der Messung B über denen der Messung A liegen und weshalb die Probe 10 eine gute, repräsentative Messkurve aufweist. Da die Proben bereits in den Tiegel gelagert wurden, und die Lagerung nicht beobachtet wurde, kann davon ausgegangen werden, dass die Proben unterschiedlich stark während der Lagerung geschmolzen oder nicht geschmolzen sind. So kann vermutet werden, dass die La-

gerung bei der Probe 10 am wenigstens Auswirkungen zeigte, sodass hier eine repräsentative Messung möglich war.

Insgesamt lässt sich daher leider nicht sagen, dass repräsentative Messergebnisse erhalten wurden, da die Messkurven der beiden Messreihen zu verschieden sind. Jedoch lässt sich immerhin erkennen, dass die Messkurven der jeweils gleichen Probe sich von ihrer Form her sehr ähneln, was darauf schließen lässt, dass die Messkurven verwertbar und auswertbar sind. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Verschiebungen in den Messkurven auf eine falsche Lagerung hindeuten. Dies bestätigt sich auch in der Literatur, hier wird diese Erscheinung Kristallisationsverzug genannt. (Behlau & Widmann, o. J., S. 36)

Als weitere Auffälligkeit zeigt sich die Schmelzkurve der Probe 1. Die Kurven der Messung A und B weichen hier deutlich voneinander ab, da die Kurve der ersten Messung zwei Peaks aufweist. Außerdem hat die Messung hier bereits bei 10°C begonnen, während sie bei den anderen Messungen bei 20°C begann. Eine Erklärung hierfür konnte nicht gefunden werden, allerdings lässt sich vermuten, da es sich hierbei um die erste Messung der ersten Probe handelt, dass die DSC Polyma zu diesem Zeitpunkt noch nicht optimal eingestellt war. Da bei keiner anderen Schmelzkurve zwei Peaks zu beobachten sind, und auch bei derselben Probe bei der zweiten Messung kein zweiter Peak vorhanden ist, wird davon ausgegangen, dass der zweite Peak der eigentliche Peak ist, und es sich beim ersten um einen Messfehler handeln könnte.

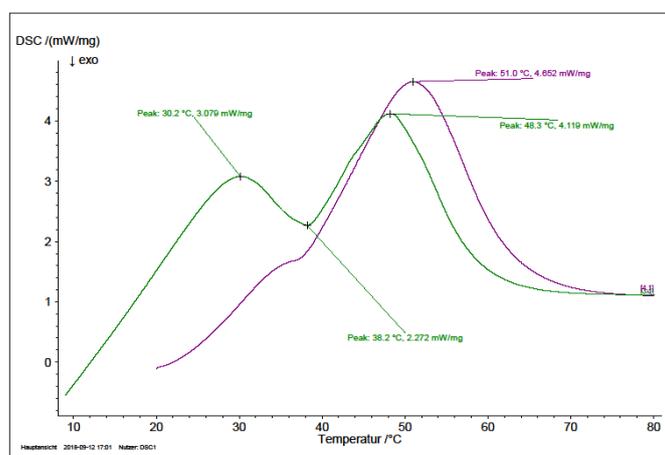


Abbildung 5: Vergleich Schmelzen Messung A vs B, Probe 1
Grün = Messung A, Lila = Messung B

4.5 Kristallisation

In diesem Abschnitt soll der Kurvenabschnitt der Kristallisation genauer betrachtet werden. Hierbei soll analysiert werden, bei welcher Temperatur die jeweilige Kakaobutter zu kristallisieren beginnt und ob erkennbar ist, dass sie in unterschiedlichen polymorphen Kristallstrukturen kristallisiert. In diesem wie in den folgenden Abschnitten wird sich nur noch auf die Messung A bezogen, da, wie bereits erwähnt, der Kristallisationsverzug hier weniger Auswirkungen zeigen wird, als bei der Messung B.

Es ist erkennbar, dass sich die Kristallisationskurven der unterschiedlichen Kakaobutterproben sehr ähnlich sehen, sie kristallisieren zunächst in zwei Schritten, hiernach folgt ein endothermer Peak, woraufhin wieder ein kleiner exothermer Peak folgt.

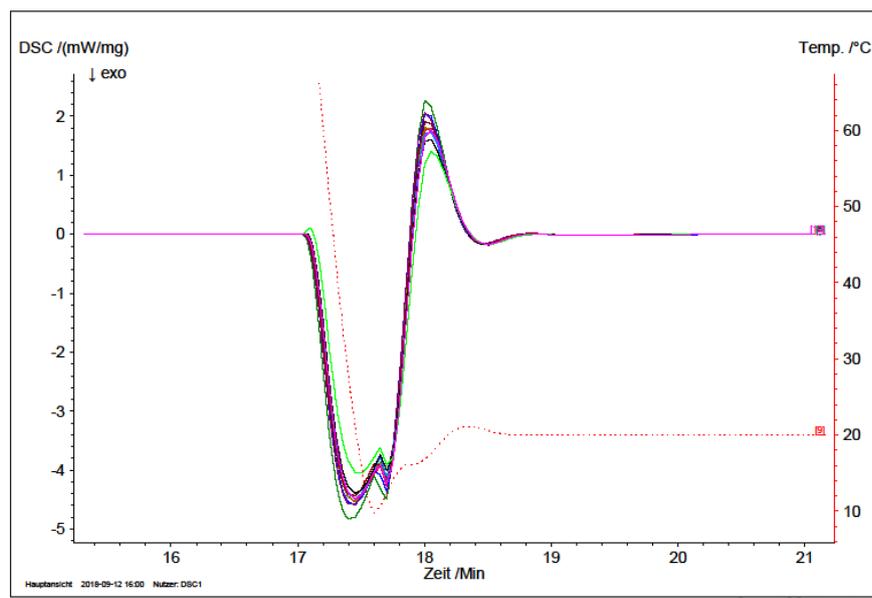


Abbildung 6: Vergleich Kristallisationskurve, alle Proben

Die ersten beiden exothermen Peaks deuten auf eine Kristallisation von zwei verschiedenen Kristallformen hin, der endotherme Peak lässt auf ein Aufschmelzen einer Kristallform deuten, hiernach folgt ein weiterer exothermer Peak, der vermutlich eine weitere Kristallisation einer Kristallform beschreibt. Anhand der Temperaturkurve (rot gepunktet) erkennt man, dass die Temperatur eingangs bis auf ca. 10°C absinkt, hiernach steigt sie allerdings wieder, bis sie sich auf die isotherme

Temperatur von 20°C einpendelt. Dieses Einpendeln sorgt dafür, dass die Kakaobutter anfangs kristallisiert, dann einige Kristalle wieder aufschmelzen, bis sie schließlich wieder vollständig kristallisiert (s. Abbildung 5).

Die folgende Tabelle zeigt die Werte der beiden exothermen Peaks der unterschiedlichen Kakaobutterproben.

Probe	Peaktemp 1 in °C	Peaktemp. 2 in °C	Peak 1 Schmelzwärme in mW/mg	Peak 2 Schmelzwärme in mW/mg
1) Rapunzel	27,7	12,3	-4,824	-4,487
2) Alnatura	21,0	12,3	-4,544	-4,272
3) Stübener Kräutergarten	21,1	12,3	-4,585	-4,371
4) Pacari	21,2	12,3	-4,533	-4,199
5) Terra Elements	21,2	12,3	-4,587	-4,139
6) Edelmond weiß	21,2	12,3	-4,485	-4,110
7) Edelmond schwarz	21,3	12,3	-4,439	-4,237
8) Casa Luker	21,4	12,4	-4,391	-4,016
9) LaVita	16,1	12,4	-4,051	-3,905
10) Spinnrad	21,4	12,4	-4,489	-4,248

Tabelle 7: Kristallisationspeaks Messung A

Die Tabelle zeigt noch einmal, dass die Werte der verschiedenen Kakaobutterproben sehr nah zusammenliegen. Dies könnte daher kommen, dass die gewählten Kakaobuttersorten ähnliche Kristallisationseigenschaften aufweisen. Es könnte aber auch an der hohen Kühlrate liegen. Betrachtet man die Literatur liegt die zweite Vermutung näher, da unterschiedliche Kakaobuttersorten normalerweise auch Unterschiede in der Kristallisation aufweisen sollten. Die hohe Kühlrate allerdings könnte der Grund sein, weshalb die Kakaobuttersorten alle sehr schnell kristallisiert sind und sich deshalb nur sehr schwer Unterschiede abzeichnen und erkennen lassen.

Die größten Unterschiede liegen zwischen Kakaobutterprobe 1 (Rapunzel) und 9 (LaVita). Hierbei liegt die Differenz zwischen der ersten Peaktemperatur bei 11,6°C (vgl. Tabelle 7). Die Differenz der Schmelzwärme des ersten Peaks liegt bei 0,773mW/mg. Bei diesen beiden Proben lässt sich demnach ein Unterschied erkennen, allerdings wird auch hier die hohe Kühlrate und die vorangegangene Lagerung eine Rolle spielen, sodass die Unterschiede bei einer optimaleren Messung vermutlich besser zu analysieren wären.

Da die Probe 1 bereits bei 27,7°C zu kristallisieren beginnt, während Probe 9 erst bei 16,1°C kristallisiert, lässt sich feststellen, dass Probe 1 bereits bei höheren Temperaturen kristallisiert als die anderen Proben, einschließlich Probe 9. Im Umkehrschluss lässt sich vermuten, dass diese Probe auch erst bei höheren Temperaturen anfängt zu schmelzen, was vermuten lässt, dass die Probe 9 bereits bei sehr niedrigen Temperaturen anfängt zu schmelzen. Dies weist auf eine minderwertigere Qualität hin, da es ein Qualitätsziel von Schokolade ist, nicht bereits in den Fingern zu schmelzen.

Alle anderen Proben kristallisieren im ersten Peak um die 21°C, sie liegen also zwischen den beiden Proben 1 und 9.

Des Weiteren ist die Trennung der beiden exothermen Peaks nicht ganz deutlich zu sehen und es wird deutlich, dass die Kakaobutter vermutlich bei der hohen Kühlrate sehr schnell abgeschreckt wurde und so keine gute Kristallisation mehr erkennbar ist.

4.6 Vergleiche Schmelzen

Die Vergleiche zwischen den Kakaobutterproben wurden anhand der Schmelzkurven gewählt, da beim Schmelzen eine nicht ganz so hohe Heizrate gewählt wurde, und sich so Unterschiede besser erkennen lassen, als bei der Kristallisation, die durch die hohe Kühlrate nicht optimal gemessen wurde. Lediglich beim ersten Vergleich, zwischen Bio und Nicht-Bio wird auch die Kristallisationskurve in Betrachtung gezogen.

4.6.1 Bio vs. Nicht-Bio

Zunächst sollen die Kakaobutterproben insgesamt verglichen werden, hierbei wird zwischen Bio-Kakaobutter und Nicht-Bio-Kakaobutter unterschieden. Da auf dem Markt hauptsächlich Bio-Kakaobutter vertreten ist, ist das Verhältnis nicht genau gleich. Dennoch lassen sich klare Unterschiede erkennen:

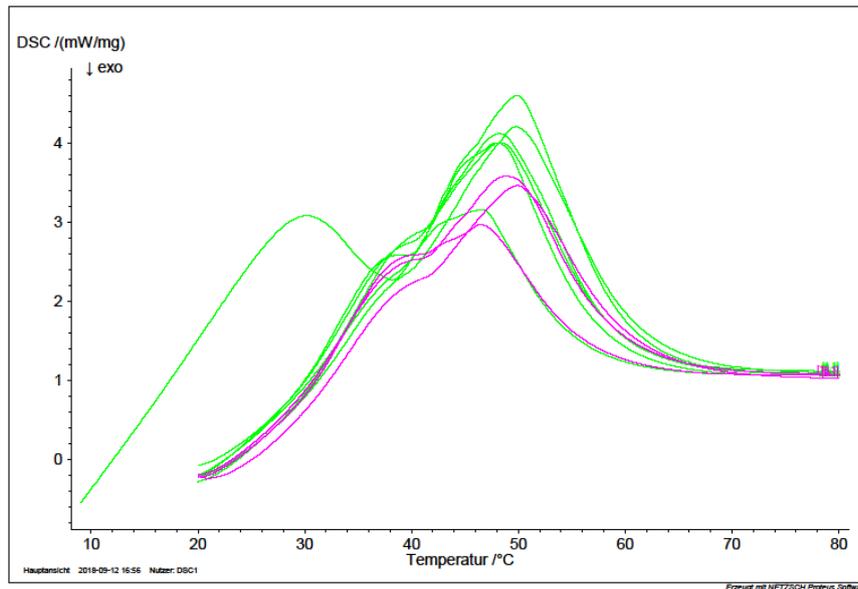


Abbildung 7: Vergleich Schmelzen Bio vs. Nicht-Bio, alle Proben
Hellgrün = Bio, Pink = Nicht-Bio

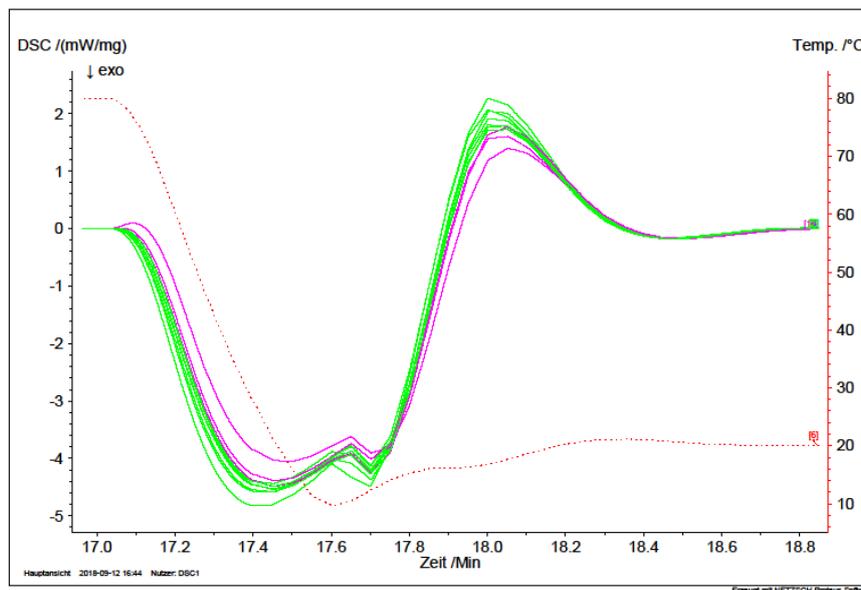


Abbildung 8: Vergleich Kristallisation Bio vs. Nicht-Bio, alle Proben
Hellgrün = Bio, Pink = Nicht-Bio

Die Schmelzkurven der Bio-Kakaobutterproben liegen insgesamt deutlich höher als die Kurven, der Nicht-Bio-Proben. Dies zeigt, dass zum Aufschmelzen insgesamt höhere Peak-Schmelzwärmen benötigt werden, wenn die Kakaobutter eine Bio Qualität aufweist. Die Peaktemperatur hingegen weist kein klares Muster auf,

diese liegt sowohl bei der Bio-Kakaobutter als auch bei der Nicht-Bio-Kakaobutter bei ca. 46°C - 50°C (vgl. Tabelle 6).

Auch die Kristallisationskurven zeigen, dass zur Kristallisation bei der Bio-Kakaobutter höhere Schmelzwärmen frei werden, als bei den Nicht-Bio-Proben. Die Kurven der Bio-Kakaobutterproben liegen deutlich weiter unten.

Der Vergleich zeigt, dass es Unterschiede im Schmelz- sowie Kristallisationsverhalten zwischen Bio-Kakaobutter und Nicht-Bio-Kakaobutter gibt. Die Unterschiede werden vermutlich noch deutlicher, wenn eine geringere Heiz- sowie Kühlrate gewählt wird. Insgesamt lässt sich sagen, dass Bio-Kakaobuttersorten höhere Schmelzwärmen benötigen und freisetzen, als Nicht-Bio-Kakaobuttersorten. Dies lässt sich zurückführen auf die unterschiedliche Verarbeitungsform sowie die unterschiedliche Zusammensetzung, was auf eine höhere Qualität der Bio-Kakaobutter hinweist.

4.6.2 1 Rapunzel vs. 2 Alnatura

Der Vergleich zwischen den beiden Kakaobutterproben 1 und 2 wurde gewählt, weil Rapunzel und Alnatura bekannte Marken sind. Es sollte hierbei analysiert werden, ob sich Unterschiede zwischen diesen beiden Marken Kakaobuttersorten abzeichnen lassen.

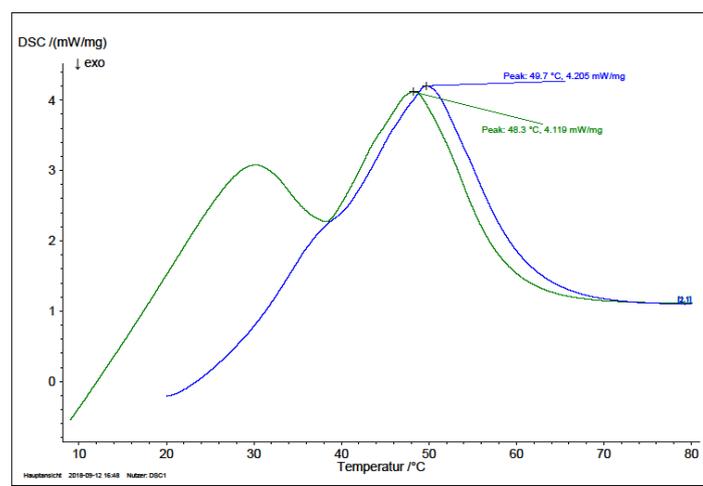


Abbildung 9: Vergleich Schmelzen Probe 1 vs. 2
Grün = 1, Blau = 2

Auch bei diesem Vergleich tritt wieder das Problem auf, dass die erste Messung der ersten Probe anfangs vermutlich fehlerhaft verlief, und so der erste endotherme Peak zu erklären ist. Dennoch lassen sich die beiden eigentlichen Schmelzpeaks miteinander vergleichen. So lassen sich keine deutlichen Unterschiede zwischen den beiden Proben erkennen. Die Kurve der Probe 2 (Alnatura) liegt ein wenig weiter rechts und oben, als die Kurve der Probe 1 (Rapunzel). Dies zeigt, dass die Probe 2 bei einer minimal höheren Temperatur vollständig schmilzt sowie eine höhere Schmelzwärme hierfür benötigt. Die Form der beiden Kurven ist ansonsten ziemlich ähnlich.

Hiermit lässt sich zeigen, dass es keine gravierenden Unterschiede zwischen den beiden Marken Kakaobuttersorten gibt. Beide weisen ein ähnliches Schmelzverhalten auf.

4.6.3 Nicht desodoriert vs. Desodoriert

Beim Vergleich zwischen nicht desodoriertes bzw. desodoriertes Kakaobutter wurden je zwei Vergleiche gezogen, um ein repräsentatives Ergebnis zu erhalten. So könnten Unterschiede bei nur einem Vergleich auch daher resultieren, dass zwei unterschiedliche Kakaobuttersorten gewählt wurden. Zeigen sich allerdings zweimal ähnliche Ergebnisse, so lässt sich stärker vermuten, dass diese Unterschiede durch die verschiedene Verarbeitungsform kommen.

Die verglichenen Proben sind alle Bio-Kakaobuttersorten, um hierbei eine einheitliche Qualität zu haben.

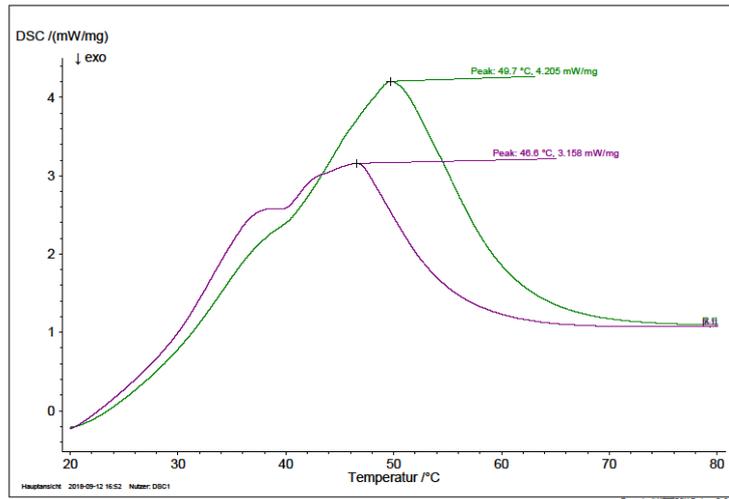


Abbildung 10: Vergleich nicht desodoriert vs. desodoriert, Probe 5 und 2
Lila = 5, nicht desodoriert, Grün = 2, desodoriert

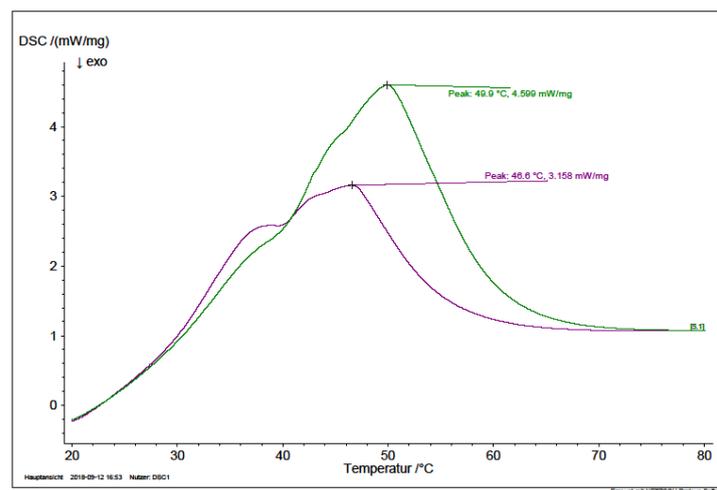


Abbildung 11: Vergleich nicht desodoriert vs. desodoriert, Probe 5 und 3
Lila = 5, nicht desodoriert, Grün = 3, desodoriert

Bei diesem Vergleich zeichnet sich ein deutlicher Unterschied ab. Die Peaktemperatur der desodorierten Probe ist jeweils um ca. 3°C höher, als die Peaktemperatur der nicht desodorierten Probe. Weiterhin liegt die maximale Schmelzwärme der desodorierten Probe je um 1mW/mg höher als die, der nicht desodorierten Probe. Eine weitere Auffälligkeit zeigt sich bei der Probe 5, die Kurvenform weicht von der Kurvenform der jeweils anderen Probe ab, da sie, vor ihrem eigentlichen Peak, einen kleinen Peak aufweist. Dies lässt vermuten, dass die Probe 5 in zwei Stufen schmilzt, während die Kurve der Proben 2 und 3 nur einen klaren Peak aufweist.

Die Unterschiede zeigen, dass die nicht desodorierte Kakaobutter bei einer deutlich niedrigeren Temperatur vollständig aufschmilzt, während desodorierte Kakaobutter eine höhere Temperatur benötigt. Außerdem benötigt nicht desodorierte Kakaobutter eine nicht ganz so hohe Schmelzwärme wie die desodorierten Proben. Eine Erklärung könnte hierbei sein, dass desodorierte Kakaobutter einen Verarbeitungsschritt mehr aufweist, als die nicht desodorierte Kakaobutter. Dieser weitere Verarbeitungsschritt könnte der Grund sein, weshalb eine höhere Temperatur sowie Schmelzwärme nötig ist, um die Proben vollständig aufzuschmelzen.

4.6.4 Weiß vs. Schwarz

Der letzte Vergleich ist ein Vergleich zwischen Kakaobutter der gleichen Marke (Edelmond), jedoch ist die eine Probe eine weiße Kakaobutter und die andere Probe ist die komplett unverarbeitete schwarze Kakaobutter. Dieser Vergleich erschien interessant, da schwarze Kakaobutter komplett unverarbeitet ist und außer von ihrer Farbe auch von ihren sensorischen Eigenschaften stark von allen anderen Proben abwich (vgl. Tabelle 3).

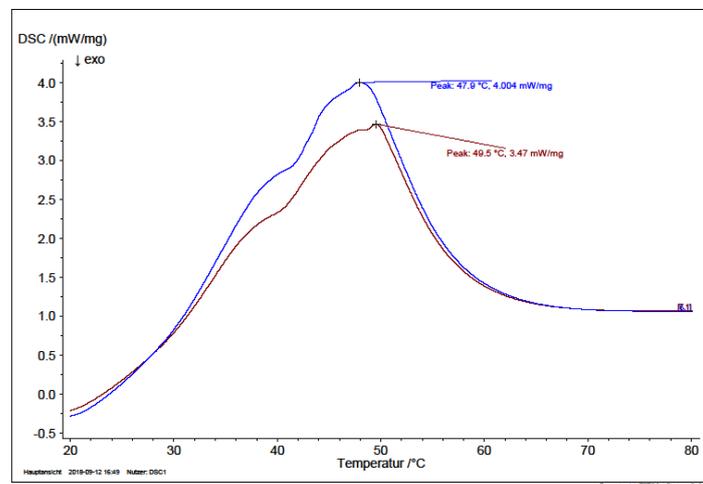


Abbildung 12: Vergleich weiß vs. schwarz, Probe 6 und 7
Blau = weiß, Braun = schwarz

Auffällig hierbei ist, dass die blaue Kurve eine höhere Peak-Schmelzwärme (4,004mW/mg) aufweist, jedoch eine niedrigere Peaktemperatur (47,9°C). Die Differenz der beiden Schmelzwärmen liegt bei ca. 0,5mW/mg, die Differenz der Peaktemperatur bei ca. 2°C.

Die schwarze Kakaobutter schmilzt demnach bei einer höheren Temperatur völlig auf, benötigt hierfür allerdings eine geringere Schmelzwärme als die weiße Kakaobutter. Auch hier zeigt sich, dass die unverarbeitete Kakaobutter eine geringere Schmelzwärme zum völligen Aufschmelzen benötigt, als die mehr verarbeitete Kakaobutter (vgl. 4.6.3).

4.7 Diskussion

4.7.1 Verwendete Literatur

4.7.1.1 *Theorieteil*

Die verwendete Literatur für den Theorieteil dieser Arbeit war sehr ergiebig. Es ließ sich viel zu Kakaobutter, Kakao und Schokolade finden sowohl im Internet als auch in Büchern und elektronischen Quellen. Teilweise ist die Literatur ein wenig älter, jedoch wurde diese Literatur dennoch gewählt, da die Kakaoherstellung sehr traditionell ist und sich nicht viel verändert hat in den letzten Jahren/ Jahrzehnten. Des Weiteren wurde die ältere Literatur mit neueren Werken verglichen und ergänzt, sodass die Erkenntnisse auf dem aktuellen Stand sind.

Für den Theorieteil wurden außerdem einige Chemie Lehrbücher herangezogen, da Kakaobutter größtenteils ein Fett ist und die physikalischen sowie chemischen Eigenschaften durch die Fettzusammensetzung bestimmt werden.

4.7.1.2 *Praxisteil*

Die Literatur für den Praxisteil hingegen war schwieriger zu finden, da DSC Untersuchungen hauptsächlich für Kunststoffe eingesetzt werden und seltener für Kakaobutter. Doch auch hier fanden sich einige Untersuchungen, die ausgewertet werden konnten. Leider ließ sich keine Literatur zum Vergleich von Bio-Kakaobutter und Nicht-Bio-Kakaobutter finden.

Viele Untersuchungen untersuchten die DSC Messergebnisse nach der Avrami Gleichung. Dies würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen, wäre allerdings für eine weitere Untersuchung ratsam. So ließen sich die Ergebnisse aus der Literatur besser mit den Ergebnissen dieser Arbeit besser vergleichen.

4.7.2 Verwendete Methodik

Die verwendete Methodik zeigte im Nachhinein einige Schwachstellen, die bei einer erneuten Untersuchung zu beheben sind. Eine erneute Untersuchung in diesem Umfang würde allerdings den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Die Ergebnisse dieser Arbeit sollen demnach als Anfang genutzt werden, um Schlüsse für weitere Untersuchungen zu ziehen.

Die Untersuchungen zeigen zunächst, dass repräsentative Ergebnisse durch eine Lagerung bei Raumtemperatur nicht gegeben sind. Die nicht standardisierte Lagerung hatte demnach erste Einflüsse auf die späteren Ergebnisse. Für weitere Untersuchungen wird eine kühle, lichtgeschützte Lagerung empfohlen. Ein weiteres Problem ist, dass nichts darüber bekannt ist, wie die Kakaobuttersorten bei den jeweiligen Händlern gelagert werden. Dies könnte man eventuell herausfinden, bleibt jedoch vermutlich unbekannt. Mit einer standardisierten, kühlen Lagerung könnte man allerdings einige Messfehler beheben.

Weiterhin wurden sowohl Heiz- als auch Kühlrate zu hoch gewählt. Durch die hohen Raten konnten Schmelz- und Kristallisationsverhalten nicht optimal untersucht und analysiert werden. Die Kristallisationszeit beispielsweise liegt bei allen Proben bei wenigen Sekunden, da sie mit einer hohen Kühlrate abgeschreckt wurden. Bei niedrigeren Raten würden sicherlich Unterschiede in den Kristallisationszeiten auffällig werden. Außerdem könnten so die einzelnen Kristallformen besser kenntlich gemacht werden. Es wird eine Heiz- sowie Kühlrate von maximal 10K/min empfohlen (vgl. 3.4.5).

Die Masse von 20,00mg \pm 0,01mg ist, was den Einwiegeprozess angeht, eine akzeptable Masse. Auch für die Analysemethode ist die Masse groß genug gewählt, um auswertbare Ergebnisse zu erhalten. Mit größeren Tiegeln könnte man allerdings Massen von 40,00mg untersuchen. Diese Masse ist eventuell einfacher einzuwiegen und zeigt vermutlich genauere Ergebnisse.

Generell lässt sich sagen, dass DSC Messungen zur physikalischen Untersuchung von Kakaobutter geeignet sind. Die Handhabung dieses Gerätes ist einfach gehalten und die Untersuchungen sind sehr genau und standardisiert im Gerät.

4.7.3 Ergebnisse

In Anbetracht dessen, dass die verwendete Methodik an einigen Stellen nicht optimal gewählt wurde, ließen sich dennoch einige verwertbare Ergebnisse herausarbeiten.

Zum einen konnte der Kristallisationsverzug, wie er in der Literatur bereits erwähnt wurde (vgl. 3.4.5), nachgewiesen werden. Durch eine Lagerung bei Raumtemperatur im Sommer wichen die Ergebnisse der ersten Messung von denen der zweiten Messung ab, sodass bewiesen werden konnte, dass sich ein Kristallisationsverzug bei nicht gekühlter Lagerung bildet.

Des Weiteren konnten Unterschiede im Schmelzverhalten zwischen Bio-Kakaobutter und Nicht-Bio-Kakaobutter sowie verarbeiteter und nicht/ weniger verarbeiteter Kakaobutter erkennen. Insgesamt ließ sich hierbei feststellen, dass höhere Temperaturen sowie Schmelzwärmen benötigt werden, um verarbeitete und Bio-Kakaobutter zu schmelzen. Dies bedeutet, dass diese Kakaobutterproben eine höhere Qualität aufweisen, da sie in ihrer Konsistenz fester sind.

Diese Ergebnisse ließen sich, durch die verwendete Methodik, nicht optimal analysieren, jedoch weisen sie eine erste Richtung auf, mit der weiter untersucht werden kann.

5 Ausblick

Kakaobutter bestimmt das Schmelzverhalten sowie die Festigkeit der Schokolade und kann somit als wichtigste Zutat der Schokolade gesehen werden. Da Schokolade weltweit konsumiert und geliebt wird, ist die Kakaobutter ein wichtiges Produkt in der Lebensmittelbranche. So unterschiedlich die Qualität der Schokoladenprodukte ist, so unterschiedlich ist auch die Qualität der Kakaobutter, wie diese Arbeit gezeigt hat.

Die unterschiedlichen Qualitäten hängen von vielen verschiedenen Faktoren ab wie dem Herkunftsland des Kakaos, die Art der Ernte und Fermentation, dem Klima oder auch der Verarbeitungsform. Diese vielen verschiedenen Faktoren zu analysieren und in Bezug zur Qualität der Schokolade zu bringen ergeben die perfekte Kakaobutter. Diese hat ein Schmelzverhalten, welches die Schokolade im Mund schmelzen lässt, in den Fingern allerdings nicht. Hinzu kommt die perfekte Festigkeit mit dem richtigen Knack.

Aus dem Grund, dass Kakaobutter größtenteils aus Fett besteht, hängen diese Eigenschaften alle von der Fettzusammensetzung der Kakaobutter ab. Hierbei gibt es viele verschiedene Arten, wie die Fett zusammengesetzt sein können. Die Arbeit hat diese verschiedenen Arten untersucht und aufgezeigt.

Da Kakaobutter aus Kakao, einem Naturprodukt, stammt, gibt es auch bereits einige Alternativen zur Kakaobutter. Diese versuchen, die Eigenschaften von Kakaobutter nachzumachen und zu verbessern, da in der industriellen Herstellung Produkte weniger Schwankungen möglich sind, als in Naturprodukten.

Kakaobutter ist aber nicht nur in der Schokoladenherstellung wichtig. Auch in der Kosmetik und Medizin ist Kakaobutter vielseitig einsetzbar. So zeigt sich, dass Kakaobutter ein wichtiges Produkt auch in anderen Bereichen des Lebens und von wichtiger wirtschaftlicher Bedeutung ist.

DSC Messungen zu Kakaobutter gibt es in der Literatur wenige, und die vorhandenen sind oft einige Jahre alt. Hier könnte man mit mehr Untersuchungen zu verschiedenen Themen die Kakaobutter sicherlich besser analysieren und Charakte-

ristika zwischen unterschiedlichen Merkmalen feststellen. Somit könnten die verschiedenen Eigenschaften der Kakaobutter noch besser genutzt werden.

Die Arbeit hat einige Untersuchungen zu Kakaobutter durchgeführt und gezeigt, wie unterschiedlich das Schmelz- sowie Kristallisationsverhalten von unterschiedlichen Kakaobuttersorten sein kann. Hierbei zeigten verarbeitete Proben sowie Bio-Proben insgesamt bessere Ergebnisse. Hierauf aufbauend könnten die Proben noch chemisch analysiert werden, sodass das Schmelz- sowie Kristallisationsverhalten in Bezug mit der Fettzusammensetzung der Proben gesetzt werden kann.

Die gewählte Methodik sollte aufbauend auf diese Arbeit verbessert werden, sodass genauere Ergebnisse erzielt werden können.

Zuletzt zeigte die Arbeit, dass Kakaobutter kühl gelagert werden sollte, um Änderungen an ihren physikalischen Eigenschaften durch ungewolltes Aufschmelzen zu vermeiden.

Zusammenfassung

Schokolade ist weltweit ein beliebtes Lebensmittel und wird in den verschiedensten Variationen hergestellt und verwendet. Ein wichtiger Bestandteil der Schokolade ist die Kakaobutter. Im ersten Teil dieser Arbeit werden die Eigenschaften von Kakaobutter erläutert, hierbei wird vor allem auf die Fettzusammensetzung und das damit zusammenhängende Schmelzverhalten eingegangen. Dabei wird gezeigt, dass Kakaobutter größtenteils aus bestimmten Triglyceriden besteht, die in unterschiedlicher Gewichtung vorhanden sind. Außerdem wirken sich vor allem ungesättigte Fettsäuren negativ auf das Schmelz- und Kristallisationsverhalten aus.

Im zweiten Teil der Arbeit folgen DSC Messungen zu zehn verschiedenen Kakaobutterproben. Der Praxisteil hat zeigt, dass es einen Unterschied im Schmelz- und Kristallisationsverhalten zwischen Bio-Kakaobutter und Nicht-Bio-Kakaobutter, sowie desodoriertes und nicht desodoriertes und schwarzes und weißes Kakaobutter gibt. Demnach zeigt unverarbeitete Kakaobutter ein anderes Schmelz- und Kristallisationsverhalten auf als verarbeitete Kakaobutter. Hierbei schmilzt unverarbeitete Kakaobutter bereits bei niedrigeren Temperaturen, was auf eine minderwertigere Qualität hinweist.

Literaturverzeichnis

- Alfred Ritter GmbH & Co. KG. (o.J.). *Conchieren*. (A. R. KG, Herausgeber) Abgerufen am 30. August 2018 von SO GEWINNT DIE SCHOKOLADENMASSE AN KLASSE.: <https://www.ritter-sport.de/de/anbau-herstellung/Conchieren-So-gewinnt-die-Schokoladenmasse-an-Klasse-RITTER-SPORT/>
- Alfred Ritter GmbH & Co. KG. (o.J.). *Temperieren*. (A. R. KG, Herausgeber) Abgerufen am 30. August 2018 von NICHT ZU WARM UND NICHT ZU KALT: <https://www.ritter-sport.de/de/anbau-herstellung/Schokolade-Temperieren-Nicht-zu-warm-und-nicht-zu-kalt-RITTER-SPORT/>
- Behlau, L., & Widmann, G. (o. J.). *Kakaobutter thermisch charakterisieren*. Freising; Schwerzenbach: Mettler Toledo.
- Belitz, H.-D., Grosch, W., & Schieberle, P. (2017). *Lehrbuch der Lebensmittelchemie* (Bd. 6). Berlin Heidelberg: Springer. Abgerufen am 28. August 2018
- Breuninger. (o.J.). *Kakaobutter in der Kosmetik*. (Breuninger, Herausgeber) Abgerufen am 30. August 2018 von <https://www.breuninger.com/editorial/hautpflege/inhaltsstoffe/kakaobutter/>
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. (5. August 2011). *Neufassung der Leitsätze für Speisefette und Speiseöle*. (B. f. Landwirtschaft, Herausgeber) Abgerufen am 7. November 2018 von https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Ernaehrung/Lebensmittelbuch/Leitsaetze_Speisefette.pdf;jsessionid=F82D228B8127C5432B9E9429B16C1E3E.2_cid296?__blob=publicationFile
- Ebermann, R., & Elmadfa, I. (2011). *Lehrbuch Lebensmittelchemie und Ernährung* (Bd. 2). Wien: Springer. Abgerufen am 4. August 2018
- Edelmond Chocolatiers. (o.J.). *Schwarze Kakaobutter, Roh - 250g, Bio*. (E. Chocolatiers, Herausgeber) Abgerufen am 28. August 2018 von <https://edelmond-shop.de/schwarze-kakaobutter-roh-250g-bio>
- Fincke, H. (1965). *Handbuch der Kakaoverzeugnisse*. Berlin: Springer. Abgerufen am 5. August 2018
- Foubert, I., Vanrolleghem, P. A., & Dewettinck, K. (22. September 2002). A differential scanning calorimetry method to determine the isothermal crystallization kinetics of cocoa butter. (E. Science, Hrsg.) *Thermochimica Acta*. Abgerufen am 9. September 2018
- Foubert, I., Vanrolleghem, P., Thas, O., & Dewettinck, K. (2004). *Influence of Chemical Composition on the Isothermal Cocoa Butter Crystallization*. Institute of Food Technologists. JOURNAL OF FOOD SCIENCE. Abgerufen am 4. August 2018
- Hänsel, R., & Sticher, O. (2010). *Pharmakognosie Phytopharmazie* (Bd. 9). Heidelberg: Springer. Abgerufen am 4. August 2018
- Jahurul, M., Zaidul, I., Norulaini, N., Sahena, F., Jinap, S., Azmir, J., . . . Mohd Omar, A. (2013). *Cocoa butter fats and possibilities of substitution in food products concerning cocoa varieties, alternative sources, extraction methods, composition, and characteristics*. Elsevier. Journal of Food Engineering. Abgerufen am 31. August 2018

- Kaden, M. (15. Oktober 2013). *Kakao: Speise der Götter*. (Heilpflanze.org, Herausgeber) Abgerufen am 4. August 2018 von <https://www.heilpflanze.org/kakao-speise-der-goetter/>
- Kaiser, G., Schmölzer, S., Straßer, C., Pohland, S., & Turan, S. (2015). *Handbuch DSC*. Selb, Deutschland: NETZSCH-Gerätebau GmbH.
- Kattenberg, H. (o.J.). Qualität der Schokolade hängt von der Kakaobutter ab. Abgerufen am 30. August 2018
- Kerti, K. (1998). *THERMAL ANALYSIS OF COCOA BUTIER AND COCOA BUTTER ALTERNATIVES CRYSTALLISATION USING DSC METHOD*. Budapest, Hungary. Abgerufen am 9. September 2018
- Klagge, P., & Sen Gupta, A. (1990). Kakaobutter und ihre Alternativen für Schokoladenprodukte. (N. Ö. AG, Hrsg.) *Fat Sci. Technol.* Abgerufen am 30. August 2018
- Kodre, K., Attarde, S., Yendhe, P., Patil, R., & Barge, V. (2014). *Differential Scanning Calorimetry: A Review*. Maharashtra, India: Research & Reviews: Journal of Pharmaceutical Analysis. Abgerufen am 8. September 2018 von <http://www.rroij.com/open-access/differential-scanning-calorimetry-a-review-.php?aid=34700>
- Krist, S. (2013). *Lexikon der pflanzlichen Fette und Öle* (Bd. 2). Wien: Springer. Abgerufen am 28. August 2018
- Lechner, M., Gehrke, K., & Nordmeier, E. (2014). *Makromolekulare Chemie* (Bd. 5). Berlin: Springer. Abgerufen am 25. Mai 2018
- Lipp, M., & Anklam, E. (1997). *Review of cocoa butter and alternative fats for use in chocolate - Part A*. Ispra, Italy: Elsevier Science. Abgerufen am 31. August 2018
- Miedaner, T. (2018). *Genusspflanzen*. Stuttgart: Springer. Abgerufen am 4. August 2018
- NETZSCH-Gerätebau GmbH. (o.J.). *DSC 214 Polyma*. (N.-G. GmbH, Herausgeber) Abgerufen am 3. August 2018 von Die Systemlösung zur effizienten Charakterisierung polymerer Werkstoffe: <https://www.netzsch-thermal-analysis.com/de/produkte-loesungen/dynamische-differenzkalorimetrie-differenz-thermoanalyse/dsc-214-polyma/>
- Nook Marketing Corp. (o.J.). *Kakaobutter – für geschmeidige und gepflegte Haut*. (N. M. Corp., Herausgeber) Abgerufen am 30. August 2018 von Verwendung von Kakaobutter in der Pharmazie: <https://www.kakao-butter.de/>
- Platthaus, M. (29. August 2007). *Moderne Dynamische Differenzkalorimetrie in Pharma und Biotechnologie*. (LABORPRAXIS, Herausgeber) Abgerufen am 8. September 2018 von Thermische Analyse: <https://www.laborpraxis.vogel.de/moderne-dynamische-differenzkalorimetrie-in-pharma-und-biotechnologie-a-105327/>
- Reketat, A. (30. Januar 2018). *Kakaobutter: Anwendung und Wirkung auf Haut und Haare*. (U. GmbH, Herausgeber) Abgerufen am 30. August 2018 von Kakaobutter in der Kosmetik: Wo findet sie Anwendung?: <https://utopia.de/ratgeber/kakaobutter-anwendung-und-wirkung-auf-haut-und-haare/>
- Schatz, J. (2017). *Übungsbuch Chemie für Mediziner*. Berlin: Springer. Abgerufen am 5. August 2018

Soeters, C. J. (1970). *Das physikalische Verhalten und die chemische Zusammensetzung von Schokolade, Kakaobutter und einigen Kakaobutter-Austauschfetten*. Betuwe - Holland: Fette Seifen Anstrichmittel. Abgerufen am 5. August 2018

Ziegleder, G. (Januar 1990). DSC-Thermoanalyse und Kinetik der Kristallisation von Kakaobutter. *Fat Sci. Technol.* Abgerufen am 9. September 2018

Rechtsquellenverzeichnis

Kakaoverordnung vom 15. Dezember 2003 (BGBl. I S. 2738), die zuletzt durch Artikel 9 der Verordnung vom 5. Juli 2017 (BGBl. I S. 2272) geändert worden ist, zuletzt geändert durch Art. 9 V v. 5.7.2017 I 2272

Anhang

Inhaltsverzeichnis

1	DSC Messungen.....	2
---	--------------------	---

Abbildungsverzeichnis

<i>Diagramm 1: Ganze Messung Rapunzel.....</i>	<i>2</i>
<i>Diagramm 2: Ganze Messung Alnatura</i>	<i>3</i>
<i>Diagramm 3: Ganze Messung Stübener Kräutergarten</i>	<i>4</i>
<i>Diagramm 4: Ganze Messung Pacari</i>	<i>5</i>
<i>Diagramm 5: Ganze Messung Terra Elements</i>	<i>6</i>
<i>Diagramm 6: Ganze Messung Edelmond weiß.....</i>	<i>7</i>
<i>Diagramm 7: Ganze Messung Edelmond schwarz</i>	<i>8</i>
<i>Diagramm 8: Ganze Messung Casa Luker</i>	<i>9</i>
<i>Diagramm 9: Ganze Messung LaVita</i>	<i>10</i>
<i>Diagramm 10: Ganze Messung Spinnrad</i>	<i>11</i>
<i>Diagramm 11: Messung A (grün) vs. B (lila), Rapunzel</i>	<i>12</i>
<i>Diagramm 12: Messung A (grün) vs. B (lila), Alnatura</i>	<i>13</i>
<i>Diagramm 13: Messung A (grün) vs. B (lila), Stübener Kräutergarten</i>	<i>14</i>
<i>Diagramm 14: Messung A (grün) vs. B (lila), Pacari</i>	<i>15</i>
<i>Diagramm 15: Messung A (grün) vs. B (lila), Terra Elements.....</i>	<i>16</i>
<i>Diagramm 16: Messung A (grün) vs. B (lila), Edelmond weiß</i>	<i>17</i>
<i>Diagramm 17: Messung A (grün) vs. B (lila), Edelmond schwarz</i>	<i>18</i>
<i>Diagramm 18: Messung A (grün) vs. B (lila), Casa Luker.....</i>	<i>19</i>
<i>Diagramm 19: Messung A (grün) vs. B (lila), LaVita.....</i>	<i>20</i>
<i>Diagramm 20: Messung A (grün) vs. B (lila), Spinnrad.....</i>	<i>21</i>

1 DSC Messungen

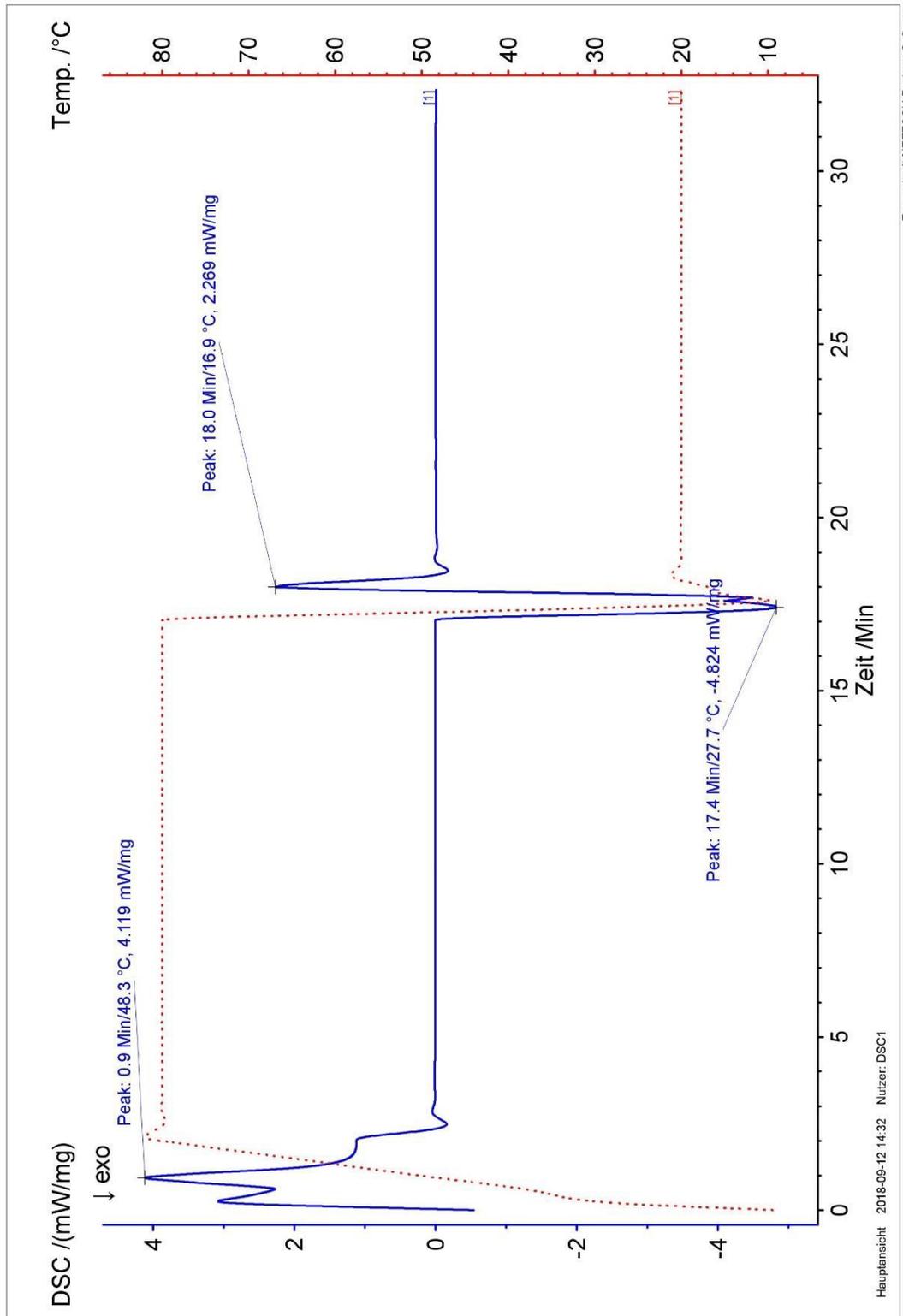


Diagramm 1: Ganze Messung Rapunzel

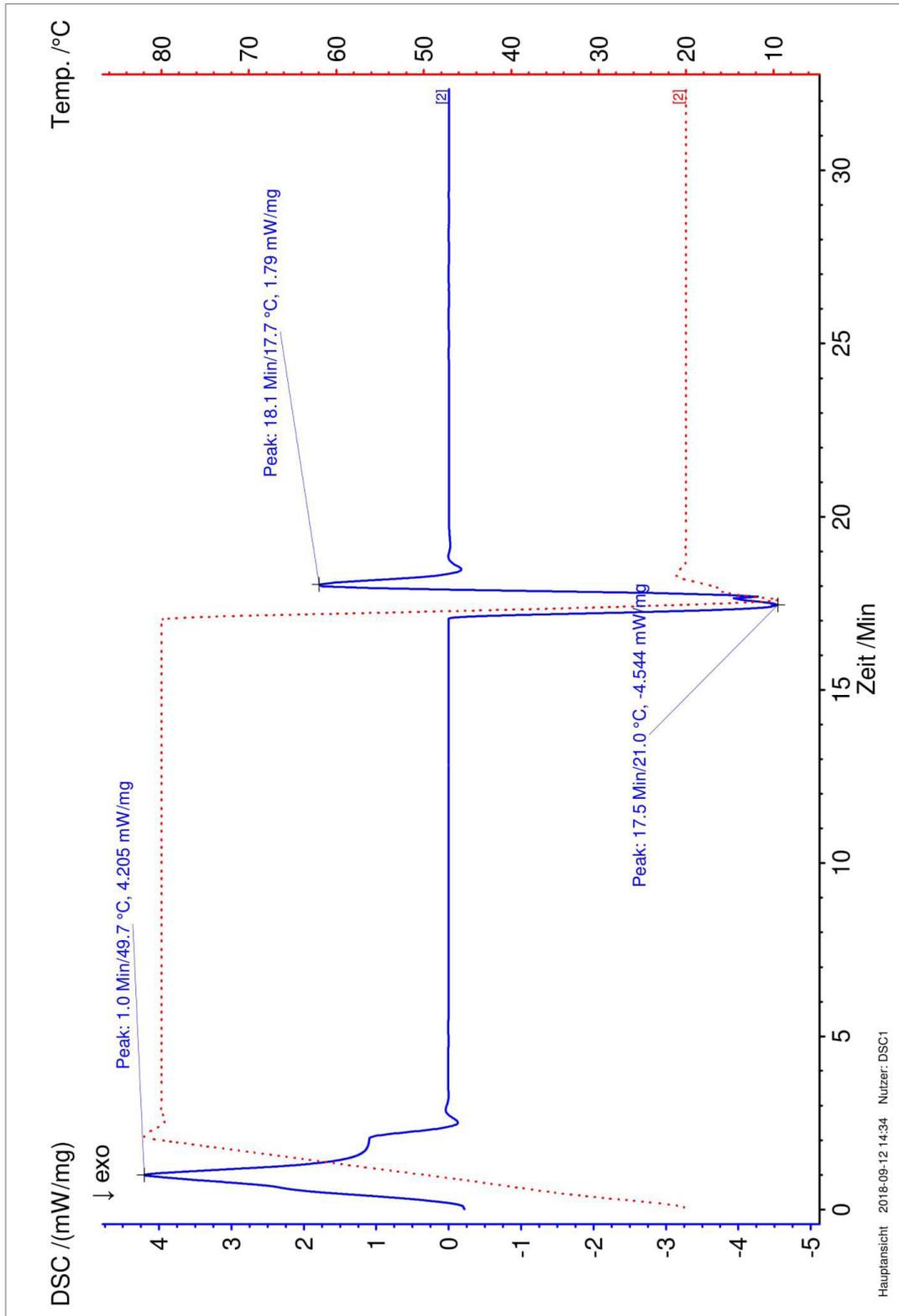


Diagramm 2: Ganze Messung Alnatura

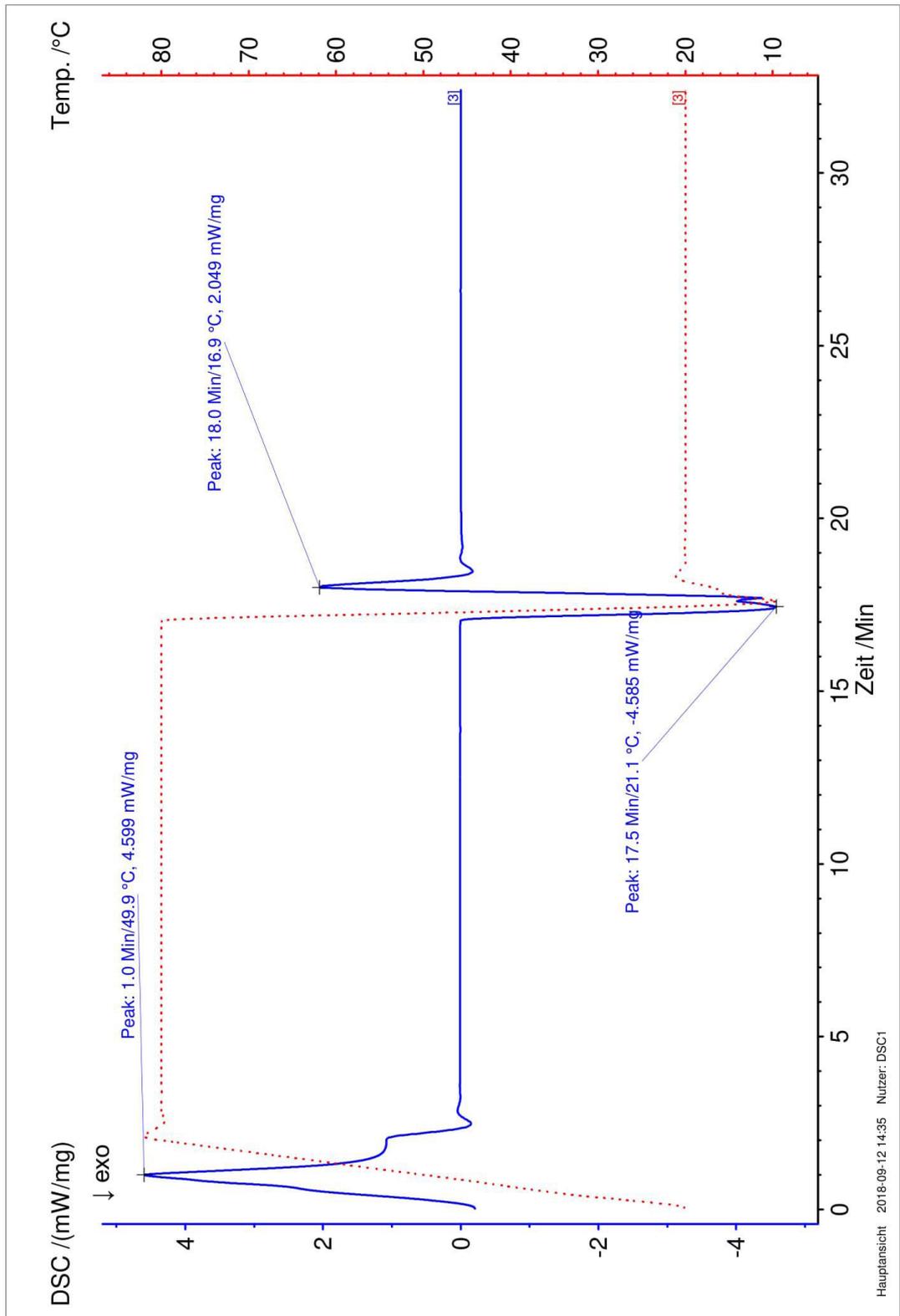


Diagramm 3: Ganze Messung Stübener Kräutergarten

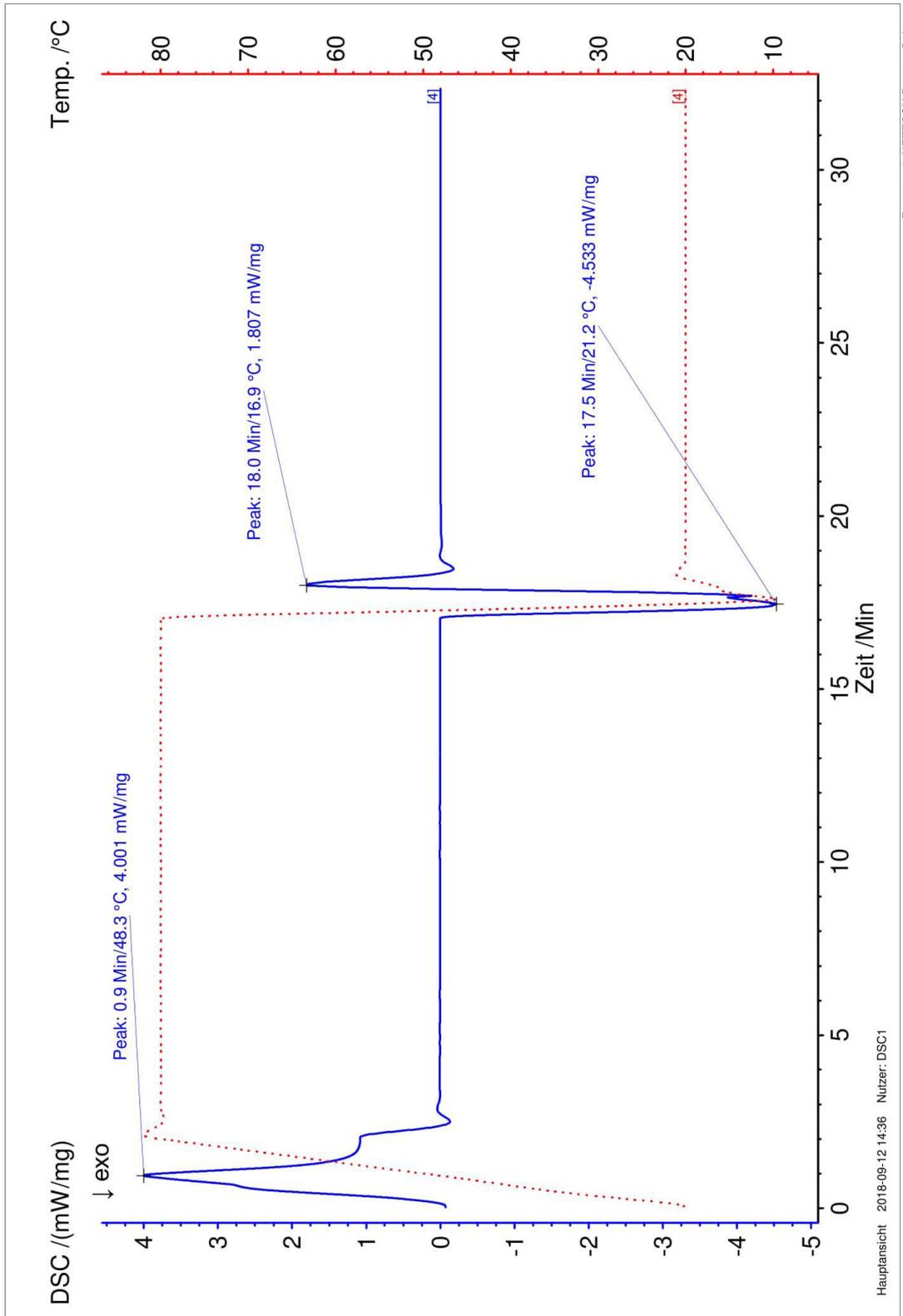


Diagramm 4: Ganze Messung Pacari

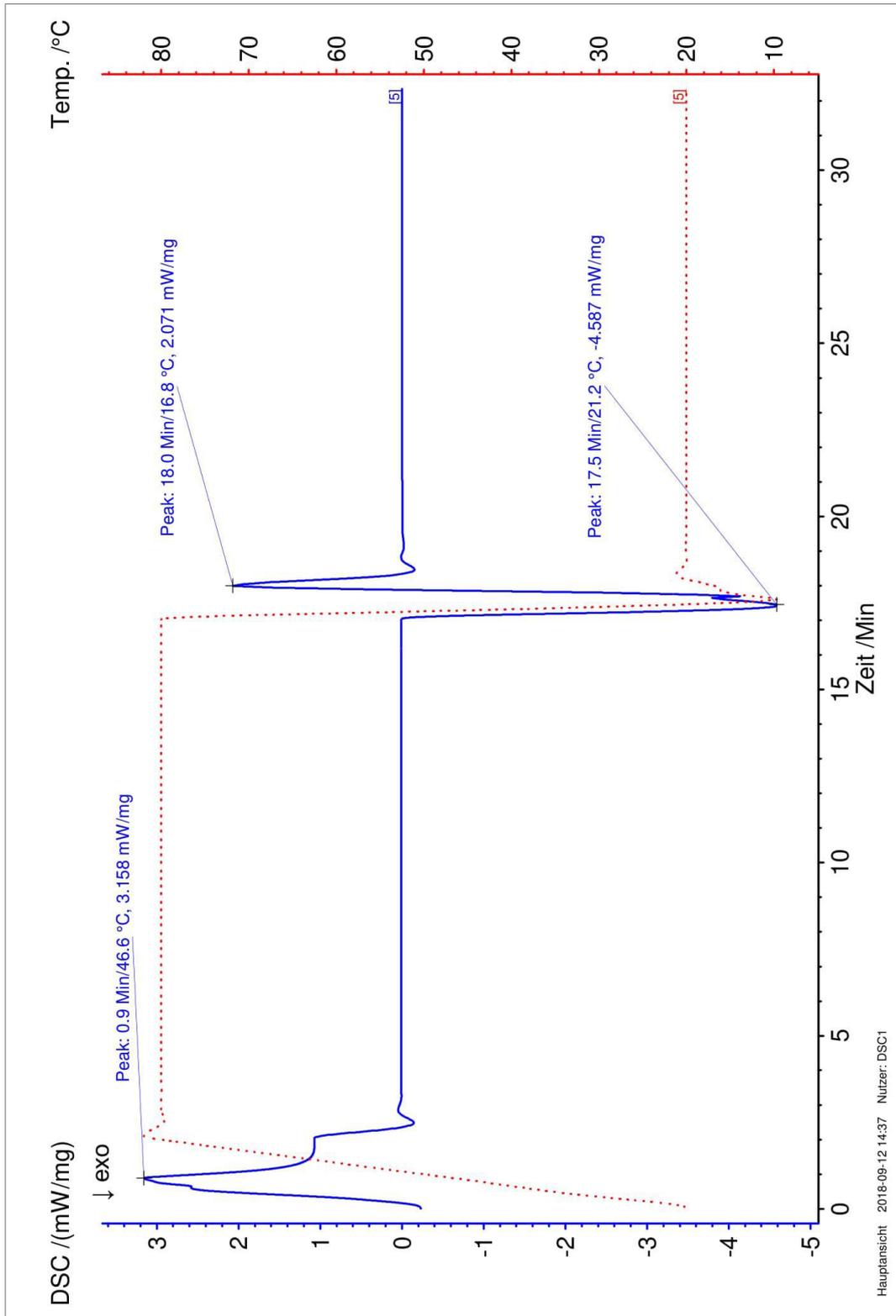


Diagramm 5: Ganze Messung Terra Elements

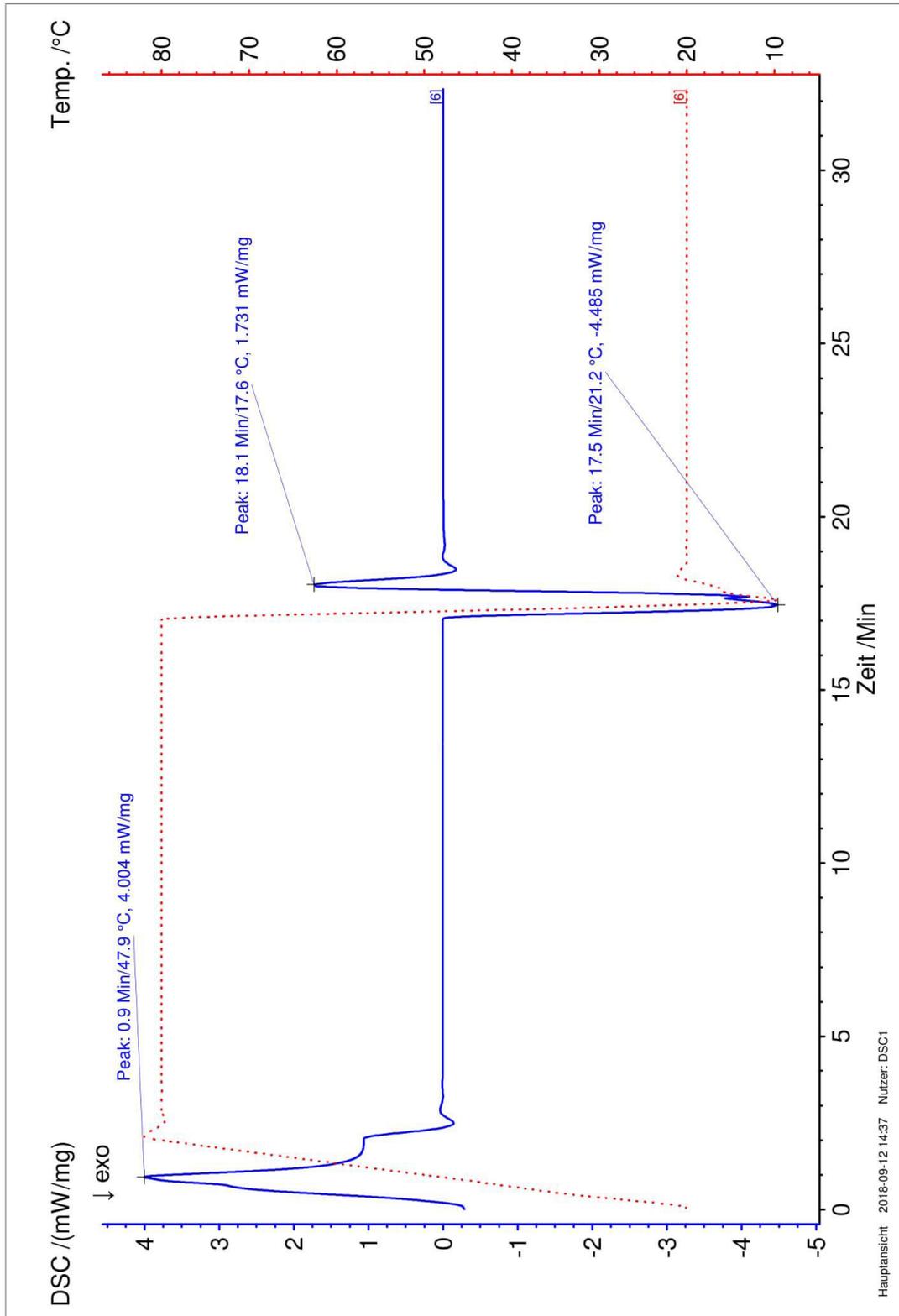


Diagramm 6: Ganze Messung Edelmetall weiß

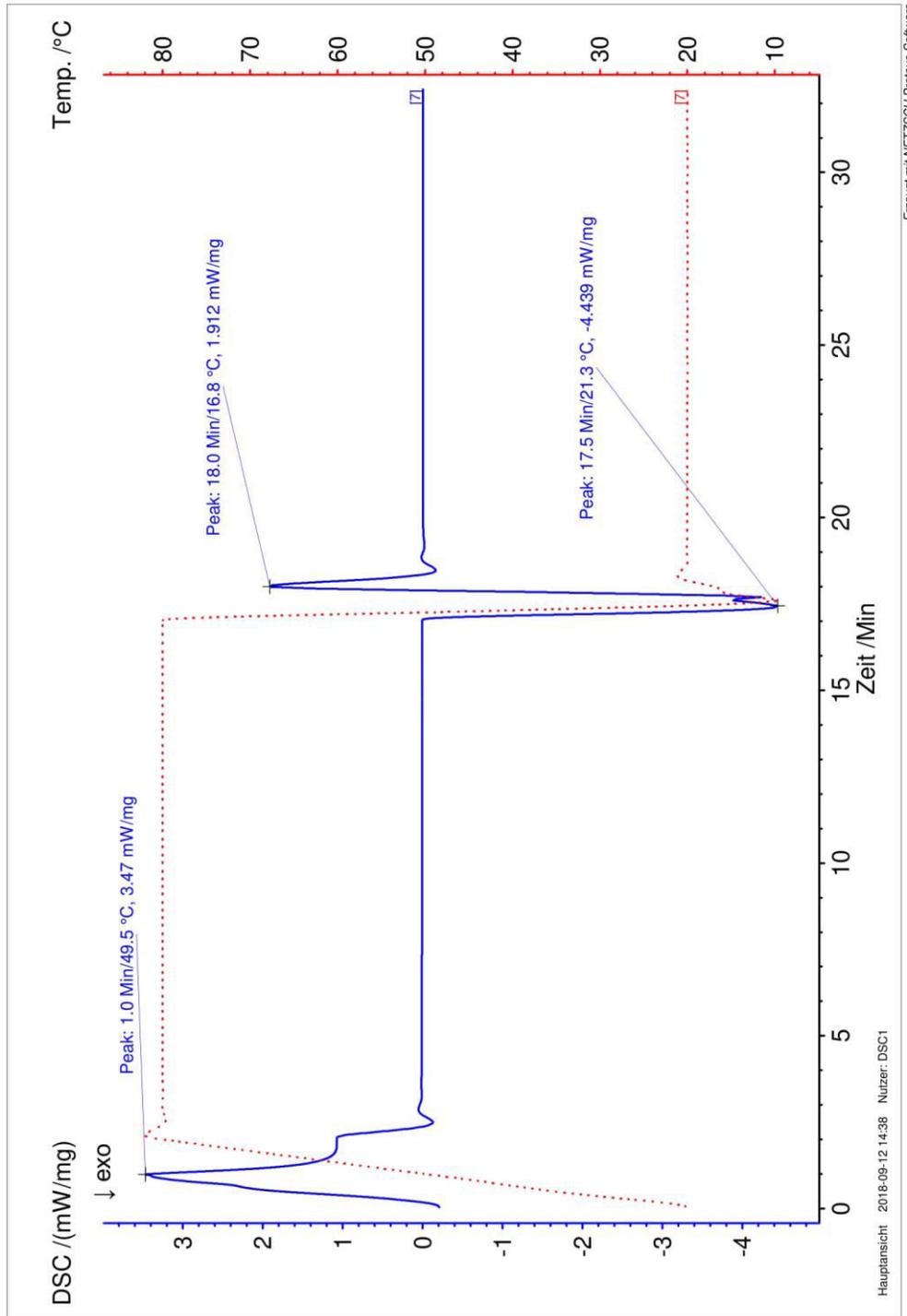
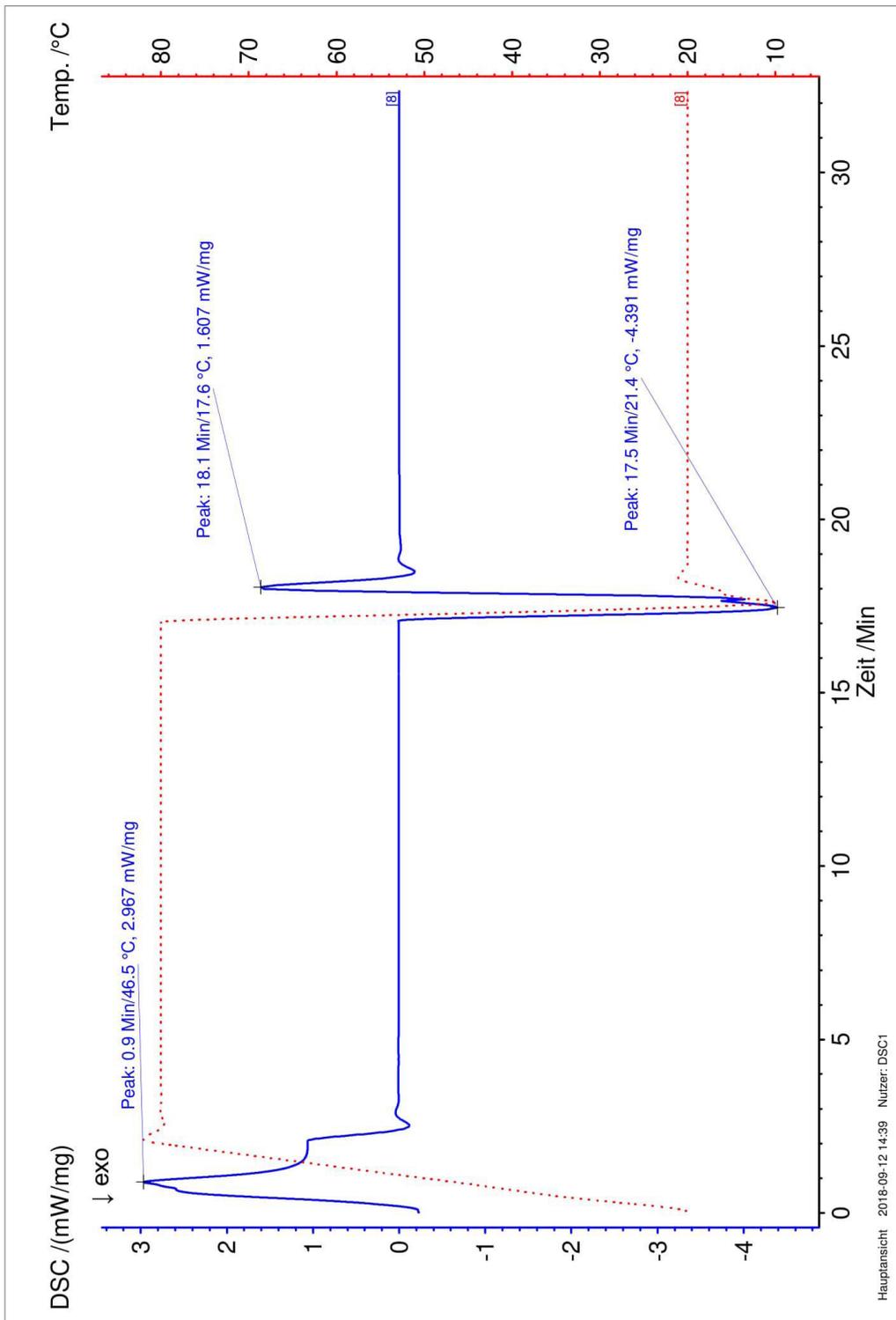


Diagramm 7: Ganze Messung Edelmond schwarz



Erzeugt mit NETZSCH Proteus Software

Diagramm 8: Ganze Messung Casa Luker

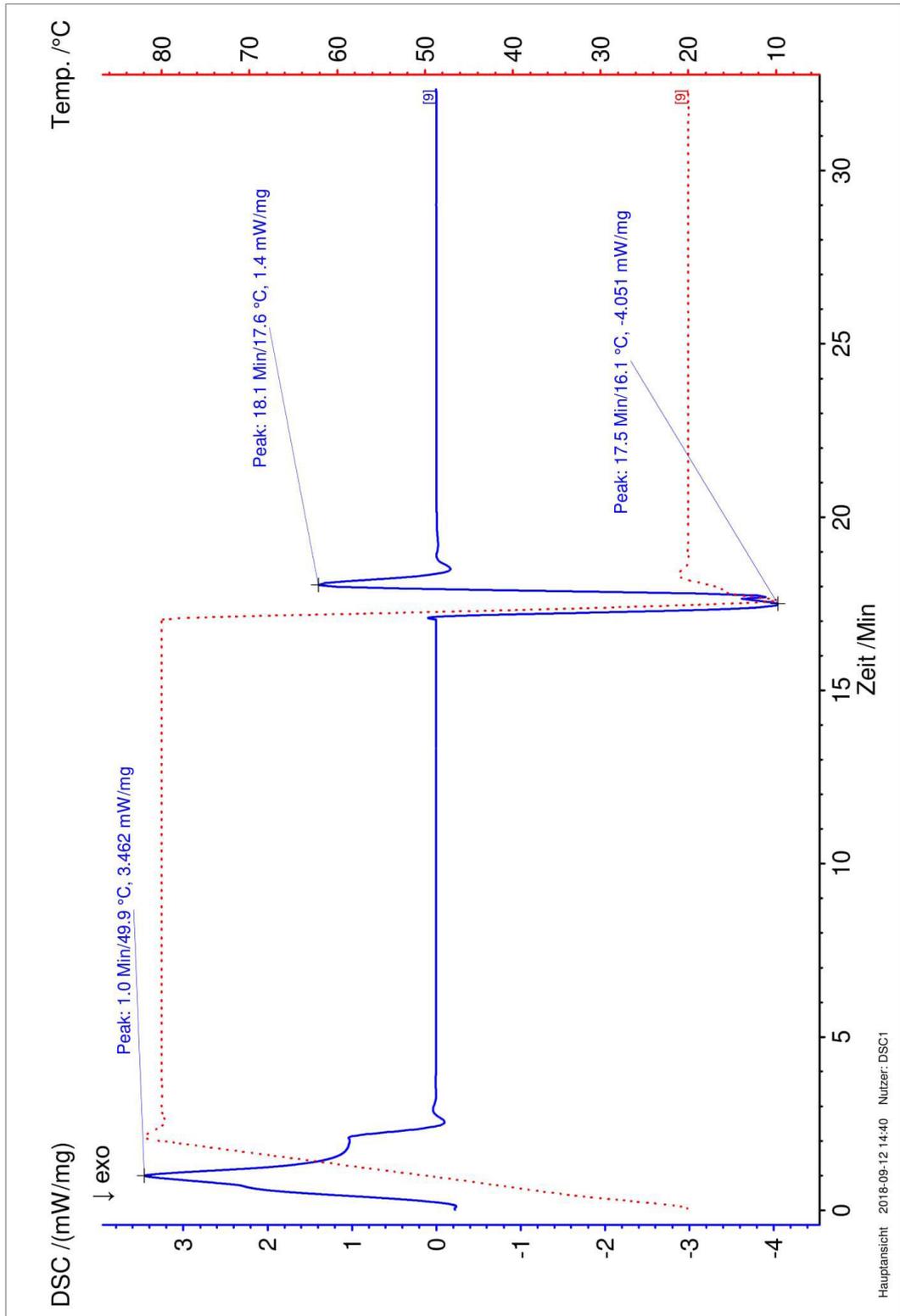


Diagramm 9: Ganze Messung LaVita

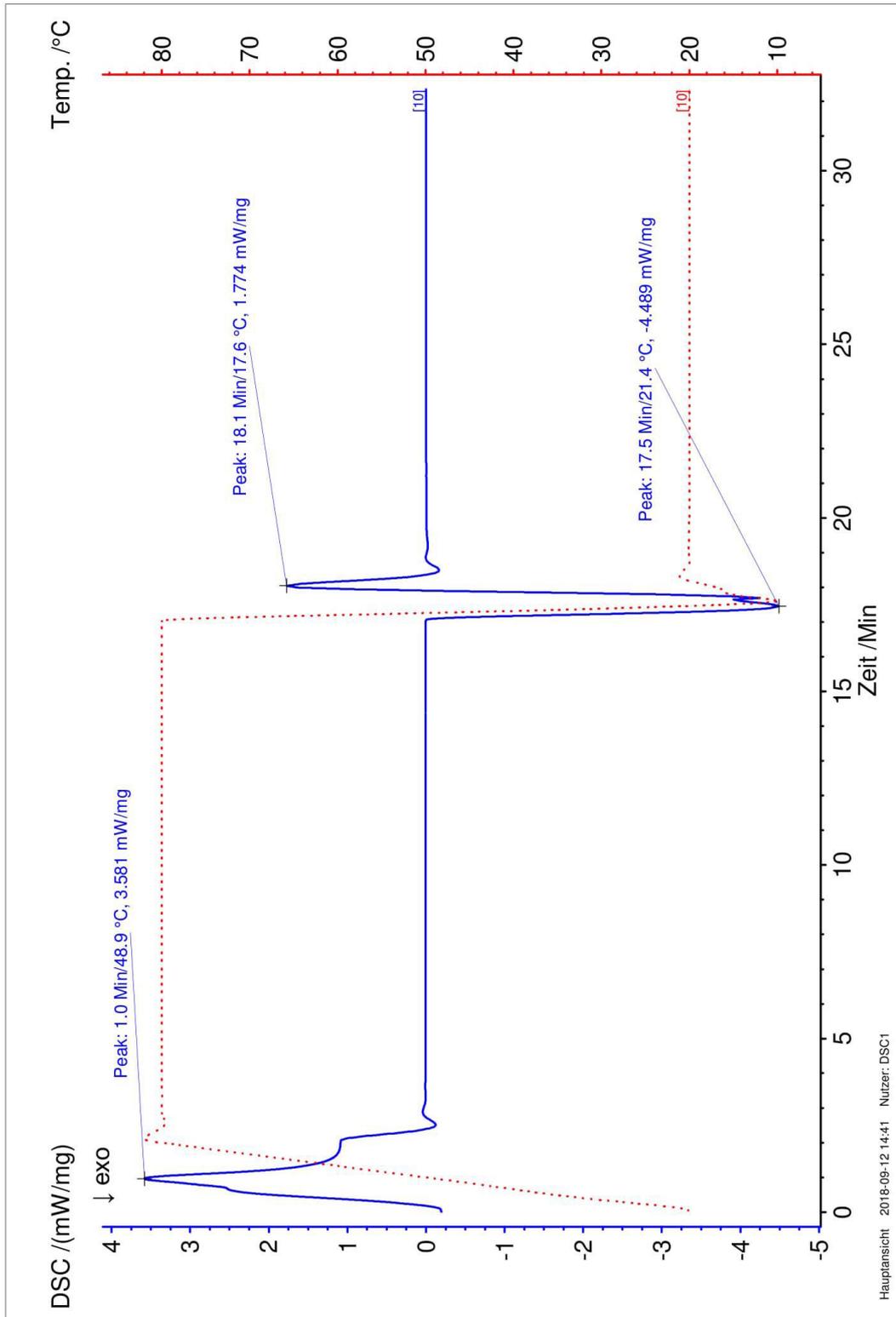


Diagramm 10: Ganze Messung Spinnrad

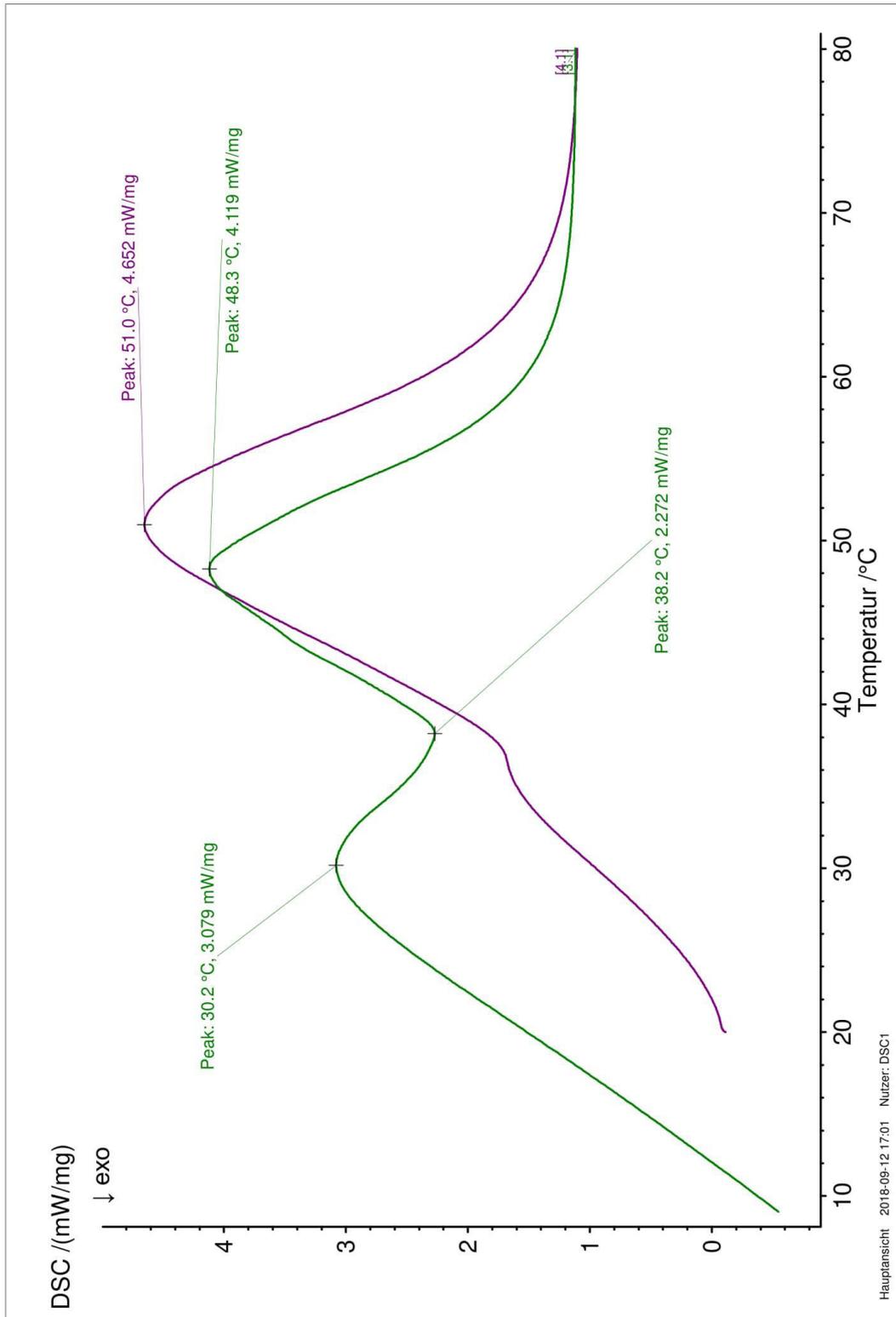


Diagramm 11: Messung A (grün) vs. B (lila), Rapunzel

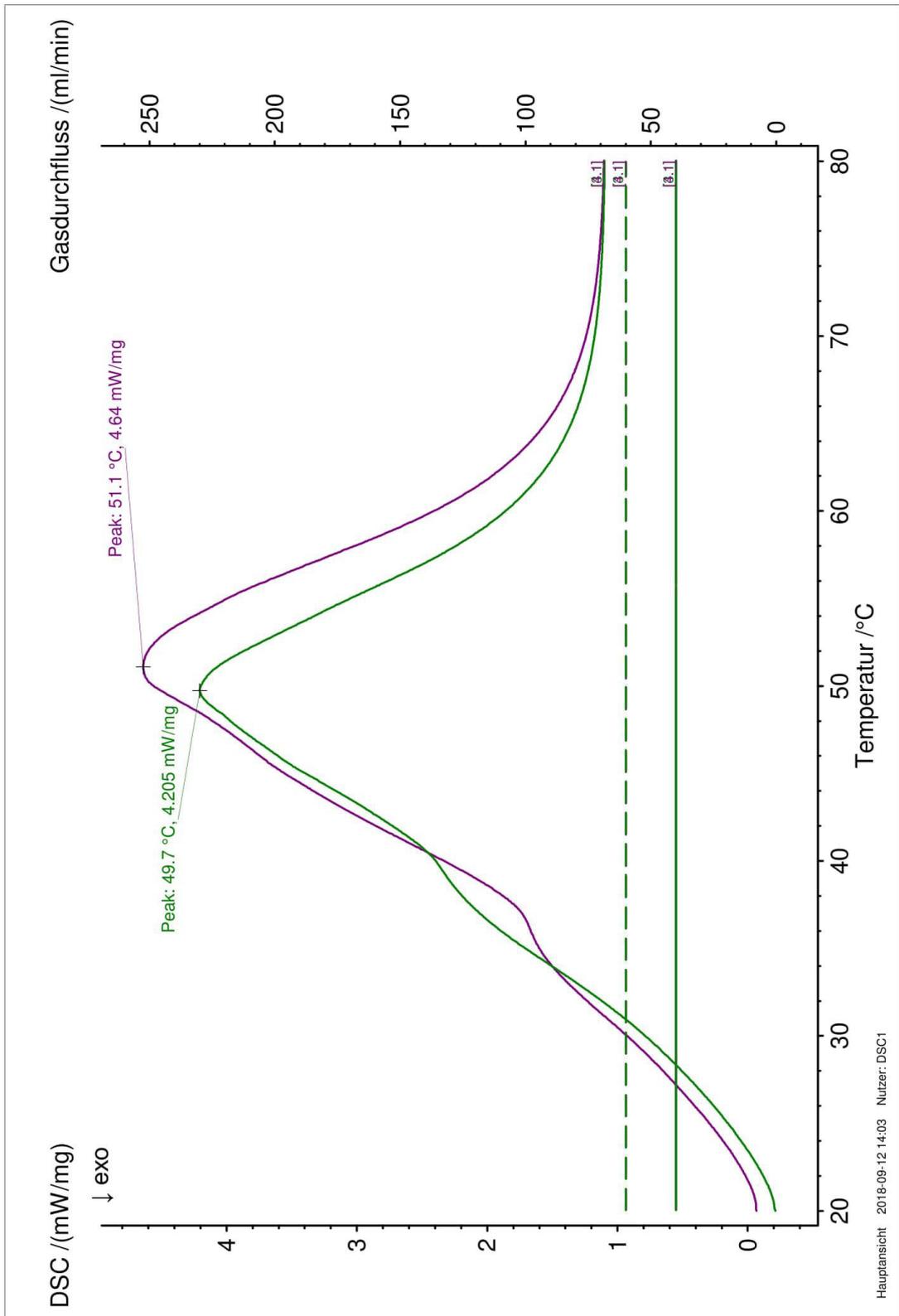


Diagramm 12: Messung A (grün) vs. B (lila), Alnatura

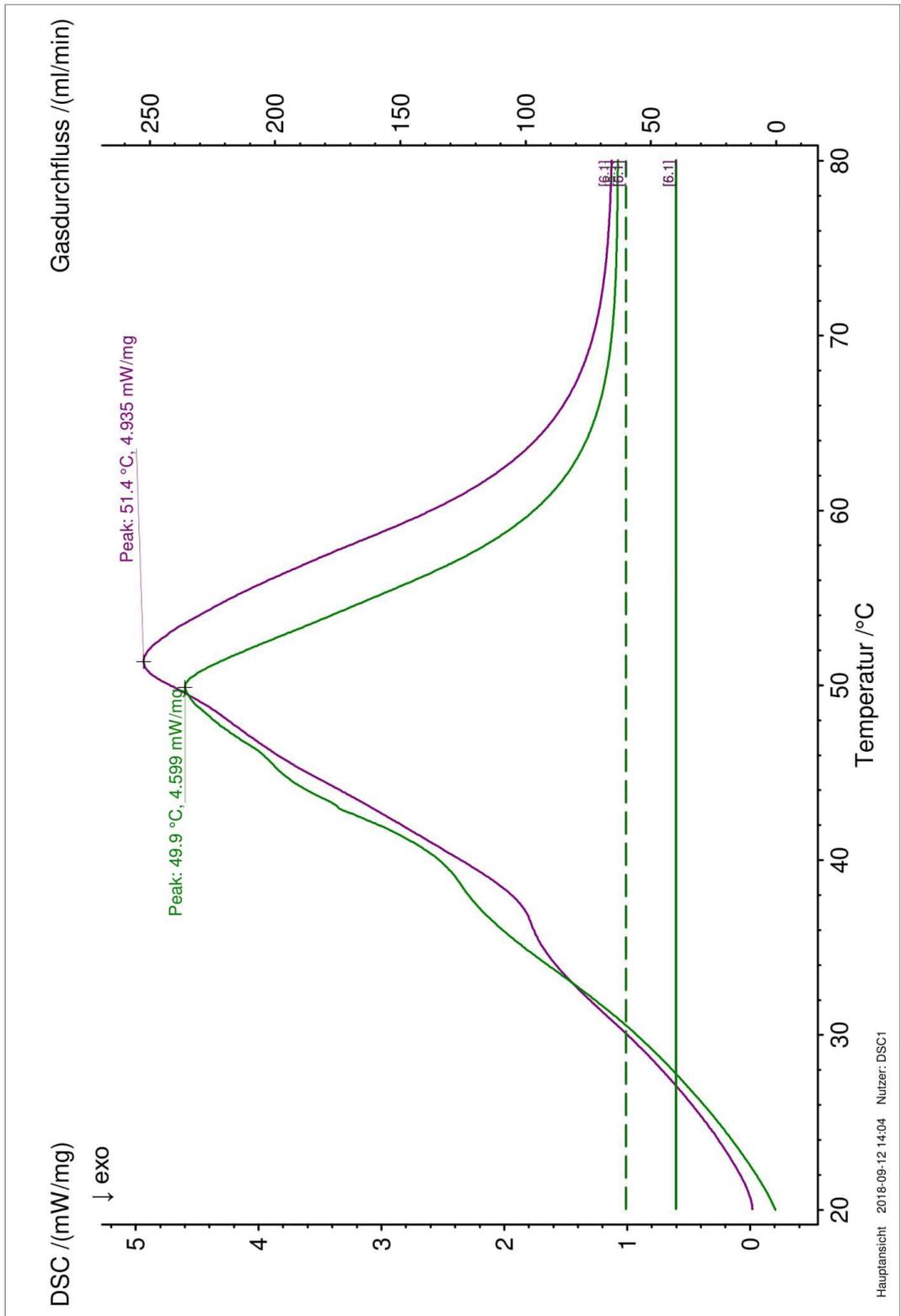
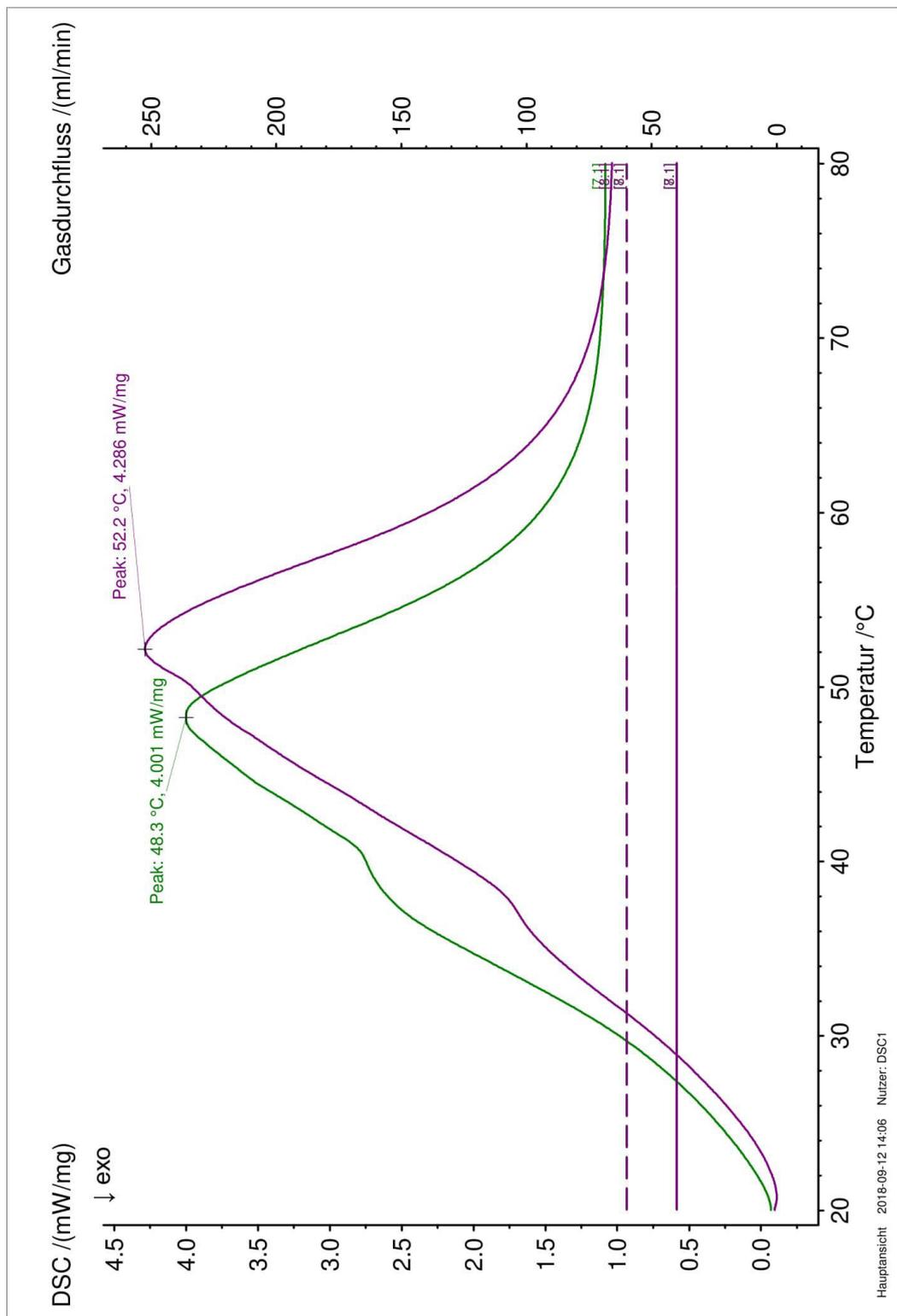


Diagramm 13: Messung A (grün) vs. B (lila), Stübener Kräutergarten



Hauptansicht 2018-09-12 14:06 Nutzer: DSC1

Erzeugt mit NETZSCH Proteus Software

Diagramm 14: Messung A (grün) vs. B (lila), Pacari

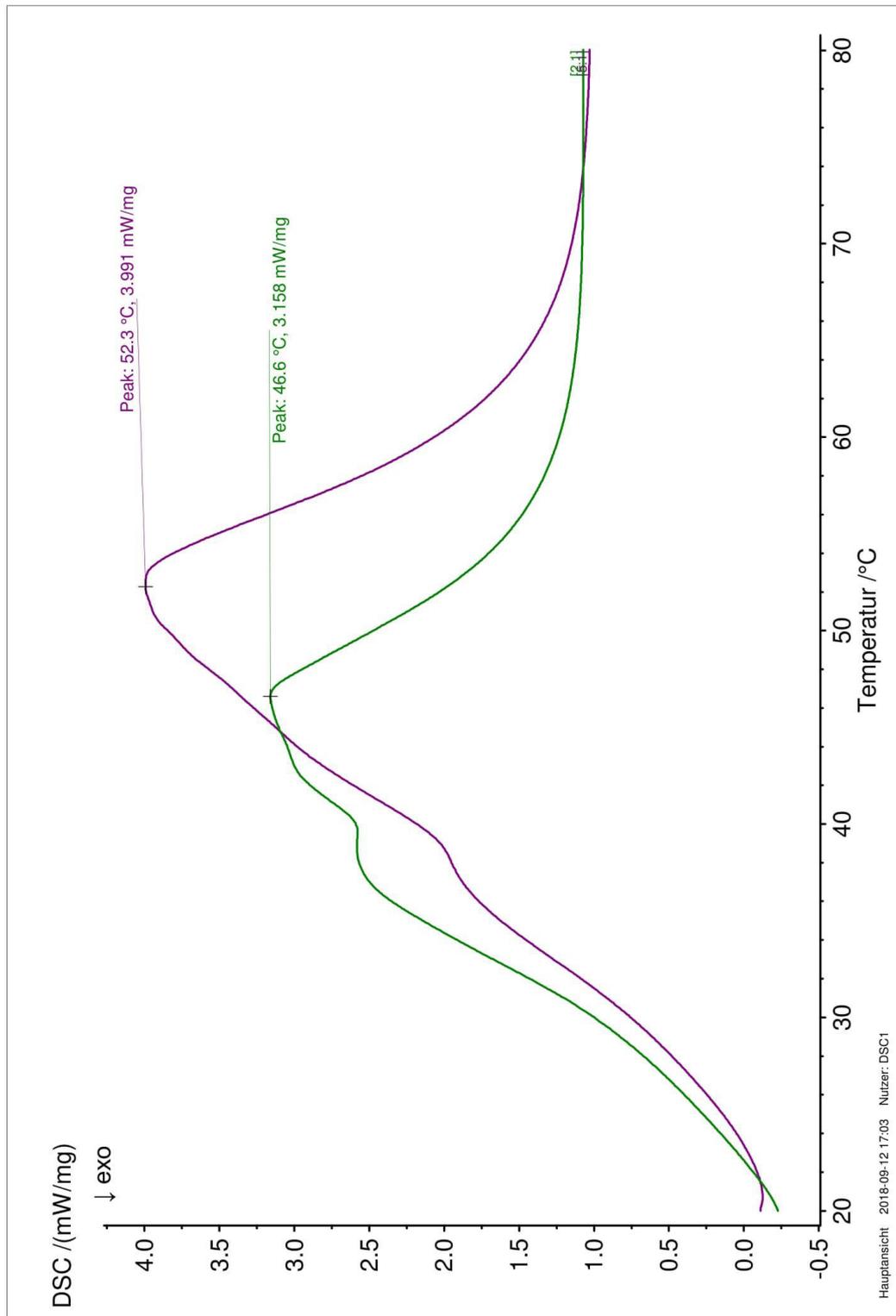


Diagramm 15: Messung A (grün) vs. B (lila), Terra Elements

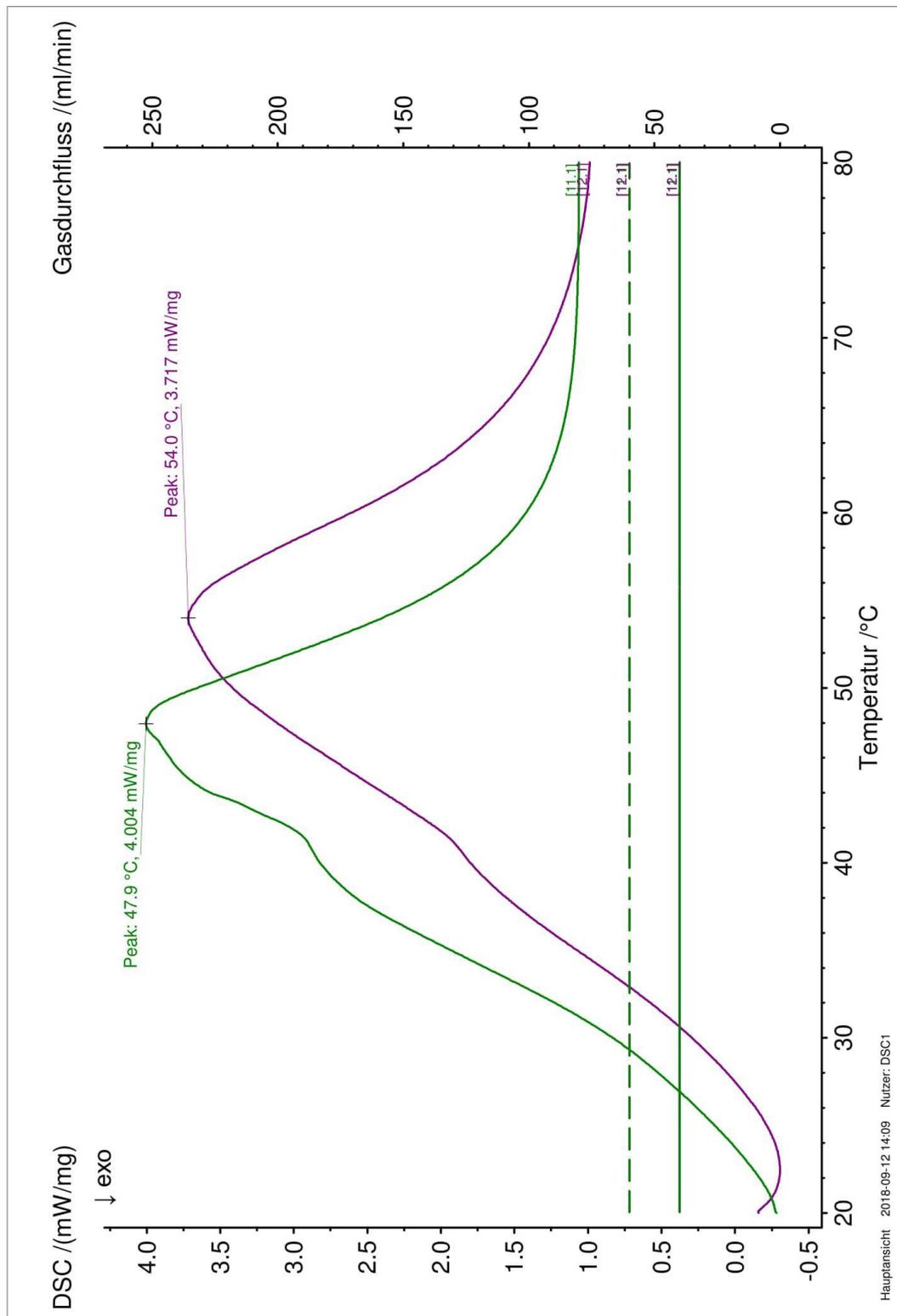


Diagramm 16: Messung A (grün) vs. B (lila), Edelmetall weiß

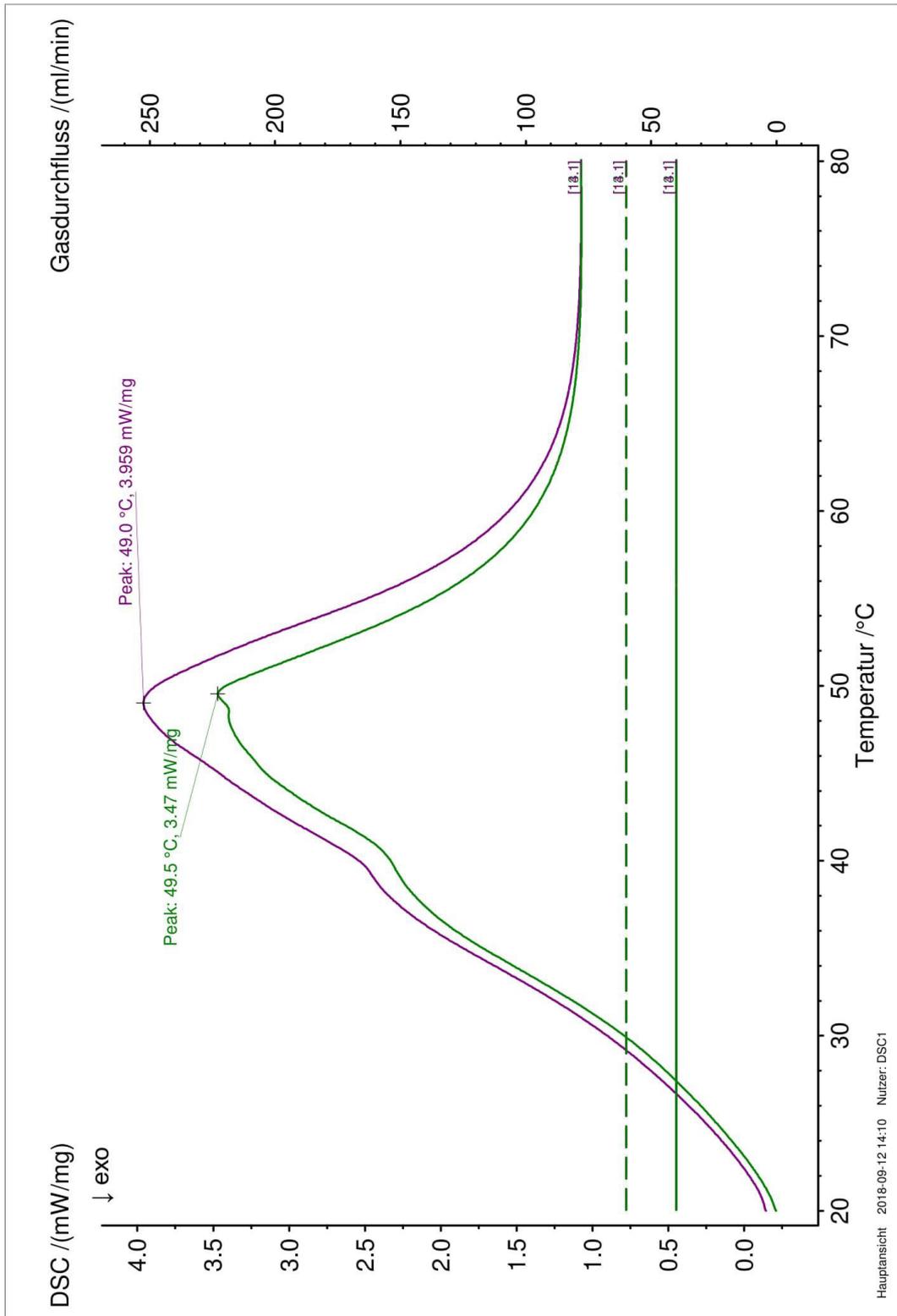


Diagramm 17: Messung A (grün) vs. B (lila), Edelmond schwarz

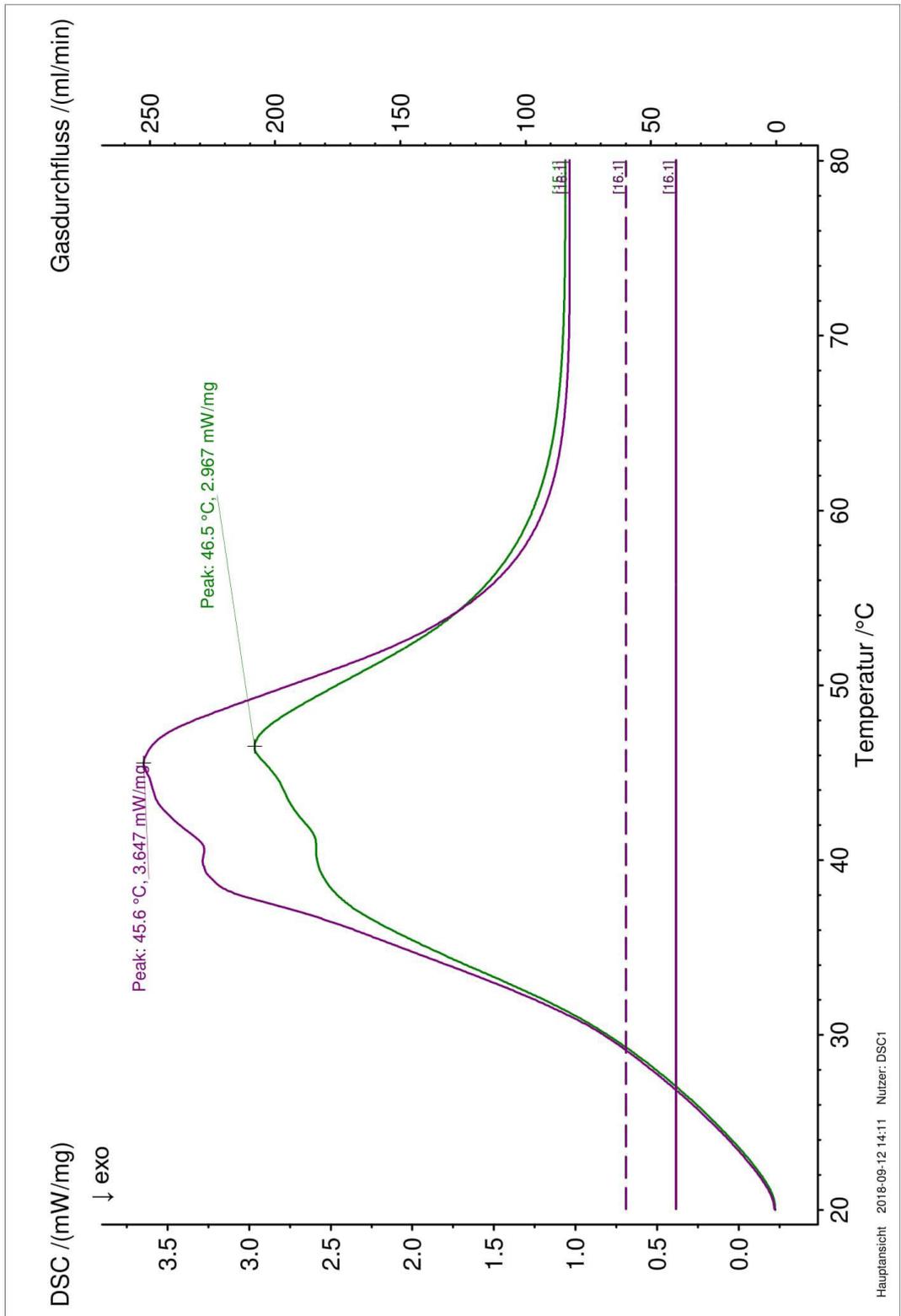


Diagramm 18: Messung A (grün) vs. B (lila), Casa Luker

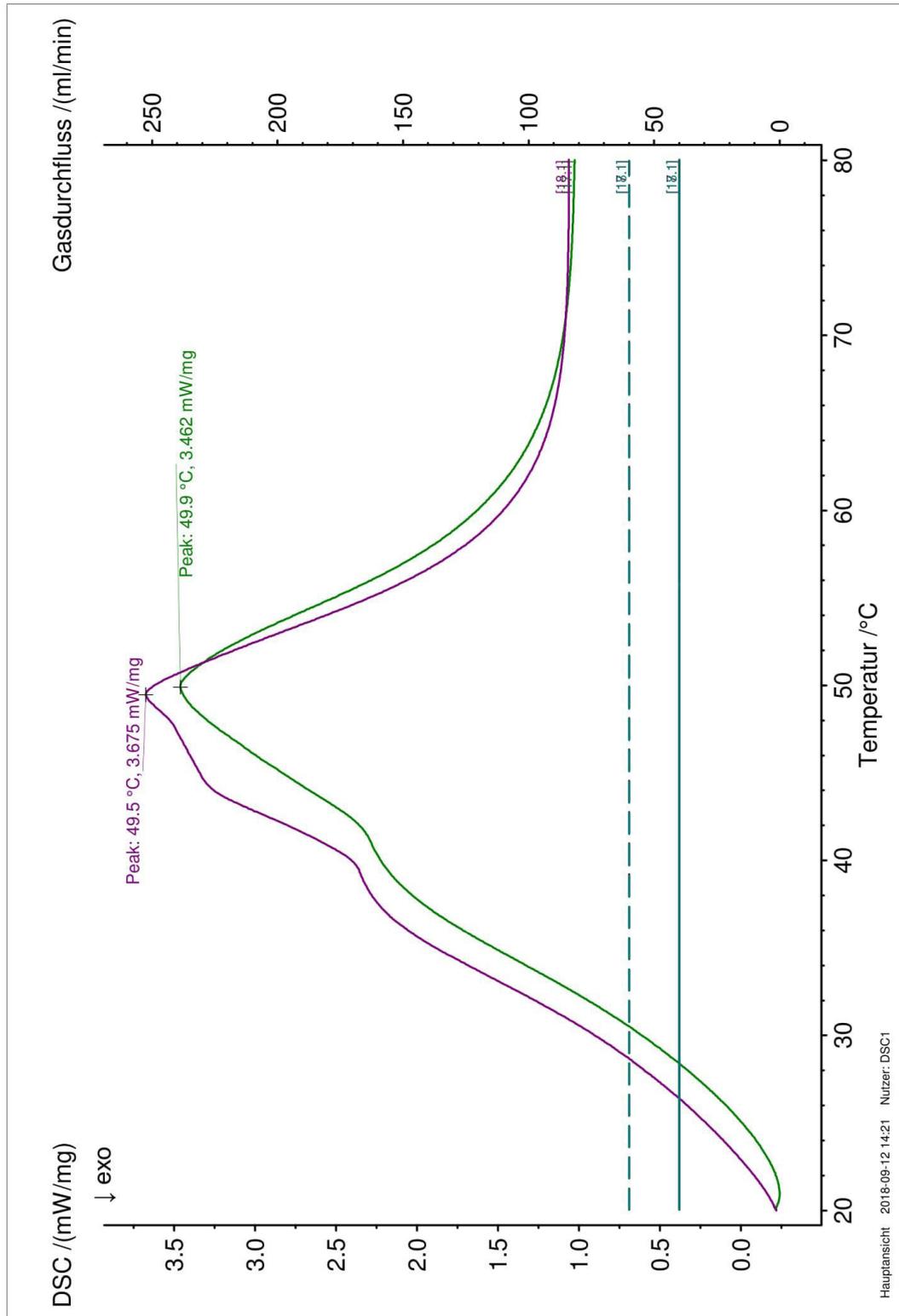


Diagramm 19: Messung A (grün) vs. B (lila), LaVita

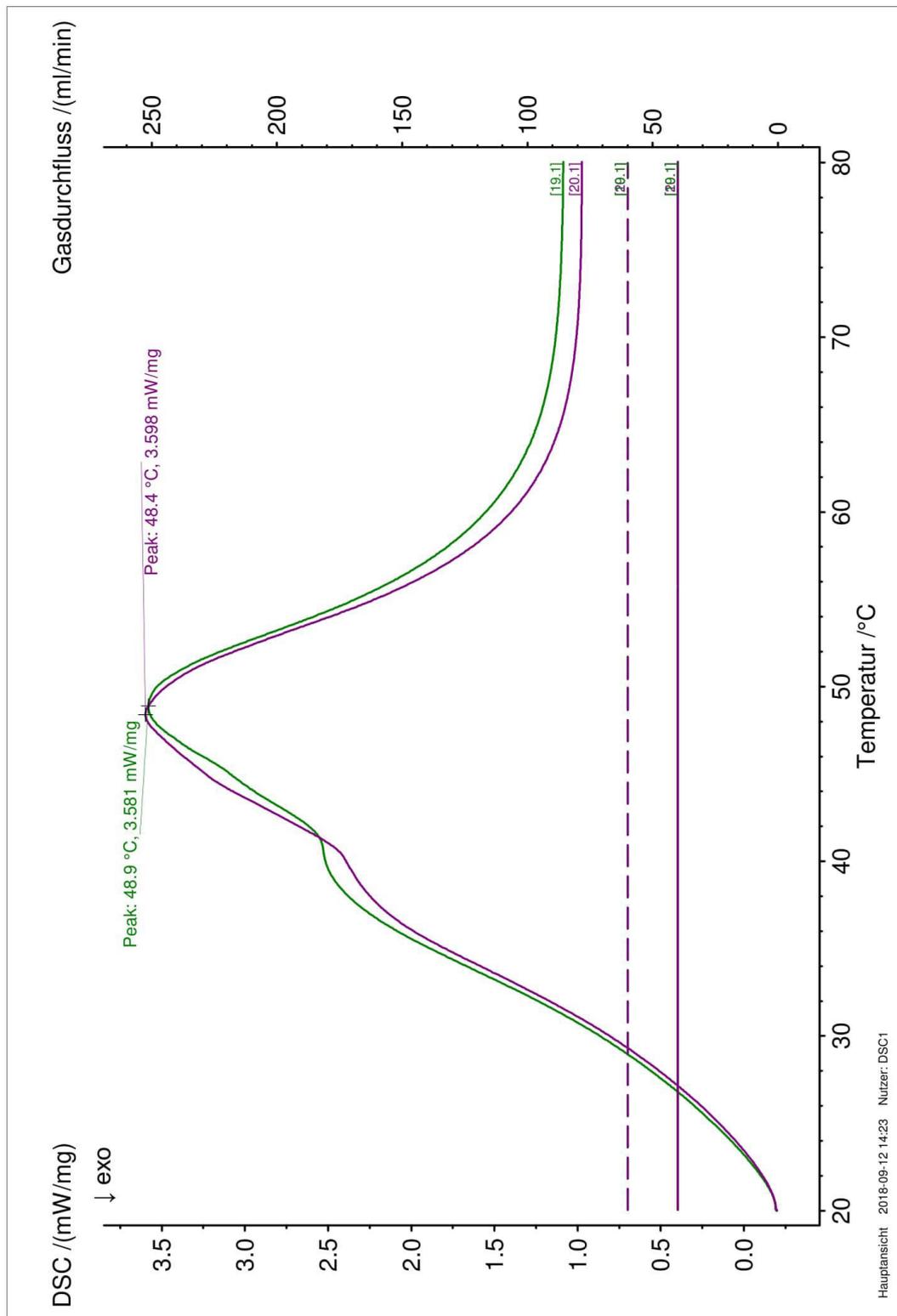


Diagramm 20: Messung A (grün) vs. B (lila), Spinnrad

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, dass ich vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

Nadine Büscher