

KI-basierte Audioanalyse zur feuchtigkeitsgeregelten Trocknung im Tumbler

01IF22182N

In den derzeit auf dem Markt befindlichen gewerblichen Tumbler ab einer Beladungsmenge von ca. 40 kg sind die Trocknungsprozesse lediglich zeitgesteuert; bei zeitgesteuerten Trocknungsprozessen wird die Restfeuchte der Wäscheteile nicht mit ausreichender Genauigkeit erfasst. Um Kundenreklamationen aufgrund von Stockflecken zu vermeiden, werden die Wäscheteile in textilen Dienstleistungsbetrieben oftmals übertrocknet; die auftretende Textilschädigung bzw. verkürzte Lebensdauer muss in Kauf genommen werden.

Ziel des Forschungsprojektes war es, den Trocknungsprozess im Tumbler über ein auf Audioanalyse basierendes KI-System zu regeln. Dabei wurden die Audiodaten der Abroll- und Fallgeräusche des Wäschepostens in der Trommel als Messgröße genutzt, die vom Gewicht und somit von der Restfeuchte abhängig ist. Zur Erfassung der Audiodaten wurde ein Audioaufnahmesystem (Funktionsmuster) entwickelt, welches in das Tumblergehäuse integriert wurde; die Analyse und Auswertung der Audiodaten erfolgte mittels eines speziell für diese Anwendung entwickelten künstlichen neuronalen Netzwerkes, das nach dem Anlernen die momentane Restfeuchte des Wäschepostens (Regelgröße) bestimmen kann. Zum Erhalt geeigneter Eingangsdaten wurden die Audiodaten mittels diskreter Fourier-Transformation in diskrete Frequenzen (Tonlagen) mit dazugehörigen zeitabhängigen Amplituden (Lautstärken) umgewandelt. Nach Skalierung werden Störsignale (Betriebs- und Umgebungsgeräusche) vom gestörten Nutzsignal subtrahiert. Die ermittelte textile Restfeuchte dient als Regelgröße für den Trocknungsprozess. Durch die feuchtigkeitsgesteuerte Regelung von Trocknungsprozessen lassen sich Textilschädigung und Wärmeenergiebedarf minimieren.

Fortsetzung auf Seite 2

AI-based audio analysis for moisture controlled drying in tumblers

01IF22182N

In the commercial tumblers currently on the market with load capacities of approx. 40 kg and above, the drying processes are only time-controlled; in time-controlled drying processes, the residual moisture of the laundry items is not recorded with sufficient accuracy. In order to avoid customer complaints due to mildew stains, the laundry parts are often over-dried in textile service companies; the resulting textile damage or shortened service life must be accepted.

The aim of the research project was to control the drying process in the tumbler using an AI system based on audio analysis. For this purpose, the audio data of the rolling and falling noises of the laundry item in the drum were used as a measured variable, which depends on the weight and thus on the residual moisture. For the acquisition of the audio data, an audio recording system was developed, which is integrated into the tumbler housing; the analysis and evaluation of the audio data was carried out by means of an artificial neural network, which was developed especially for this application and which can determine the instantaneous residual moisture of the laundry item (controlled variable) after learning. To obtain suitable input data, the audio data were converted into discrete frequencies (pitches) with associated time-dependent amplitudes (volumes) by means of discrete Fourier transformation; after scaling, interfering signals (operating and ambient noise) were subtracted from the interfered useful signal. The determined residual textile moisture serves as a controlled variable for the drying process. Moisture-controlled regulation of drying processes minimizes textile damage and thermal energy requirements.

To be continued on page 2

Fortsetzung:

O1IF22182N

Das entwickelte KNN besteht aus zwei Faltungsschichten, welche die eingehenden Spektren der korrigierten Nutzsignale entlang des gesamten Frequenz- und Zeitbereichs filtern. Anschließend werden die resultierenden Daten in einen eindimensionalen Vektor umgewandelt und durch fünf vollständig verknüpfte Schichten bis zu einem Restfeuchtwert oder einer Zahl an Restfeuchtekategorien weiterverarbeitet. Es konnte so ein Modell erstellt werden, das eine gute Vorhersagbarkeit für die Restfeuchte bietet und bei Übertragung auf neue Werte weniger als 10 % an Vorhersagegenauigkeit einbüßt.

In Untersuchungen unter praxisnahen Bedingungen an einem gewerblichen Tumbler wurden die Audiodaten mit einem integrierten System aus einem Raspberry Pi 4 mit einer Coral Edge TPU und angeschlossenen Körperschallmikrofonen während der Trocknung erfasst. Die dabei angewandte, vereinfachte KI-basierte Vorhersage der Restfeuchte ohne Audiokorrektur mit Klassifizierung in drei Restfeuchtekategorien über das KNN-Modell funktionierte grundsätzlich, wies jedoch durch die fehlende Audiokorrektur und die Datenkompression auf 8-Bit Einschränkungen in der Genauigkeit auf. Trotz fehlender Audiokorrektur konnte eine Vorhersagegenauigkeit von 83,8% vor der Datenkompression erreicht werden. Bei Verwendung eines leistungsstärkeren Kleinrechners kann die Vorhersagewahrscheinlichkeit weiter erhöht werden. Die prinzipielle Eignung der entwickelten KI-basierten Audioanalyse zur kontinuierlichen Erfassung der Restfeuchte wurde damit nachgewiesen.

Zur auf den Ergebnissen aufbauenden späteren Praxisumsetzung wurden zusätzlich bautechnische Maßnahmen zur Integration von Kontaktmikrofonen und Luftschallmikrofonen in typische Trocknerbauarten entwickelt und Empfehlungen zur Anwendung des entwickelten Audiosystems mit zugehöriger Hard- und Software zur Anwendung der KI-basierten Audioanalyse zum feuchtigkeitsgeregelten Trocknungsprozesses erarbeitet.

Der Forschungsbericht ist auf Anfrage beim wfk - Cleaning Technology Institute erhältlich.

Continued:

O1IF22182N

The developed KNN consists of two convolution layers that filter the incoming spectra of the corrected useful signals along the entire frequency and time range. The resulting data is then converted into a one-dimensional vector and processed through five fully linked layers to a residual moisture value or a number of residual moisture categories. In this way, a model could be created that offers good predictability for the residual moisture and loses less than 10 % in predictive accuracy when transferred to new values.

In tests under practical conditions on a commercial tumble dryer, the audio data was recorded during drying using an integrated system consisting of a Raspberry Pi 4 with a Coral Edge TPU and connected structure-borne sound microphones. The simplified AI-based prediction of residual moisture without audio correction with classification into three residual moisture categories using the KNN model works in principle, but had limitations in accuracy due to the lack of audio correction and data compression to 8-bit. Despite the lack of audio correction, a prediction accuracy of 83.8% was achieved before data compression. The prediction probability can be further increased by using a more powerful small computer. The basic suitability of the developed AI-based audio analysis for the continuous detection of residual moisture was thus demonstrated.

For subsequent practical implementation based on the results, additional structural measures for the integration of contact microphones and airborne sound microphones in typical dryer designs were developed and recommendations for the application of the developed audio system with associated hardware and software for the application of AI-based audio analysis for moisture-controlled drying processes were drawn up.

The research report is available on request from the wfk - Cleaning Technology Institute

Das IGF-Projekt O1IF22182N der Forschungsvereinigung Forschungskuratorium Textil e.V., Reinhardtstraße 14-16, 10117 Berlin, wurde im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

The IGF project O1IF22182N of the research association Forschungskuratorium Textil e.V., Reinhardtstr. 14-16, D-10117 Berlin, was supported within the funding program „Industrielle Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF)“ by the Federal Ministry of Economic Affairs and Climate Action due to a decision of the German Parliament.