Christine Müller
Mirko Jakubzik

Technische Universität Dortmund
Wintersemester 2019/2020
Fallstudien II

Projekt 1
Erkennung von Diamantausbruch in Kraftzeitreihen

In diesem Projekt soll untersucht werden, ob anhand von Kraftzeitreihen der Ausbruch von Diamanten beim Bohren in Beton mit einem mit Diamanten besetzten Bohrer festgestellt werden kann. Die Kräfte wurden dabei in Vorschubrichtung F_n und in seitlicher x- und y-Richtung (F_x und F_y) erfasst. Der untere Teil der Abbildung 1 zeigt diese Kraftzeitreihen für eine Minute. Dabei bezeichnet F_t die tangentiale Kraft, die durch folgende Formel berechnet wurde:

$$F_t(t) = F_x(t) \cdot \cos\left[\frac{2\pi}{T} \cdot (t - t_{shift})\right] + F_y(t) \cdot \sin\left[\frac{2\pi}{T} \cdot (t - t_{shift})\right],$$

wobei T die Länge der Umdrehung. Die Dateien

```
B18_Kraftmessungen.zip,
B19_Kraftmessungen.zip,
B28_Kraftmessungen.zip,
B29_Kraftmessungen.zip,
C25_Kraftmessungen.zip,
C26_Kraftmessungen.zip,
```

enthalten die Kraftzeitreihen F_x, F_y, $F_z = F_n$ für die Experimente B18, B19, B28, B29, C25, C26, die in den Jahren 2017 bis 2019 an der TU Dortmund durchgeführt wurden. Bei diesen Experimenten wurde der Beton (C100/115 = homogener, harter Beton, C20/25 = heterogener Beton), die Diamantgröße (20/30 Mesh= große Diamanten, 40/50 Mesh= kleine Diamanten) und die Diamantkonzentration (einfach, doppelt) variiert. Tabelle 1 liefert die Angaben zu diesen Experimenten.

Experiment	Beton	Diamantgröße	Konzentration der Diamanten	Gesamtanzahl ausgebrochener Diamanten
B18	C100/115	20/30 Mesh	einfach	ca. 4
B19	C20/25	20/30 Mesh	einfach	ca. 8
B28	C20/25	40/50 Mesh	einfach	> 50
B29	C100/115	40/50 Mesh	einfach	ca. 29
C25	C20/25	40/50 Mesh	doppelt	> 40
C26	C100/115	40/50 Mesh	doppelt	ca. 16

Tabelle 1: Betontyp, Diamantgröße und Diamantkonzentration bei den Experimenten.

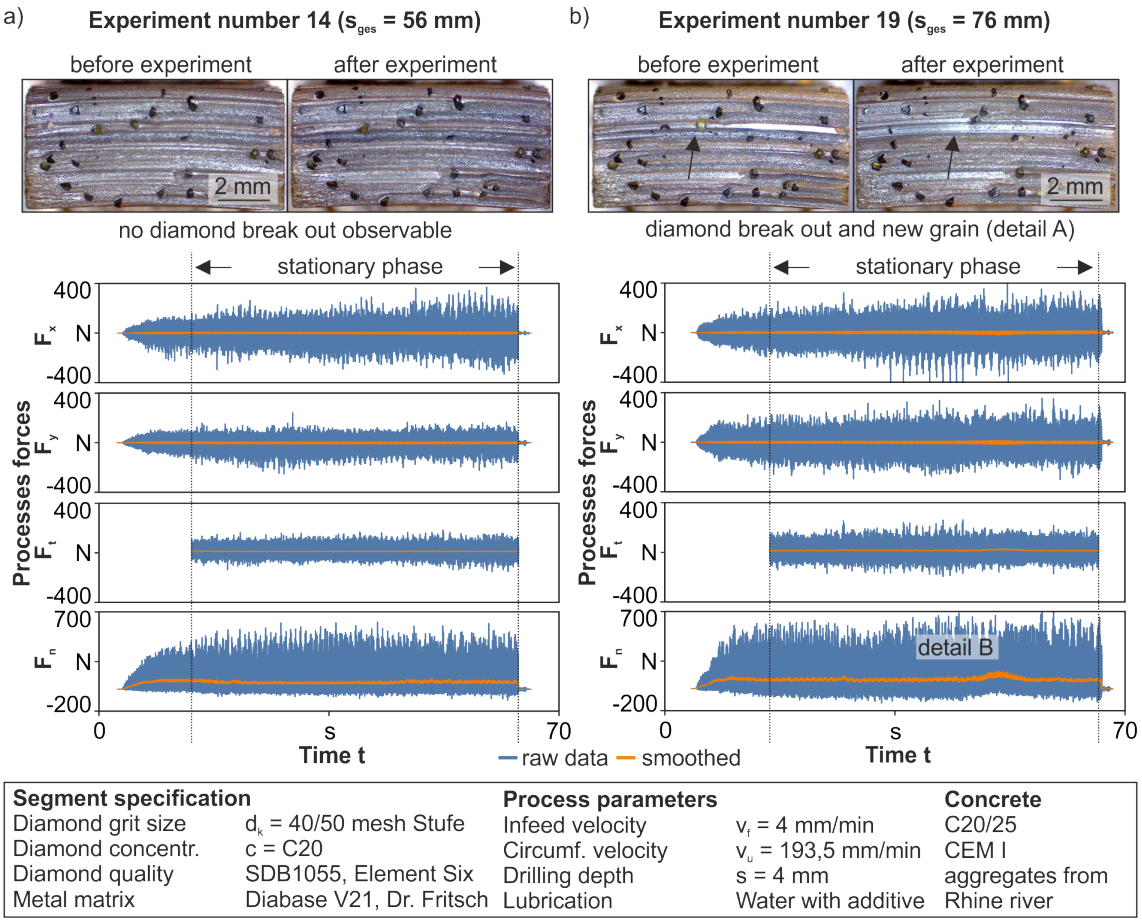

Abbildung 1: Darstellung der Rissbreite von WOS2 am 21.6.2016

Dabei wurde in den B-Experimenten nach jeweils einer Minute und in den C-Experimenten nach jeweils 30 Sekunden der Bohrprozess unterbrochen und die Oberfläche des Bohrsegmentes fotografiert. Bei allen Experimenten waren 75 Unterbrechungen geplant, so dass die Kraftzeitreihen jeweils in 75 Abschnitten vorliegen. Das Experiment B29 enthält zusätzlich 16 Vorversuche, in denen aber keine Kraftzeitreihen erfasst wurden, so dass die Nummerierung bei 17 beginnt. Bei Experiment B28 wurde in der Zeiteinheit 54 ausnahmsweise jeweils nach 30 Sekunden unterbrochen, so dass es zu dieser Minute zwei

Beobachtungen gibt. Diese werden bei den Kraftzeitreihen mit 54 und 56 nummeriert, so dass danach alle Nummern um 2 erhöht sind.

Anhand der Fotos wurde ermittelt, welche Diamanten herausgebrochen sind und welche Diamenten aus der Metallmatrix neu zum Vorschein gekommen sind. Ein Beispiel dazu liefert der obere Teil von Abbildung 1. Die Dateien

```
C25_Detail_Zhiyuan.xlsx,
C26_Detail_Zhiyuan.xlsx,
Dia_Zaehlung_Gesamt_Grundlage_Fotos.xlsx
```

enthalten die sichtbaren und nicht herausgebrochenen Diamanten in den sechs verschiedenen Bohrexperimenten.

Alle Dateien finden Sie im Moodle-Raum. Die Karftzeitreihen enthalten pro Minute ca. 616 Umdrehungen, wobei alle 0.0002 Sekunden die Kraft gemessen wurde. Somit umfasst jede Umdrehung ca. $\frac{60s}{0.0002s} \cdot \frac{1}{616} = 487,01$ Messpunkte. Siehe dazu auch Kansteiner et al. (2017, 2018). Durch die Inhomogenität des Betons ist die Bohrgeschwindigkeit pro Umdrehung nicht gleich und auch die Längen der Umdrehungen variieren leicht. Zusätzlich ist zu beachten, dass die Kraftzeitreihen am Anfang und am Ende Bereiche enthalten, in denen noch nicht bzw. nicht mehr gebohrt wurde.

Aufgaben

1) Bestimmen Sie die wahren Umdrehungslängen und die wahren Bohrbereiche.

2) Finden Sie eine zeitliche Zuordnung der in den Umdrehungen aufeinander folgenden Kraftzeitreihen mittels Time-Wrapping.

3) Bestimmen Sie Ausreißer in den Umdrehungen.

4) Bestimmen Sie plötzliche Änderungen in den Umdrehungen.

5) Bestimmen Sie anhand der Aufgaben 1 bis 4 mehrere Features für die einzelnen Zeiteinheiten (Minuten, halbe Minuten).

6) Können die Zeiteinheiten (Minuten, halbe Minuten) mit und ohne Diamantausbruch mittels der Features aus Aufgabe 5 klassifiziert werden?

7) Was ergibt eine Clusteranalyse mittels der Features aus Aufgabe 5?

Literatur

1) Abbas, S., Fried, R., Heinrich, J., Horn, M., Jakubzik, M., Kohlenbach, J., Maurer, R., Michels, A. und Müller, C.H. (2019). Detection of anomalous sequences in crack data of a bridge monitoring. To appear in: *Applications in Statistical Computing - From Music Data Analysis to Industrial Quality Improvement.* Eds. K. Ickstadt, H. Trautmann, G. Szepannek, N. Bauer, K. Lübke, M. Vichi, Springer.

2) Brockwell, P. J. und Davis, R. A. (2002). *Introduction to Time Series and Forecasting.* Springer, New York.

3) Hastie, T., Tibshirani, R. und Friedman, J. (2002). *The Elements of Statistical Learning. Data Mining, Inference and Prediction.* Springer, New York.

4) James, G., Witten, D., Hastie, T. und Tibshirani, R. (2013). *An Introduction to Statistical Learning.* Springer, New York.

5) Kansteiner, M., Biermann, D., Dagge, M., Müller, C.H., Ferreira, M. und Tillmann, W. (2017). Statistical evaluation of the wear behaviour of diamond impregnated tools used for the core drilling of concrete. In: *Euro PM2017*, European Powder Metallurgy Association.

6) Kansteiner, M., Biermann, D., Malevich, N., Horn, M., Müller, C.H., Ferreira, M. und Tillmann, W. (2018). Analysis of the wear behaviour of diamond impregnated tools used for the core drilling of concrete with statistical lifetime prediction. In: *Euro PM2018*, European Powder Metallurgy Association.

7) Killick, R., Fearnhead, P. und Eckley, I.A. (2012). Optimal detection of changepoints with a linear computational cost. *Journal of the American Statistical Association*, 107:500, 1590-1598, , DOI: 10.1080/01621459.2012.737745

8) Killick, R., Heynes, K. und Eckley, I. A. (2016). changepoint: An R package for changepoint analysis, R package version 2.2.2, `https://CRAN.R-project.org/package=changepoint` (26.9.2019)

9) Liu, R.Y., Parelius, J.M. und Singh, K. (1999). Multivariate analysis by data depth: descriptive statistics, graphics and inference, (with discussion and a rejoinder by Liu and Singh). *Annals of Statistics* **27**, 783-858.

10) Schürmann, D. (2019). Analyse mittels „dynamic time warp“. *Abschlussbericht.* TU Dortmund.

11) Zhang, Z., Cui, X., Jeske, D.R. und Borneman, J. (2013). Biclustering scatter plots using data depth measures. *Statistical Analysis and Data Mining* **6**, 102-115.

12) `https://cran.r-project.org/web/packages/dtw/dtw.pdf` (18.9.2019)

13) http://cran.r-project.org/web/packages/depth/depth.pdf (18.9.2019)

14) https://cran.r-project.org/web/packages/fda.usc/fda.usc.pdf (18.9.2019)

15) https://cran.r-project.org/web/packages/ddalpha/ddalpha.pdf (18.9.2019)

Abgabetermin

Abgabe am **Mittwoch, dem 8.1.2020**, in der Veranstaltung.