

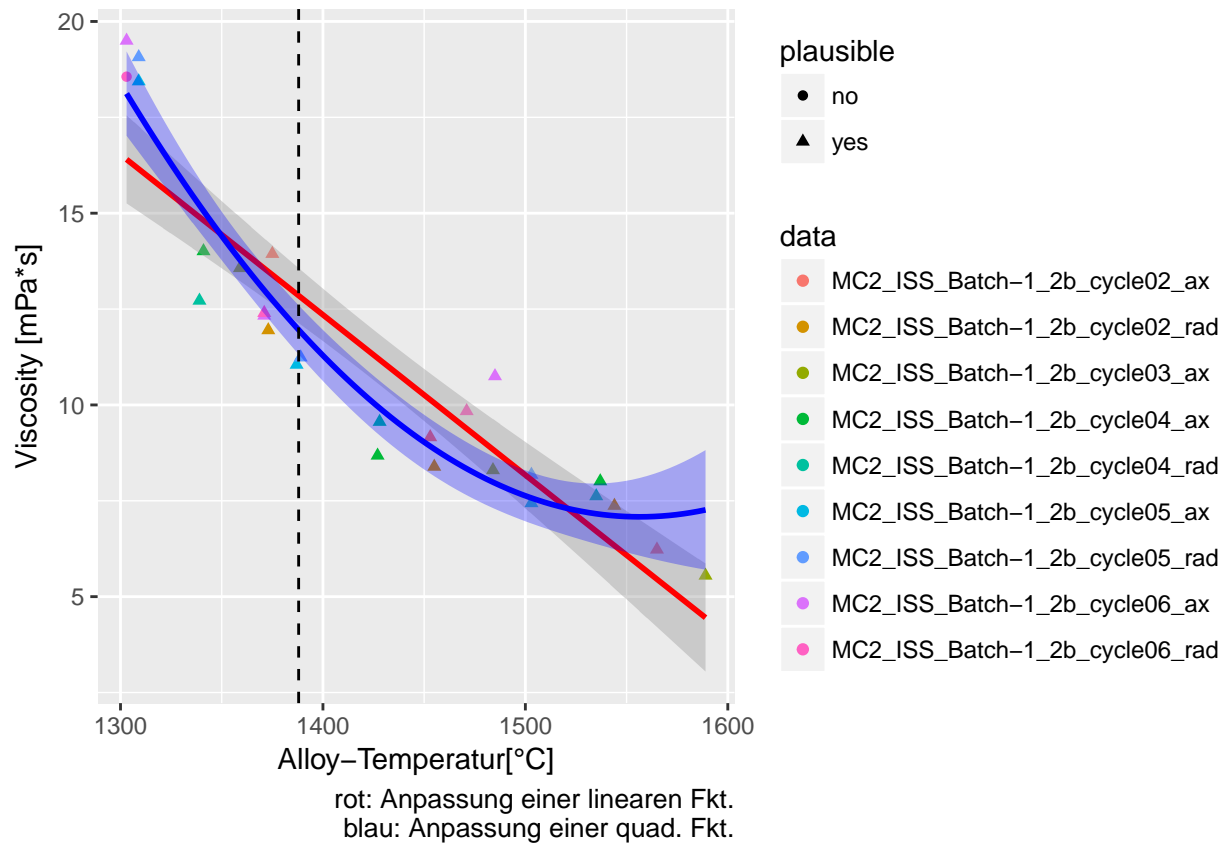
# Gesamtauswertung der Zyklen 1-6 der Legierung MC2

Stephan Rietzler

## Viscosity

### Graphische Analyse

In folgendem Plot sind die ermittelten Viskositäts-Wert gegen die Temperatur aufgetragen. Zusätzlich eingezeichnet ist ein in der Temperatur linearer und quadratischer Fit an die Daten.



### Folgerung:

- Der Zusammenhang zwischen Viskosität und Temperatur scheint bei der Legierung MC2 durch den quadratischen Fit besser beschrieben zu sein. Bei Temperaturen deutlich über dem Schmelzpunkt nimmt die Viskosität mit abnehmenden Temperaturen nur wenig zu. Ab dem Schmelzpunkt scheint die Viskositätszunahme mit abnehmender Temperatur deutlich größer.
- Etwas vom allgemeinen Trend abzuweichen scheinen die Viskositäts-Daten der Axialkamera aus Zyklus 6. Da in der Kontrolle der Daten in der Auswertungs-Software kein offensichtlicher Grund hierfür zu erkennen ist werden sie in der weiteren Analyse nicht ausgeschlossen.
- Die als nicht plausible markierten Daten fallen nicht aus dem Trend. Aus Konsistenz-Gründen werden sie hier trotzdem von der weiteren Analyse ausgenommen.

## Numerische Analyse

Wie im Plot angedeutet wird wird ein linearer und ein quadratischer Fit durchgeführt um zu überprüfen ob die numerische Analyse die Vermutung eines nichtlinearen Zusammenhanges bestätigt.

Die Daten werden so umskaliert, das der Temperatur-Nullpunkt der Schmelztemperatur von MC2 (1388°C) entspricht. Die bei 'Intercept' angegebene Größe entspricht damit der Viskosität am Schmelzpunkt.

### Anpassung einer linearen Funktion:

```
##
## Call:
## lm(formula = visc ~ Temp_c, data = visc %>% filter(plausible ==
##       "yes"))
##
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -2.4526 -1.2821 -0.4191  0.9144  3.3745
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept) 12.702951   0.356814   35.60 < 2e-16 ***
## Temp_c      -0.040266   0.003795  -10.61 1.53e-10 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 1.618 on 24 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.8243, Adjusted R-squared:  0.8169
## F-statistic: 112.6 on 1 and 24 DF,  p-value: 1.529e-10
```

### Anpassung einer quadratischen Funktion:

```
##
## Call:
## lm(formula = visc ~ Temp_c + I(Temp_c^2), data = visc %>% filter(plausible ==
##       "yes"))
##
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -2.4285 -0.7978 -0.1643  0.7916  2.7670
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept) 11.9498777   0.3161206   37.802 < 2e-16 ***
## Temp_c      -0.0570942   0.0047276  -12.077 1.95e-11 ***
## I(Temp_c^2)  0.0001670   0.0000375    4.453 0.000182 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 1.211 on 23 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.9056, Adjusted R-squared:  0.8974
## F-statistic: 110.4 on 2 and 23 DF,  p-value: 1.624e-12
```

### Folgerung:

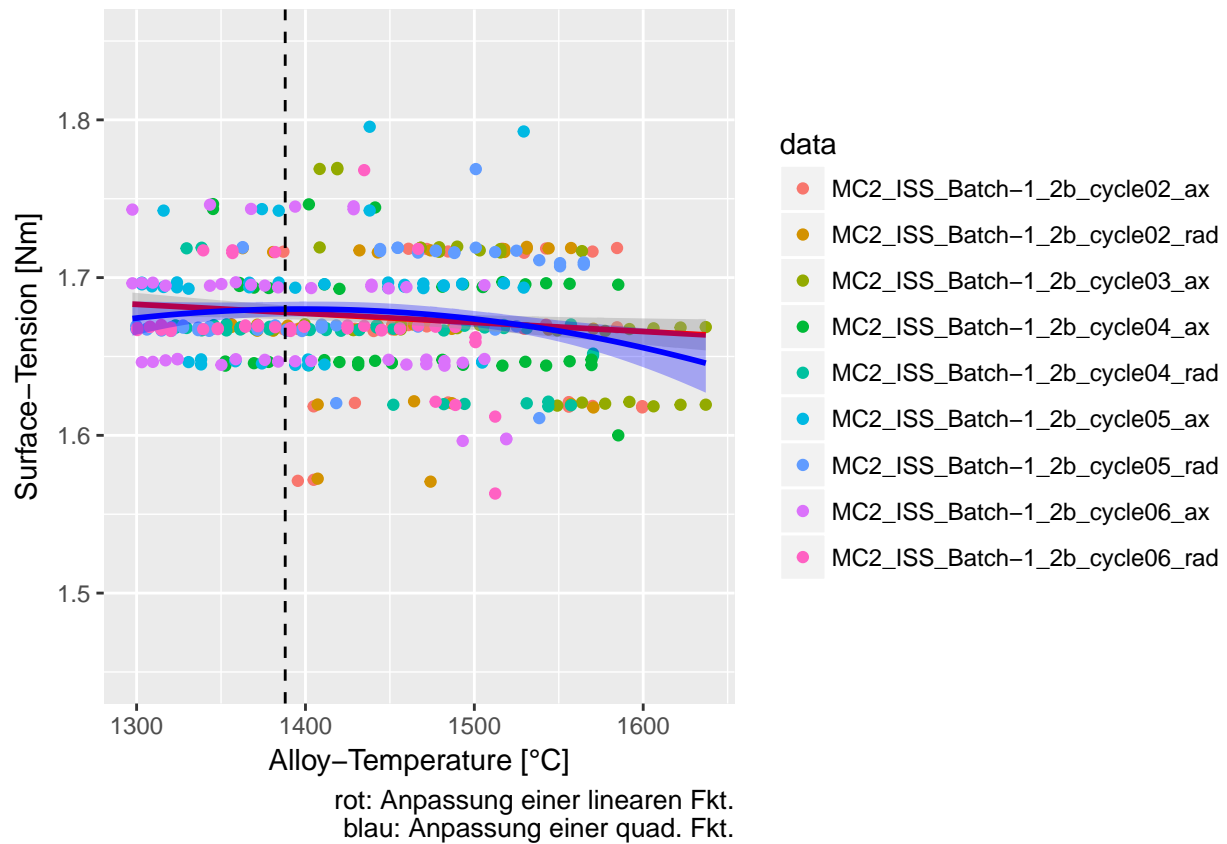
Wie bereits vermutet beschreibt das Modell mit quadratischem Term die Daten besser was auf einen nichtlinearen Zusammenhang hindeutet. Damit bekommt man folgende Ergebnisse:

- Die Viskosität am Schmelzpunkt ist:  $11.9 \text{ mPa} \cdot \text{s} \pm 3 \cdot 0.3 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ .
- Die Daten deuten auf einen nichtlinearen Zusammenhang zwischen Viskosität und Temperatur der Legierung MC2 hin.

## Surface-Tension

### Graphische Analyse

In der folgenden Graphik sind die ermittelten Oberflächenspannungen aus den (auswertbaren) Daten der ersten sechs Zyklen von MC2 dargestellt.



#### Folgerung:

- Die graphische Darstellung legt die Vermutung nahe das die Oberflächenspannung bei MC2 nur wenig von der Temperatur abhängt.
- Erst bei Temperaturen deutlich überhalb des Schmelzpunktes scheint die Oberflächenspannung mit zunehmender Temperatur etwas abzunehmen.

### Numerische Analyse

Auch hier wird wieder ein lineares und quadratisches Modell gefittet um zu untersuchen ob der Zusammenhang zwischen Oberflächenspannung und Temperatur durch ein nichtlineares Modell besser beschrieben wird.

#### Anpassung einer linearen Funktion

##

```
## Call:
## lm(formula = st ~ Temp_c, data = st)
##
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -0.10707 -0.01579 -0.00717  0.02244  0.12486
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)  1.678e+00  2.194e-03  764.765  <2e-16 ***
## Temp_c      -5.734e-05  2.316e-05  -2.476   0.0137 *
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 0.03619 on 368 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.01639, Adjusted R-squared:  0.01371
## F-statistic:  6.13 on 1 and 368 DF, p-value: 0.01374
```

### Anpassung einer quadratischen Funktion

```
##
## Call:
## lm(formula = st ~ Temp_c + I(Temp_c^2), data = st)
##
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -0.10844 -0.01370 -0.00904  0.02040  0.12505
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)  1.680e+00  2.365e-03  710.290  <2e-16 ***
## Temp_c       1.146e-05  3.873e-05   0.296   0.7675
## I(Temp_c^2) -5.978e-07  2.706e-07  -2.209   0.0278 *
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 0.03601 on 367 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.0293, Adjusted R-squared:  0.02401
## F-statistic:  5.538 on 2 and 367 DF, p-value: 0.004268
```

### Folgerung:

- Auch hier bestätigt sich die Vermutung aus der graphischen Analyse: Die Anpassung des quadratischen Modells liefert ein höheres  $R^2$ .
- D.h. die Oberflächenspannung von MC2 ist in der Nähe des Schmelzpunktes nahezu von der Temperatur unabhängig.
- Erst bei hohen Temperaturen nimmt die Oberflächenspannung etwas ab.
- Beide Modell sind aber offensichtlich keine 'optimale' Anpassung an die Daten. Die Ergebnisse über den Zusammenhang zwischen Oberflächenspannung und Temperatur sollten also eher qualitativ bewertet werden.

## Anhang: Summary der verwendeten Datensätze

- In der Auswertungssoftware gesetzte Parameter und dort vermerkte Kommentare zur Auswertung sind in den folgenden Abschnitten für jeden untersuchten Datensatz aus den Zyklen 1-6 gelistet.
- Die verwendeten Rohdaten (Ergebnisse aus der Auswertungssoftware) sind als csv Dateien anhängt.

### Bemerkung

- Zu Zyklus 1 sind keine Datensätze vorhanden.
- Der Datensatz der Radial-Kamera aus Zyklus zwei enthält keine Signale.
- Im Vergleich zu den LEK94-Daten sind die Datensätze der Axial-Kameras hier alle auswertbar. *Das wirft die Frage auf, warum die Axial-Kamera-Daten bei LEK94 durch die Bank unbrauchbar waren? An der Legierung kann es kaum gelogen haben.* **Report of dataset-summaries generated on Sat Aug 19 10:45:25 2017**

### Summary for MC2\_ISS\_Batch-1\_2b\_cycle02\_ax

#### *Sample-Specification:*

- Alloy: MC2
- m: 1.225g
- radius: 3.246mm
- Melt.-Temp: 1388.0°C

#### *Experimental Design: (times are in seconds from start of recording)*

- Max. measured Temp. of alloy: 1643.0°C
- Measured Temp. at solidification of alloy: 1339.0°C
- End of Heatphase to time of solidification: (18.1059, 32.026)
- Data-Evaluation-Range: (19.0, 30.0)
- Temp-Span: (1643.0, 1339.0)
- Heat-pulse-Times at: 23/27
- Temp. at Heat-Pulse-Times: 1500.0/1417.0

#### *Evaluation Parameters:*

- Set Bandpass: Low: 5.0Hz, High: 75.0Hz
- Set smoothing of spectrogram: smooth = 2, i.e. running mean over 5 adjacent periodogram ordinates
- Set amplitude-fraction: 95.0%
- Set time-window-size: 1.0s
- Set time-window-overlap: 50.0%
- Variables used for evaluation: A\_RadiusX, A\_RadiusY
- Time-Intervalls excluded from evaluation:

### Remarks:

Bandpass bei 5Hz um niederfrequente Störung (hauptsächlich am Ende der Aufnahme) zu unterdrücken; Zusätzlich wird das signal am ende abgeschnitten.

am anfang wird 1s abgeschnitten wegen schlechtem sig/noise.

### Summary for MC2\_ISS\_Batch-1\_2b\_cycle02\_rad

#### *Sample-Specification:*

- Alloy: MC2
- m: 1.225g

- radius: 3.246mm
- Melt.-Temp: 1388.0°C

*Experimental Design: (times are in seconds from start of recording)*

- Max. measured Temp. of alloy: 1599.0°C
- Measured Temp. at solidification of alloy: 1335.0°C
- End of Heatphase to time of solidification: (0.0, 12.8633)
- Data-Evaluation-Range: (0.0, 12.5)
- Temp-Span: (1599.0, 1335.0)
- Heat-pulse-Times at: 4/8
- Temp. at Heat-Pulse-Times: 1500.0/1418.0

*Evaluation Parameters:*

- Set Bandpass: Low: 5.0Hz, High: 200.0Hz
- Set smoothing of spectrogramm: smooth = 2, i.e. running mean over 5 adjacent periodogram ordinates
- Set amplitude-fraction: 95.0%
- Set time-window-size: 1.0s
- Set time-window-overlap: 50.0%
- Variables used for evaluation: R\_RadiusX, R\_RadiusY
- Time-Intervalls excluded from evaluation:

#### **Remarks:**

Kurz vor der Ende ist das signal von niederfrequentem Rauschen überlagert. Deswegen wird die Auswertung bei 12.5s abgebrochen und ein Hochpass von 5Hz gesetzt.

### **Summary for MC2\_ISS\_Batch-1\_2b\_cycle03\_ax**

*Sample-Specification:*

- Alloy: MC2
- m: 1.225g
- radius: 3.246mm
- Melt.-Temp: 1388.0°C

*Experimental Design: (times are in seconds from start of recording)*

- Max. measured Temp. of alloy: 1651.0°C
- Measured Temp. at solidification of alloy: 1294.0°C
- End of Heatphase to time of solidification: (16.874, 34.0333)
- Data-Evaluation-Range: (16.9, 29.0)
- Temp-Span: (1651.0, 1294.0)
- Heat-pulse-Times at: 21/25
- Temp. at Heat-Pulse-Times: 1532.0/1444.0

*Evaluation Parameters:*

- Set Bandpass: Low: 5.0Hz, High: 75.0Hz
- Set smoothing of spectrogramm: smooth = 2, i.e. running mean over 5 adjacent periodogram ordinates
- Set amplitude-fraction: 95.0%
- Set time-window-size: 1.0s
- Set time-window-overlap: 50.0%
- Variables used for evaluation: A\_RadiusX, A\_RadiusY
- Time-Intervalls excluded from evaluation:

#### **Remarks:**

Einschränkung auf t\_max=30s und Hochpass von 5Hz um schwaches Signal am versuchsende zu kompensieren.

## Summary for MC2\_ISS\_Batch-1\_2b\_cycle03\_rad

### *Sample-Specification:*

- Alloy: MC2
- m: 1.225g
- radius: 3.246mm
- Melt.-Temp: 1388°C

### *Experimental Design: (times are in seconds from start of recording)*

- Max. measured Temp. of alloy: 1648.0°C
- Measured Temp. at solidification of alloy: 1292.0°C
- End of Heatphase to time of solidification: (0.0, 17.2203)
- Data-Evaluation-Range: (0.0, 17.2203)
- Temp-Span: (1648.0, 1292.0)
- Heat-pulse-Times at: 4/8
- Temp. at Heat-Pulse-Times: 1533.0/1444.0

### *Evaluation Parameters:*

- Set Bandpass: Low: 0.0Hz, High: 200.0Hz
- Set smoothing of spectrogram: smooth = 2, i.e. running mean over 5 adjacent periodogram ordinates
- Set amplitude-fraction: 95.0%
- Set time-window-size: 1.0s
- Set time-window-overlap: 50.0%
- Variables used for evaluation: R\_RadiusX, R\_RadiusY
- Time-Intervalls excluded from evaluation:

### **Remarks:**

keine Signale vorhanden

## Summary for MC2\_ISS\_Batch-1\_2b\_cycle04\_ax

### *Sample-Specification:*

- Alloy: MC2
- m: 1.225g
- radius: 3.246mm
- Melt.-Temp: 1388°C

### *Experimental Design: (times are in seconds from start of recording)*

- Max. measured Temp. of alloy: 1616.0°C
- Measured Temp. at solidification of alloy: 1297.0°C
- End of Heatphase to time of solidification: (17.2721, 33.4203)
- Data-Evaluation-Range: (17.3, 33.4203)
- Temp-Span: (1616.0, 1297.0)
- Heat-pulse-Times at: 23/27
- Temp. at Heat-Pulse-Times: 1470.0/1393.0

### *Evaluation Parameters:*

- Set Bandpass: Low: 5.0Hz, High: 75.0Hz
- Set smoothing of spectrogram: smooth = 2, i.e. running mean over 5 adjacent periodogram ordinates
- Set amplitude-fraction: 95.0%
- Set time-window-size: 1.0s
- Set time-window-overlap: 50.0%

- Variables used for evaluation: A\_RadiusX, A\_RadiusY
- Time-Intervalls excluded from evaluation:

**Remarks:**

Wegen schlechtem sig/noise werden am ende 2s abgeschnitten;

Am Anfang wird ca. 1s wegen schlechtem sig/noise abgeschnitten

## Summary for MC2\_ISS\_Batch-1\_2b\_cycle04\_rad

*Sample-Specification:*

- Alloy: MC2
- m: 1.225g
- radius: 3.246mm
- Melt.-Temp: 1388°C

*Experimental Design: (times are in seconds from start of recording)*

- Max. measured Temp. of alloy: 1613.0°C
- Measured Temp. at solidification of alloy: 1296.0°C
- End of Heatphase to time of solidification: (0.0, 16.031)
- Data-Evaluation-Range: (1.0, 15.0)
- Temp-Span: (1613.0, 1296.0)
- Heat-pulse-Times at: 6/10
- Temp. at Heat-Pulse-Times: 1470.0/1393.0

*Evaluation Parameters:*

- Set Bandpass: Low: 10.0Hz, High: 100.0Hz
- Set smoothing of spectrogram: smooth = 2, i.e. running mean over 5 adjacent periodogram ordinates
- Set amplitude-fraction: 95.0%
- Set time-window-size: 1.0s
- Set time-window-overlap: 50.0%
- Variables used for evaluation: R\_RadiusX, R\_RadiusY
- Time-Intervalls excluded from evaluation:

**Remarks:**

Datensatz scheint mit 200Hz gesamplet!? Am Anfang riesige Amplitude von RadiusY, deswegen Auswertung erst ab 1s. Wegen schlechtem sig/noise ratio wird am Ende 1s abgeschnitten

## Summary for MC2\_ISS\_Batch-1\_2b\_cycle05\_ax

*Sample-Specification:*

- Alloy: MC2
- m: 1.225g
- radius: 3.246mm
- Melt.-Temp: 1388°C

*Experimental Design: (times are in seconds from start of recording)*

- Max. measured Temp. of alloy: 1592.0°C
- Measured Temp. at solidification of alloy: 1270.0°C
- End of Heatphase to time of solidification: (15.201, 32.503)
- Data-Evaluation-Range: (17.0, 31.0)
- Temp-Span: (1592.0, 1270.0)



- Heat-pulse-Times at: 22/27
- Temp. at Heat-Pulse-Times: 1432.0/1354.0

*Evaluation Parameters:*

- Set Bandpass: Low: 5.0Hz, High: 75.0Hz
- Set smoothing of spectrogram: smooth = 2, i.e. running mean over 5 adjacent periodogram ordinates
- Set amplitude-fraction: 95.0%
- Set time-window-size: 1.0s
- Set time-window-overlap: 50.0%
- Variables used for evaluation: A\_RadiusX, A\_RadiusY
- Time-Intervalls excluded from evaluation:

**Remarks:**

Wegen schlechtem sig/noise wird am ende 1.5s abgeschnitten und ein Hochpass von 5Hz gesetzt.

Am Anfang werden 2s wegen schlechtem sig/noise abgeschnitten

## Summary for MC2\_ISS\_Batch-1\_2b\_cycle05\_rad

*Sample-Specification:*

- Alloy: MC2
- m: 1.225g
- radius: 3.246mm
- Melt.-Temp: 1388°C

*Experimental Design: (times are in seconds from start of recording)*

- Max. measured Temp. of alloy: 1592.0°C
- Measured Temp. at solidification of alloy: 1271.0°C
- End of Heatphase to time of solidification: (0.0, 17.2408)
- Data-Evaluation-Range: (0.5, 17.2408)
- Temp-Span: (1592.0, 1271.0)
- Heat-pulse-Times at: 7/11
- Temp. at Heat-Pulse-Times: 1432.0/1354.0

*Evaluation Parameters:*

- Set Bandpass: Low: 5.0Hz, High: 200.0Hz
- Set smoothing of spectrogram: smooth = 2, i.e. running mean over 5 adjacent periodogram ordinates
- Set amplitude-fraction: 95.0%
- Set time-window-size: 1.0s
- Set time-window-overlap: 50.0%
- Variables used for evaluation: R\_RadiusX, R\_RadiusY
- Time-Intervalls excluded from evaluation:

**Remarks:**

Am Anfang wird 0.5s abgeschnitten wegen Hochfrequenter Störung; Am Ende wird 1.5s wegen schlechtem sig/noise abgeschnitten. Zusätzlich Hp ab 5Hz

## Summary for MC2\_ISS\_Batch-1\_2b\_cycle06\_ax

*Sample-Specification:*

- Alloy: MC2
- m: 1.225g

- radius: 3.246mm
- Melt.-Temp: 1388°C

*Experimental Design: (times are in seconds from start of recording)*

- Max. measured Temp. of alloy: 1568.0°C
- Measured Temp. at solidification of alloy: 1275.0°C
- End of Heatphase to time of solidification: (14.5459, 30.6903)
- Data-Evaluation-Range: (16.0, 30.0)
- Temp-Span: (1568.0, 1275.0)
- Heat-pulse-Times at: 21/26
- Temp. at Heat-Pulse-Times: 1416.0/1335.0

*Evaluation Parameters:*

- Set Bandpass: Low: 10.0Hz, High: 75.0Hz
- Set smoothing of spectrogramm: smooth = 2, i.e. running mean over 5 adjacent periodogram ordinates
- Set amplitude-fraction: 95.0%
- Set time-window-size: 1.0s
- Set time-window-overlap: 50.0%
- Variables used for evaluation: A\_RadiusX, A\_RadiusY
- Time-Intervalls excluded from evaluation:

#### **Remarks:**

Schlechtes sig/noise kurz vor begin des zweiten Heizpulses wird durch HP von 10Hz korrigiert. Am Ende werden ca. 1.5s abgeschnitten wegen schlechtem sig/noise.

Am Anfang werden 1.5s abgeschnitten wegen schlechtem sig/noise.

## **Summary for MC2\_ISS\_Batch-1\_2b\_cycle06\_rad**

*Sample-Specification:*

- Alloy: MC2
- m: 1.225g
- radius: 3.246mm
- Melt.-Temp: 1388°C

*Experimental Design: (times are in seconds from start of recording)*

- Max. measured Temp. of alloy: 1537.0°C
- Measured Temp. at solidification of alloy: 1274.0°C
- End of Heatphase to time of solidification: (0.0, 15.1033)
- Data-Evaluation-Range: (0.0, 14.0)
- Temp-Span: (1537.0, 1274.0)
- Heat-pulse-Times at: 6/11
- Temp. at Heat-Pulse-Times: 1417.0/1335.0

*Evaluation Parameters:*

- Set Bandpass: Low: 10.0Hz, High: 200.0Hz
- Set smoothing of spectrogramm: smooth = 2, i.e. running mean over 5 adjacent periodogram ordinates
- Set amplitude-fraction: 95.0%
- Set time-window-size: 1.0s
- Set time-window-overlap: 50.0%
- Variables used for evaluation: R\_RadiusX, R\_RadiusY
- Time-Intervalls excluded from evaluation:

**Remarks:**

Signal ist von niederfrequenter störung überlagert. HP von 10Hz filtert diese Störung heraus.

Wegen schlechtem sig/noise wird am ende eine sekunde abgeschnitten