

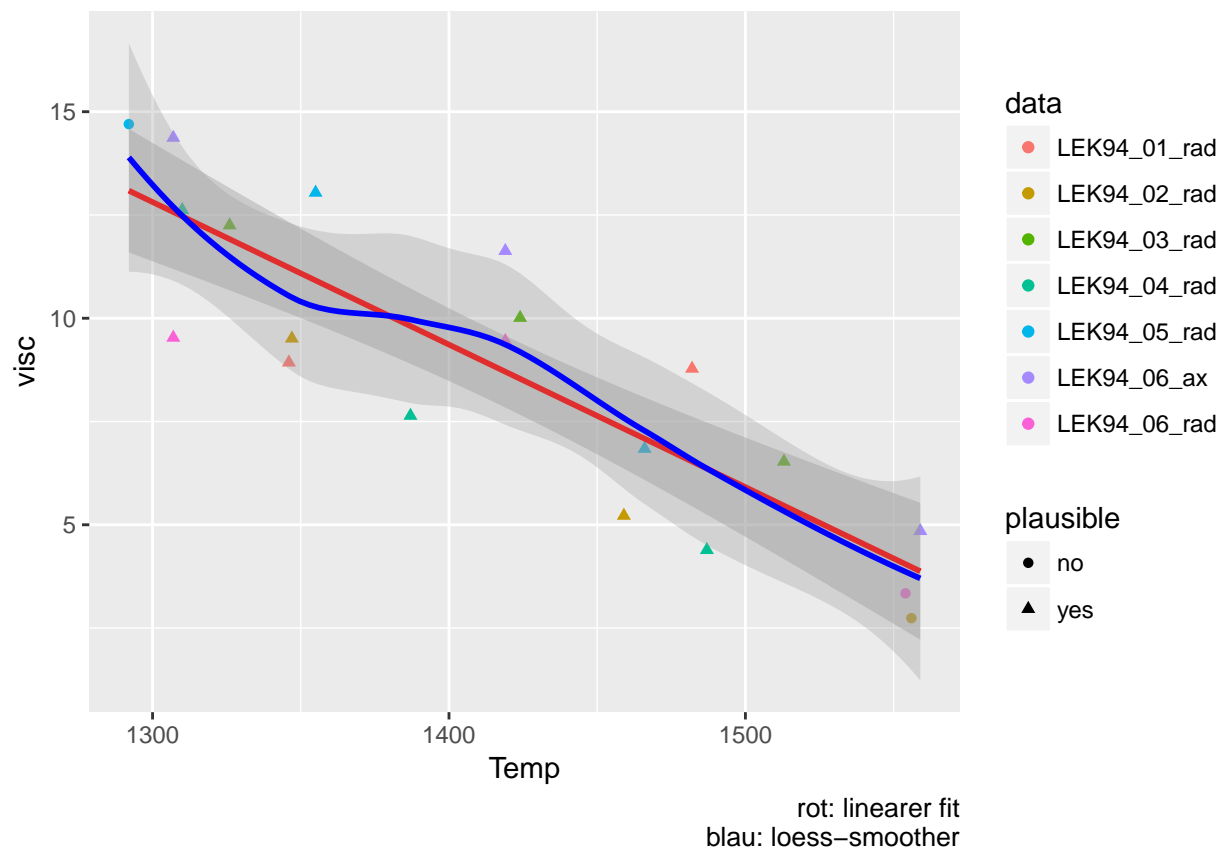
Gesamtauswertung der Zyklen 1-6 der Legierung LEK94

Stephan Rietzler

Auswertung

Viscosity

Graphische Analyse



Folgerung:

- Keine Daten fallen extrem auf.
- Der loess-smoother weicht nicht auffällig vom linearen Fit ab, was als Indiz aufgefasst wird das der Zusammenhang zwischen Viskosität und Temperatur linear ist.
- Die Viskositäts-Wert die per Konvention als nicht plausibel gelten (d.h. diejenigen bei denen das Intervall viskosität $\pm 3 \cdot sd$ die Null enthält) liegen alle am 'Rand' des Auswertungsbereichs. Im Regelfall sind dort weniger Daten zur Schätzung der Dämpfungs-Konstanten vorhanden und deswegen sind die Schätzungen dort tendenziell unsicher.

Numerische Analyse

Analyse mit allen Daten, die als plausibel definiert wurden. D.h. die drei Viskositäts-Werte am Rand des Temperaturbereiches die in obigem Plot als Kreise eingezeichnet sind werden ausgenommen.

Vergleichsweise wird ein linearer und ein quadratischer Fit durchgeführt um zu sehen ob durch die Daten ein nichtlinearer Zusammenhang zwischen Viskosität und Temperatur nahegelegt wird.

Die Daten werden so umskaliert, das der Temperatur-Nullpunkt der Schmelztemperatur von LEK94 (1393°C) entspricht. Die bei 'Intercept' angegebene Größe entspricht damit der Viskosität am Schmelzpunkt.

```
##
## Call:
## lm(formula = visc ~ I(Temp - 1393), data = visc %>% filter(plausible ==
##      "yes"))
##
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -2.5866 -2.0265  0.5414  1.3739  2.8451
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)    9.558320   0.469500  20.358 2.44e-12 ***
## I(Temp - 1393) -0.029748   0.006041  -4.924 0.000183 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 1.906 on 15 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.6178, Adjusted R-squared:  0.5923
## F-statistic: 24.25 on 1 and 15 DF,  p-value: 0.0001834
```

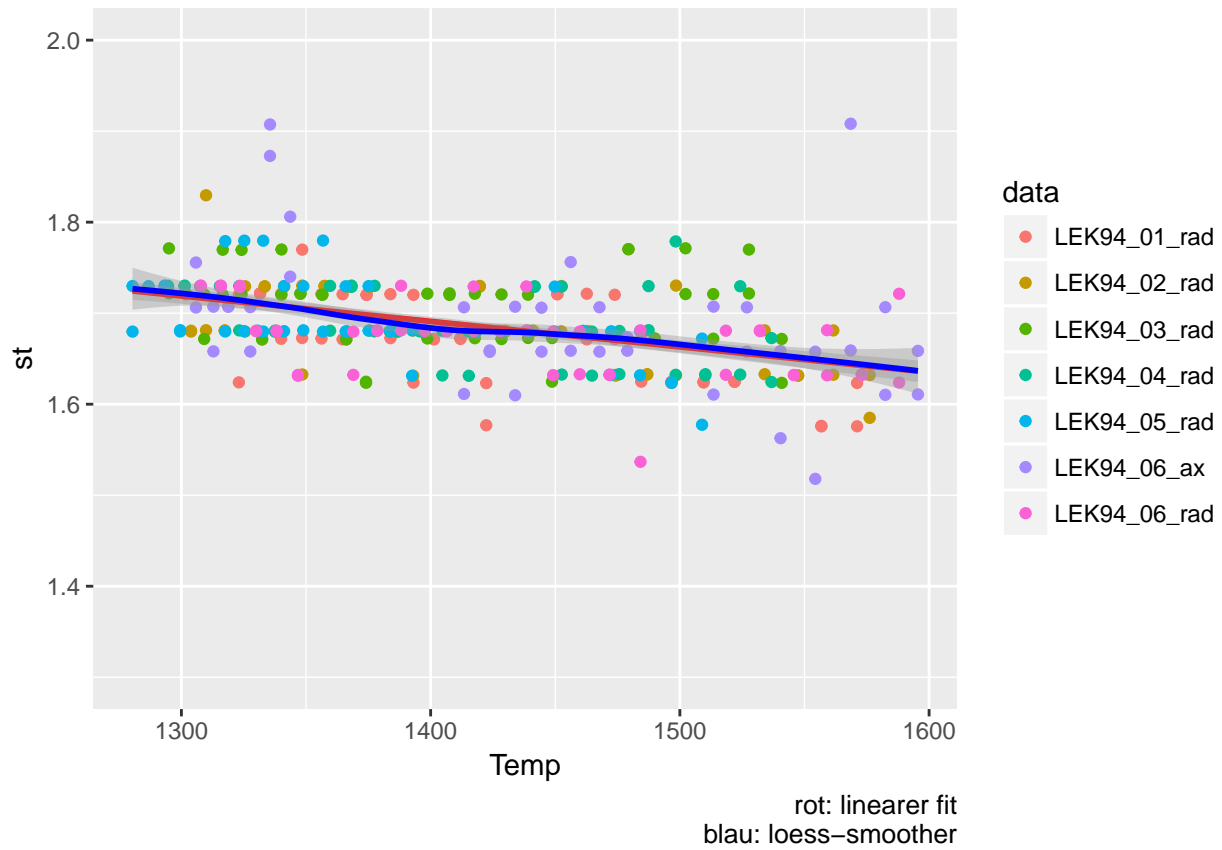
Folgerung:

- Vergleich der Resultate ergibt das der Zhg. zwischen Viskosität und Temperatur linear ist.
- Die Viskosität am Schmelzpunkt ist: $9.6 \pm 3 \cdot 0.7 \text{ mPa} \cdot \text{s}$.
- Der Zhg. zwischen Viskosität und Temperatur ist gegeben durch: $(-2 \pm 3 \cdot 0.9) \cdot 10^{-6} \frac{\text{mPa} \cdot \text{s}}{\text{K}}$

Surface-Tension

Graphische Analyse

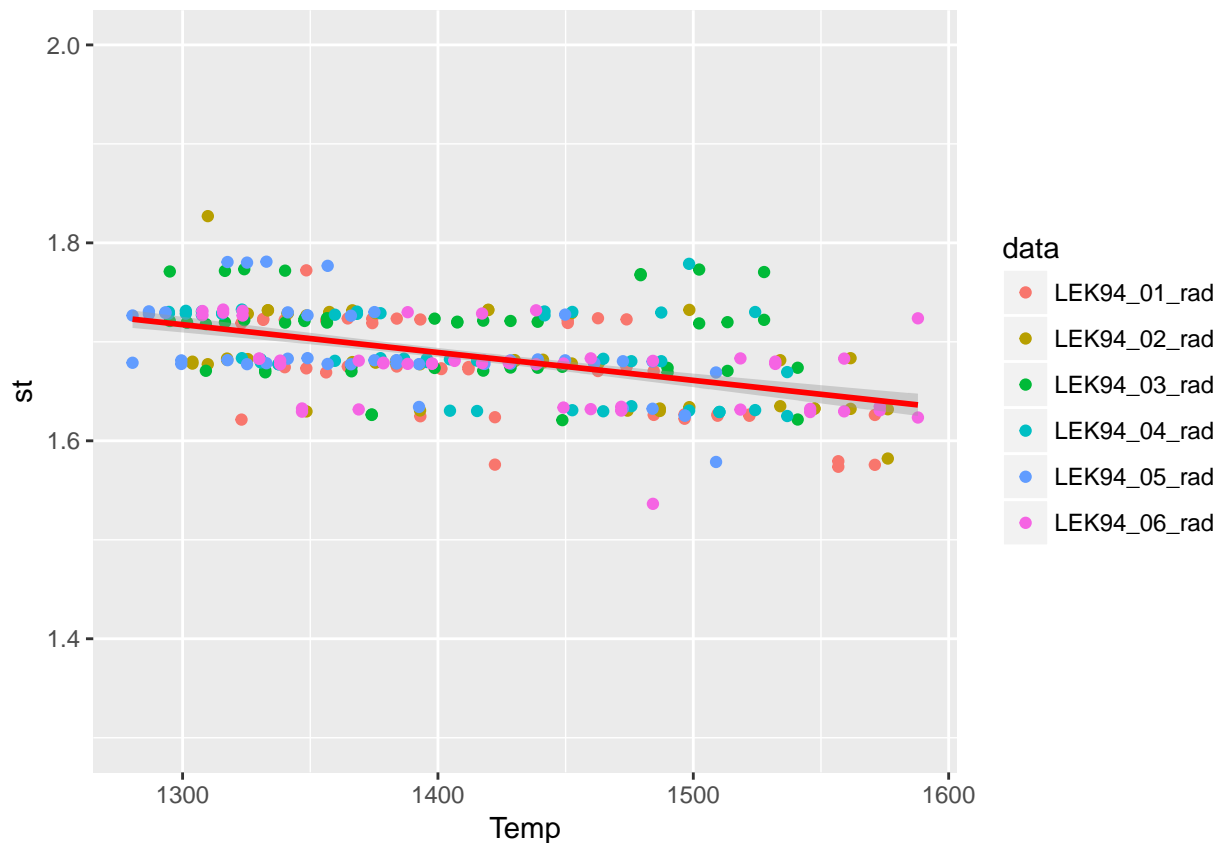
Zunächst werden alle im Vorfeld als auswertbar gewertete Datensätze dargestellt:



Folgerung:

Hier sieht man das die Daten des Datensatzes LEK94_06_ax im Randbereich auffällig aus der Datenwolke herausfallen. Da dieser Datensatz eher zur Illustration der Möglichkeit der Datenselektion durch das Auswerteprogramm 'Levigator' in die Gesamtauswertung aufgenommen wurde (siehe Kommentar im Anhang) wird er jetzt aufgrund dieser Auffälligkeiten wieder ausgeschlossen.

Im nachfolgenden Plot sind die Daten des Datensatzes LEK94_06_ax ausgenommen:



In diesem Plot sind nun keine offensichtlichen Ausreißer mehr zu finden. Die folgende numerische Analyse wird nur mit den sechs Datensätzen der Radial-Kamera durchgeführt.

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.

```
##
## Call:
## lm(formula = st ~ I(Temp - 1393), data = st %>% filter(data !=
## "LEK94_06_ax"))
##
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -0.128029 -0.026846 -0.000791  0.021586  0.117730
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)   1.691e+00  2.394e-03  706.552  <2e-16 ***
## I(Temp - 1393) -2.815e-04  2.934e-05  -9.592   <2e-16 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 0.03871 on 274 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.2514, Adjusted R-squared:  0.2487
## F-statistic: 92.01 on 1 and 274 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

```
##
## Call:
## lm(formula = st ~ I(Temp - 1393) + I((Temp - 1393)^2), data = st %>%
##   filter(data != "LEK94_06_ax"))
##
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -0.12809 -0.02685 -0.00093  0.02160  0.11771
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)    1.691e+00  3.189e-03  530.325 < 2e-16 ***
## I(Temp - 1393)  -2.801e-04  3.823e-05  -7.327 2.66e-12 ***
## I((Temp - 1393)^2) -2.145e-08  3.846e-07  -0.056   0.956
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 0.03878 on 273 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.2514, Adjusted R-squared:  0.2459
## F-statistic: 45.84 on 2 and 273 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

Folgerung:

- Wie bei der Viskosität ist der Zusammenhang zwischen Oberflächenspannung und Temperatur durch ein lineares Modell besser beschrieben.
- Die Oberflächenspannung am Schmelzpunkt und der Temperaturkoeffizient sind der Analyse zu entnehmen.
- Aus den erwähnten Gründen sollte man für ein 95% Konfidenzintervall eher $\pm 3 \cdot sd$ anstelle von $\pm 2 \cdot sd$ angeben.

Anhang: Summary der verwendeten Datensätze

In dem Kommentare zu dem Datensatz der Axial-Kamera des Zyklus 6 habe ich einige generelle Bemerkungen gemacht und exemplarisch auch Möglichkeiten des Programms aufgezeigt einzelne Datenpunkte bzw. Zeitspannen aus der Auswertung auszunehmen.

Summary for LEK94_01_rad

Sample-Specification: - Alloy: LEK94 - m: 1.1984g - radius: 3.3678mm - Melt.-Temp: 1393.0°C

Experimental Design: (times are in seconds from start of recording) - Max. measured Temp. of alloy: 1600.0°C - End of Heatphase to time of solidification: (0.0, 16.2765) - Data-Evaluation-Range: (0.0, 14.0) - Temp-Span: (1600.0, 1275.0) - Heat-pulse-Times at: 2.0/7.0 - Temp. at Heat-Pulse-Times: 1540.0/1434.0

Evaluation Parameters: - Set Bandpass: Low: 10.0Hz, 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:

Auswertezeit: - bis 14s da ab dann signal/noise-ratio zu schlecht, wie man an den signal-plots und dem spektrogram erkennen kann

Spektrogramm: - Oberschwingungen schwach erkennbar

Viscosity: Viscosity-Value im ersten Auswertesegment nicht ermittelbar, da nur daten für zwei verschiedene Zeitpunkte vorhanden; Der erste Heipuls kommt für eine Auswertung also zu früh.

Summary for LEK94_02_rad

Sample-Specification: - Alloy: LEK94 - m: 1.1984g - radius: 3.3678mm - Melt.-Temp: 1393.0°C

Experimental Design: (times are in seconds from start of recording) - Max. measured Temp. of alloy: 1605.0°C - End of Heatphase to time of solidification: (0, 15.1172) - Data-Evaluation-Range: (0.0, 15.1172) - Temp-Span: (1605.0, 1295.0) - Heat-pulse-Times at: 3/8 - Temp. at Heat-Pulse-Times: 1516.0/1413.0

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:

Signalqualität und Signal-Rausch-Verhältnis lassen eine Auswertung bis zur Erstarrung zu.

Im Spektrogramm sind Oberschwingungen bis zur Ordnung 2 deutlich erkennbar. Bei R_RadiusY legen Signal-Plot und Spektrogramm eine Modulation kurz nach Ende der Heizphase nahe. Diese klingt jedoch schnell ab.

Auswertezeit: - ab ca. 13s werden die signale schwach; und die frequenzbestimmung wird unsicher, d.h. die dominante freq. kippt auf die omnipräsente niederfrequente schwingung von ca. 4Hz. Ein low-pass-filter bei 10 Hz korrigiert das. Trotzdem nur auswertung bis 14s.

Visc: - wert im ersten auswert intervall wird aufgrund der hohen schätzunsicherheit default-mäßig verworfen. (Konfidenzintervall aus $\pm 2 \cdot sd$ umfasst die null)!

ST: - keine besonderen auffälligkeiten; plausible werte

Summary for LEK94_03_rad

Sample-Specification: - Alloy: LEK94 - m: 1.1984g - radius: 3.3678mm - Melt.-Temp: 1393.0°C

Experimental Design: (times are in seconds from start of recording) - Max. measured Temp. of alloy: 1566.0°C - End of Heatphase to time of solidification: (0, 15.5752) - Data-Evaluation-Range: (0.0, 15.0) - Temp-Span: (1566.0, 1272.0) - Heat-pulse-Times at: 4.0/8.0 - Temp. at Heat-Pulse-Times: 1470.0/1387.0

Evaluation Parameters: - Set Bandpass: Low: 3.0Hz, 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:

Auswertzeit: bis 15s nach ende der Heizphase, dann sig/noise zu klein, was man vor allem daran erkennt das die dominante Frequenz zu springen anfängt.

Spektrogramm: Oberschwingungen deutlich erkennbar; Nach Ende der Heizphase ist sowohl im signal als auch spectrogramm eine Signal-Modulation zu erkennen, die jedoch bald abklingt.

st: keine auffälligkeiten; plausible und konsistente werte

visc: keine auffälligkeiten; plausible und konsistente werte

Bemerkung: Was man hier sehr schön sieht ist wie die Heizpulse den gesamten Tropfen im Versuchsaufbau (bei einer freq. von 6 Hz) zum schwingen anregen: Betrachte hierzu das signal R_CenterY mit einem BP von 3-30Hz.

Summary for LEK94_04_rad

Sample-Specification: - Alloy: None - m: 1.1984g - radius: 3.3678mm - Melt.-Temp: 1393°C

Experimental Design: (times are in seconds from start of recording) - Max. measured Temp. of alloy: 1561.0°C - End of Heatphase to time of solidification: (0, 15.6495) - Data-Evaluation-Range: (0.0, 15.0) - Temp-Span: (1561.0, 1273.0) - Heat-pulse-Times at: 6.0/10.0 - Temp. at Heat-Pulse-Times: 1426.0/1353.0

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:

Direkt nach Ende der Heizphase sind die Signale noch sehr ‘unruhig’. Eine Modulation ist nicht direkt erkennbar. Evtl. ist direkt nach Ende der Heizphase mit einem starken multiplikativen (niederfrequentem) Rauschen zu rechnen. Dieser Effekt ist immer wieder beobachtbar.

Ein möglicher Grund liegt evtl. in der Signalgenerierung durch die Tevi-Software: Direkt nach der Heizphase oszilliert der Tropfen noch sehr stark im Versuchsaufbau und läuft deswegen häufig in die Bildbegrenzung. Dadurch steigt der Kanten-Erkennungs und Ellipsen-Fit-Algorithmus von Tevi aus und liefert dann verrauschte Signale. Dies ist deutlich in den Filmen zu sehen. Dies wäre eine Erklärung für das beobachtete niederfrequente multiplikative Rauschen: Bei großen Signal-Amplituden springt das Signal stärker als bei kleinen.

Ausgewertet wird das Signal bis 15s (danach schlechtes signal/rausch-verhältnis) mit einem Hochpass ab 5Hz um das niederfrequente Rauschen zu unterdrücken.

Summary for LEK94_05_rad

Sample-Specification: - Alloy: LEK94 - m: 1.1984g - radius: 3.3678mm - Melt.-Temp: 1393°C

Experimental Design: (times are in seconds from start of recording) - Max. measured Temp. of alloy: 1534.0°C - End of Heatphase to time of solidification: (0.0, 14.587) - Data-Evaluation-Range: (0.0, 14.587) - Temp-Span: (1534.0, 1273.0) - Heat-pulse-Times at: 6.0/12.0 - Temp. at Heat-Pulse-Times: 1411.0/1312.0

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:

Gute Signalqualität die eine Auswertung über den gesamten aufgezeichneten Zeitraum zulässt. Um die omnipräsente niederfrequente Schwingung herauszufiltern wird ein 5Hz high-pass gesetzt (fast schon default).

spectrogramm: Oberschwingungen deutlich erkennbar; im ersten Auswertesegment lassen sich Modulationen der dominanten Schwingung bei ca. 35 Hz erahnen; dies wird durch die Signalplots gestützt.

visc: das letzte Auswertesegment ist zu kurz für eine sichere Auswertung der Dämpfungskonstante, was sich in einer hohen SD niederschlägt.

Summary for LEK94_06_rad

Sample-Specification: - Alloy: LEK94 - m: 1.1984g - radius: 3.3678mm - Melt.-Temp: 1393°C

Experimental Design: (times are in seconds from start of recording) - Max. measured Temp. of alloy: 1618.0°C - End of Heatphase to time of solidification: (0, 17.6158) - Data-Evaluation-Range: (0.0, 15.5) - Temp-Span: (1618.0, 1266.0) - Heat-pulse-Times at: 4.0/11.0 - Temp. at Heat-Pulse-Times: 1498.0/1355.0

Evaluation Parameters: - Set Bandpass: Low: 7.0Hz, 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:

Auswertungssignale: radius x and y

Auswertzeit: nur bis 15.5s da aufnahme kein signal

Bandpass: hp ab 7hz; da sonst bei ca. 10s aufgrund des schlechten sig/noise ratio dominante freq auftauchen die nicht ins bild passen

Auswertzeit: bis 16s da dann signal-noise-ratio zu schwach für Auswertung

Spektrogramm: zeigt keine Auffälligkeiten; Oberschwingungen bis Ordnung 2/3 sind erkennbar

Results Surface-Tension: keine auffälligkeiten

Visc: keine auffälligkeiten

Summary for LEK94_06_ax

Sample-Specification: - Alloy: LEK94 - m: 1.1984g - radius: 3.3678mm - Melt.-Temp: 1393°C

Experimental Design: (times are in seconds from start of recording) - Max. measured Temp. of alloy: 1627.0°C - End of Heatphase to time of solidification: (0.0, 18.0667) - Data-Evaluation-Range: (0.0, 16.0) - Temp-Span: (1627.0, 1265.0) - Heat-pulse-Times at: 5/12 - Temp. at Heat-Pulse-Times: 1498.0/1355.0

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: (8.8,9.8),(9.7,10.7),(10.6,11.6)

Remarks:

Wie alle Datensätze der Axial-Kamera ist auch dieser von sehr schlechter Qualität. Insbesondere im Bereich um 10s kurz vor dem zweiten Heizpuls ist das Signal von andauerndem starkem niederfrequenten additivem Rauschen überlagert.

Dieses Rauschen ist deutlich am 'Springen' der Frequenz in diesem Bereich zu erkennen. Siehe Signal-Plot (Display 'results') und Ergebnisse Surface-Tension.

In den Ergebnissen 'Viskosität' führt dieses Rauschen sogar zu einer 'negativen' Dämpfung, verursacht durch die dominaten niederfrequenten Störungen mit in diesem Bereich 'anwachsender Amplitude'.

Mehr aus Gründen der Illustration der Programmmöglichkeiten habe ich mich entschlossen diesen Datensatz nicht komplett auszunehmen sondern nur den Bereich um ca. 10s. Hierzu selektiert man mit der Option 'Data-Selection' Zeitpunkte in diesem Bereich, welcher dann ausgenommen wird.

Die so erhaltenen Ergebnisse für die Surface-Tension und die Viskosität passen dann in das Gesamtbild der ersten sechs Zyklen der Legierung LEK94.

Generelle Bemerkung zu den Datensätzen: Es fällt auf das wenn das Signal RadiusX schlecht ist dann ist auch das Signal RadiusY schlecht. Das ist verständlich, da beide aufgrund ihrer Konstruktion korreliert sind. Man sollte sich also immer bewußt sein das diese beiden Signale keine unabhängigen Informationen liefern.

In unterschiedlichem (nicht genau bekanntem) Ausmaß gilt dies für alle vorhandenen Signale. Verwendet man zwei oder mehr der vorhandenen Signale zur Schätzung der Dämpfung oder Frequenz des Signales zu einem Zeitpunkt so ist dies strenggenommen eine Datenvervielfachung die dann den Standardfehler reduziert. Aus dieser Perspektive betrachtet ist der angegebenen Standardfehler also systematisch zu klein falls man mehrere Signale verwendet. Ich habe mich entschieden default-mäßig immer zwei Signale zu verwenden, nämlich RadiusX und RadiusY. Primär aus Gründen der *Auswerte-Effizienz*: Die mühevolle, zeitaufwendige und immer **subjektive Auswahl der ‘besten’ Signale** ist im Effekt auf die Qualität der Ergebnisse schwer abzuschätzen.

Report generated on Sun Aug 13 12:27:31 2017

Rohdaten

Viskosität

```
## # A tibble: 20 x 8
##   `time[s]` `Temp[°C]` `visc[mPa*s]` `sd[mPa*s]` `damp-const[1/s]`
##   <dbl>     <dbl>     <dbl>     <dbl>     <dbl>
## 1      4.6     1482      8.78     1.558     0.517
## 2     11.6     1346      8.93     1.313     0.525
## 3      1.7     1556      2.74     3.662     0.161
## 4      5.7     1459      5.22     1.299     0.307
## 5     11.6     1347      9.51     1.355     0.560
## 6      2.0     1513      6.53     0.831     0.385
## 7      6.2     1424     10.01     1.360     0.589
## 8     11.9     1326     12.25     1.405     0.721
## 9      3.0     1487      4.39     0.899     0.258
## 10     8.0     1387      7.64     1.847     0.449
## 11    12.9     1310     12.62     2.353     0.743
## 12     2.8     1466      6.84     0.868     0.402
## 13     8.6     1355     13.04     1.806     0.767
## 14    13.1     1292     14.70     5.225     0.865
## 15     2.2     1554      3.34     1.461     0.196
## 16     7.9     1419      9.45     0.778     0.556
## 17    14.6     1307      9.53     2.745     0.561
## 18     2.3     1559      4.85     1.006     0.285
## 19     8.2     1419     11.63     1.752     0.684
## 20    14.9     1307     14.37     0.979     0.846
## # ... with 3 more variables: `sd[1/s]` <dbl>, plausible <chr>, data <chr>
```

Surface-Tension

```
## # A tibble: 316 x 5
##   time      Temp      data variable `surface-tension[Nm]`
##   <dbl>    <dbl>    <chr>    <chr>                <dbl>
## 1  1.0 1571.103 LEK94_01_rad R_RadiusX            1.576536
## 2  1.5 1556.783 LEK94_01_rad R_RadiusX            1.576536
## 3  3.0 1521.968 LEK94_01_rad R_RadiusX            1.623948
## 4  3.5 1509.526 LEK94_01_rad R_RadiusX            1.623948
## 5  4.0 1496.576 LEK94_01_rad R_RadiusX            1.623948
## 6  4.5 1484.511 LEK94_01_rad R_RadiusX            1.623948
## 7  5.0 1473.874 LEK94_01_rad R_RadiusX            1.672062
## 8  5.5 1462.659 LEK94_01_rad R_RadiusX            1.672062
## 9  6.0 1450.848 LEK94_01_rad R_RadiusX            1.720879
## 10 7.5 1422.313 LEK94_01_rad R_RadiusX            1.576536
## # ... with 306 more rows
```