

# Innovative Kalibrationsverfahren zur Nahinfrarot-Online-Echtzeitanalyse von Mineralien mit Schwerpunkt Eisenerz

Bei der Eisenerz-Herstellung ist die Überwachung der chemischen Zusammensetzung der verwendeten Mineralien von zentraler Bedeutung. Dementsprechend wichtig ist es, diese möglichst genau und rasch messtechnisch erfassen zu können.

Michael Lüthy

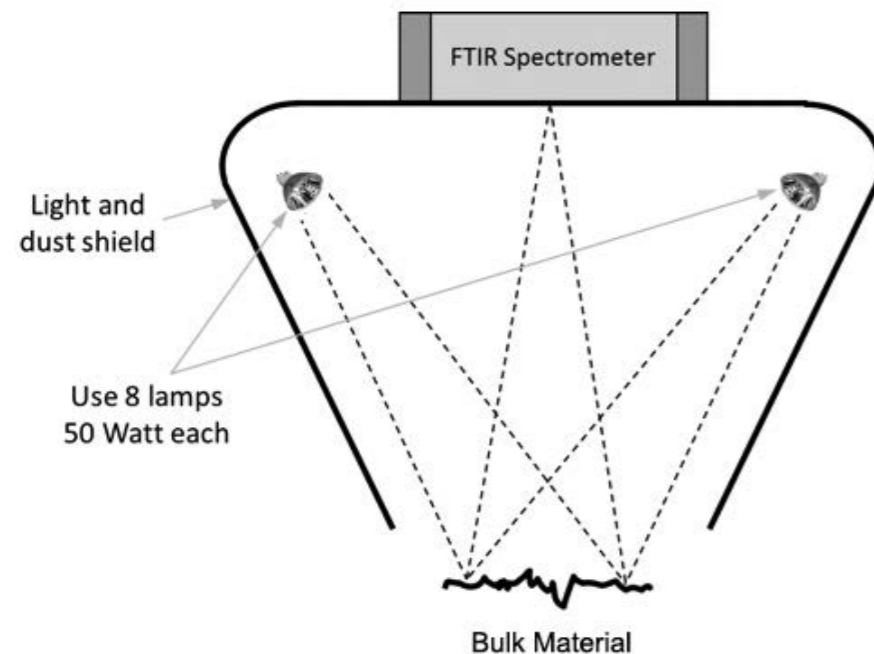


Abbildung 1: Analysator von SpectraFlow Analytics

## Ausgangslage und Projektziel

In der Eisenerzindustrie ist die Überwachung der Mischungsverhältnisse der einzelnen benötigten Mineralien notwendig, um eine möglichst hohe Qualität des Eisenerzes zu erreichen. Grund dafür ist, dass die chemische Zusammensetzung der verwendeten Rohmaterialien (z.B. Kalkstein, Kohle oder Bauxit) aufgrund deren natürlichen Gegebenheiten nicht konstant ist. Aktuell wird diese Überwachung grösstenteils mit der Röntgenfluoreszenzanalyse (kurz: XRF-Analyse) durchgeführt, welche in regelmässigen Abständen die elementare Zusammensetzung der Mineralprobe ausmisst. Die Methode liefert sehr genaue Messresultate, ist jedoch aufwändig und zeitintensiv.

Die Startup-Firma SpectraFlow Analytics in Neuenhof operiert seit 2013 in diesem Bereich und bietet als einzige Firma in der Schweiz Systeme zur Nahinfrarot-Online-Analyse von Rohmaterialien in der Zementherstellung an. Mit einem Messzyklus von einer Minute kann deren

System die chemische Zusammensetzung im Vergleich mit der XRF-Methode deutlich schneller erfassen und erlaubt damit eine bessere Überwachung der Qualität.

Zur Erweiterung des Anwendungsgebiets auf die ressourcenschonende Verarbeitung von Eisenerzen wurde im Rahmen eines KTI-Projektes untersucht, wie sich das bestehende Konzept aus Messsystem und Kalibrationsroutine verbessern und auf die speziellen Bedürfnisse der Eisenerzindustrie anpassen lässt.

## Funktionsprinzip

Der Analysator von SpectraFlow nimmt vom sich darunter befindenden Material Spektren im Nahinfrarotbereich auf und evaluiert diese anschliessend über ein hinterlegtes, mathematisches Modell, um die chemische Zusammensetzung zu bestimmen. In Abbildung 1 ist eine vereinfachte Darstellung des Analysators zu sehen.



Abbildung 2: Kalibrationsprozess

Für die Erstellung des mathematischen Modells zur Auswertung der Spektren ist eine Kalibration notwendig. Eine solche Kalibration besteht aus mehreren Zwischenschritten, welche in Abbildung 2 zu sehen sind.

Die Schwierigkeit liegt darin, ein Modell zu erstellen, welches nicht nur in der Kalibration, sondern auch an der Anlage ausreichend genaue Werte bezüglich der chemischen Zusammensetzung liefert.

## Vorgehen

In einem ersten Schritt wurde das bestehende Kalibrationskonzept analysiert, um besser zu verstehen, wo mögliche Störgrössen das System beeinflussen können. Dabei wurden sämtliche in Abbildung 2 dargestellten Schritte analysiert.

Um die neuen Ansätze unter möglichst idealen Bedingungen testen zu können, wurden eigene Proben mit synthetischen Reinmaterialien gemischt. Die Spektren einer solchen Probe sind in Abbildung 3 zu sehen. Daneben standen verschiedene Datensätze von Kundenanlagen zur Verfügung. Diese wurden genutzt, um die Performance der neuen Ansätze anhand von Daten zu analysieren, wie sie auch in den Anlagen vorkommen.

Bei der Evaluation neuer Kalibrationsansätze wurden zahlreiche Regressionsverfahren und Vorverarbeitungsmethoden in Betracht gezogen. In die engere Wahl kamen dabei jene Verfahren, welche bezüglich Genauigkeit und Robustheit über die dazu erforderlichen Eigenschaften verfügten.

## Resultate

In den Versuchen mit den eigens gemischten Proben und den Daten von Kundenanlagen zeigte sich, dass eine Kalibration möglich ist. Dabei schnitten besonders die Verfahren gut ab, welche die Dimensionalität der Spektren reduzierten. Verfahren wie die Sparse Partial Least Squares Regression (SPLS), welche dazu noch eine Variablenselektion durchführen, wiesen sehr gute Ergebnisse aus.

Die Untersuchungen zeigten zudem, dass durch eine sinnvolle Wahl des anzuwendenden Spektralbereichs die Kalibrationsergebnisse verbessert werden können. Zudem

führte die Verwendung der ersten und zweiten spektralen Ableitung zu robusteren Ergebnissen bei Daten im Onlinebetrieb, obwohl die Vorhersageergebnisse der Trainings- und Testdaten gegenüber der nullten spektralen Ableitung schlechter wurden.

Auch der Einfluss von Störgrössen in den Spektren auf die Kalibration wurde genauer untersucht. Luftfeuchtigkeit, Wassergehalt, Temperatur und auch die Lampenalterung haben einen Einfluss auf die Spektren und damit auf die Kalibration. Systematische Störungen, welche während der Modellierung nicht berücksichtigt wurden, führen zu einem konstanten Offset in der Konzentrationsvorhersage.

## Ausblick

Diese Erkenntnisse bezüglich der Vorverarbeitung, der Beschaffenheit der Trainingsdaten sowie dem Einfluss von Störgrössen halfen, die Performance der Kalibration bezüglich Robustheit und Genauigkeit bei der Anwendung in der Eisenerzherstellung zu verbessern. SpectraFlow konnte nicht zuletzt dank der neuen Erkenntnisse dieses Forschungsprojektes mehrere neue Analysatoren an Werke in der Eisenerzindustrie verkaufen. Das KTI Projekt konnte im Sommer 2017 erfolgreich abgeschlossen werden.

Das Projektteam der FHNW bedankt sich bei der KTI, ohne welche die Durchführung dieses Forschungsprojektes nicht möglich gewesen wäre.

## Umsetzungspartner

SpectraFlow Analytics AG, Neuenhof

## Projektteam

Prof. Dr. Sebastian Gaulocher, Studiengangleiter EIT, [sebastian.gaulocher@fhnw.ch](mailto:sebastian.gaulocher@fhnw.ch)  
 Prof. Dr. Marcel Steiner, Dozent, [marcel.steiner@fhnw.ch](mailto:marcel.steiner@fhnw.ch)  
 Michael Lüthy, Masterstudent und Wissenschaftlicher Assistent [michael.luethy@fhnw.ch](mailto:michael.luethy@fhnw.ch)  
 Jan Steger, Masterstudent und Wissenschaftlicher Assistent, [jan.steger@fhnw.ch](mailto:jan.steger@fhnw.ch)

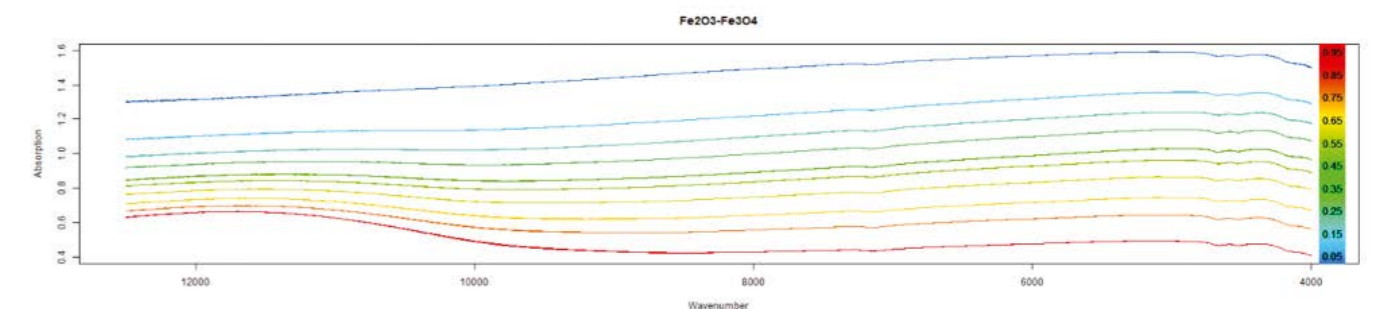


Abbildung 3: Laboraufnahmen von Hämatit-Magnetit-Mischungen, eingefärbt nach Magnetit-Gehalt (0-100%)