

## Kurzfassung

Der Waschprozess ist eine komplexe Kombination zahlreicher Wechselwirkungen. Zur Quantifizierung der Waschperformance dient die DIN EN 60456, welche tief greifende Rahmenbedingungen und Einschränkungen auferlegt. Die Konsequenz ist eine beherrschbare, aufwendige Messung der Waschperformance.

Die vorliegende Arbeit stellt ein alternatives Verfahren vor, welches die Waschperformance der genormten Schmutzarten mit Methoden des maschinellen Lernens abschätzt, ohne dabei dauerhaft auf die Verwendung und Auswertung von EN/IEC 60456-Streifen zurückgreifen zu müssen.

Hierfür wird ein skalierbarer, gläserner Prüfstand aufgebaut, welcher einerseits in der Lage ist, verschieden große Schwingsysteme zwischen 8 kg und 12 kg aufzunehmen und andererseits mit Messtechnik ausgerüstet ist, die vergleichbare Seriengeräte in puncto Genauigkeit, Abtastrate und Umfang übertrifft. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse wird dabei durch die Verifikation der Messmittel und der Waschperformance sichergestellt.

Im Rahmen von Waschversuchen werden die Parameter Drehzahl und Reversierhythmus variiert. Dabei werden die Waschperformance nach DIN EN 60456 bestimmt und zudem zahlreiche Messdaten aufgezeichnet. Die Ergebnisse dienen als Trainingsdaten für überwachte Lernprozesse, welche neben den variierten Versuchsparametern ebenfalls zahlreiche nicht-triviale Merkmale aus den Messdaten extrahieren.

Die Merkmale werden mithilfe verschiedener Methoden auf die signifikanten reduziert und für alle Schmutzarten werden unterschiedliche lineare und nicht lineare Regressionsfunktionen gebildet. Die Bewertung der Modelle liefert jeweils den besten der untersuchten Ansätze zur Abschätzung der Waschperformance jeder Schmutzart. Der mittlere Fehler (RMSE) der Modelle liegt zwischen 0,008 und 0,02 und damit innerhalb einer Waschperformanceklasse ( $\Delta = 0,03$ ) nach EG-Richtlinie 95/12/EG. Darüber hinaus lässt sich ein Konvergenzverhalten des Fehlers beobachten, wodurch ein genügend großer Stichprobenumfang nachgewiesen ist.

Als weiterführendes Ergebnis werden für jede Schmutzart Theorien zur physikalischen Interpretation nicht-trivialer Merkmale vorgestellt, wodurch der Ansatz der Identifikation signifikanter Merkmale bestätigt werden kann.

Als Ergebnisse konnten sowohl ein geeigneter Prüfstand als auch ein Verfahren zur Identifikation signifikanter Merkmale im Waschprozess erfolgreich realisiert werden.

## Abstract

The washing process is a complex combination of numerous interactions. DIN EN 60456, which imposes far-reaching constraints and restrictions, is used to quantify the washing performance. The consequence is a controllable measurement of the washing performance, which is connected with high expenditure.

The present dissertation presents an alternative method which assesses the washing performance of all standardized types of stain using machine learning methods without having to rely permanently on the use and evaluation of EN/IEC 60456 stain monitors. For this purpose, a scalable, transparent test stand is built, which on the one hand is able to include oscillating systems of different sizes between 8 kg and 12 kg and on the other hand is equipped with measuring technology that surpasses available household appliances in terms of accuracy, sampling rate and quantity. The transferability of the results is ensured by the verification of the measuring equipment and the washing performance.

Within the scope of washing tests, the parameters speed and reversing cycle are varied in order to adequately cover the field of research. The washing performance is determined in accordance with DIN EN 60456 and multitudinous measurement data are recorded. The results serve as training data for supervised learning processes which, in addition to the varied test parameters, also extract numerous non-trivial features from the measured data. The features are reduced to the significant ones using various regression methods. For all types of stain different linear and non-linear regression functions are calculated. The evaluation of the models provides the best of the tested approaches for estimating the washing performance of each type of stain. The mean error (RMSE) of the models is between 0.008 and 0.02 and thus within one washing performance class ( $\Delta = 0;03$ ) according to EG Directive 95/12/EC.

In addition, a convergence behaviour of the model-error can be observed, whereby a sufficiently large sample size is proven.

As a further result, theories on the physical interpretation of non-trivial features are presented for each type of stain, whereby the approach of identifying significant features can be confirmed.

Both, a suitable test stand and a procedure for identifying significant features in the washing process were successfully implemented as results.