

Hyperspektrale Betrachtung von Maispflanzen für die Entwicklung eines optischen Siebverfahrens

Vorstellung und Diskussion unterschiedlicher Methoden

Sven Belau ¹, Cornelia Weltzien² und Arno Ruckelshausen³

Abstract: Die qualitätsrelevanten Parameter von Maissilage sollen über ein optisches Siebverfahren bestimmt werden. Mit einer hyperspektralen Kamera werden im spektralen Bereich von etwa 950 nm bis 1700 nm Eigenschaften untersucht, welche zur Unterscheidung von Inhaltsstoffen verwendet werden können und anschließend zur optischen Separierung von Kornfragmenten von der Restpflanze. Es werden drei unterschiedliche Verfahren genutzt und diskutiert. Zum einen wird ein Ansatz basierend auf klassischer Bildverarbeitung verwendet, welcher einen normierten Differenzindex auf Grundlage von zuvor ermittelten Farbkanälen nutzt, des Weiteren wird ein Ansatz über maschinelles Lernen auf Grundlage einer Merkmalsauswahl über eine Hauptkomponentenanalyse verwendet und zuletzt ein Ansatz über eine Merkmalsbestimmung über eine Betrachtung der Histogramme der Intensitätswerte der jeweiligen Wellenlängen. Dabei zeigt der letzte Ansatz die besten Ergebnisse. Eine optische Siebung von getrockneter Maissilage ist zuverlässig möglich, frische Maissilage ist mit keinem dieser Ansätze zuverlässig optisch siebbar.

Keywords: Hauptkomponentenanalyse, Hyperspektrale Bildgebung, KNN, Machine Learning, Maissilage, Normalized Difference Index, Wellenlängenauswahl

1 Einleitung

Für die Bestimmung von qualitätsrelevanten Parametern der Maissilage bei der Tierfütterung werden aktuell manuelle oder mechanische Siebverfahren eingesetzt. Diese Siebverfahren sind zeitaufwändig und durch die fehlende Reproduzierbarkeit ungenau. Als Indikator für die Qualität der Maissilage dient unter anderem der Kornaufbereitungsgrad der in der Silage enthaltenen Maiskörner [Me05]. Um diese Größe in geeigneter Weise zu bestimmen, werden bisher Separationsverfahren verwendet, die entweder einen hohen Zeitaufwand oder einen hohen technischen Aufwand mit sich bringen. Um die bisherigen Praktiken zur Separation der unterschiedlichen Bestandteile

¹ Hochschule Osnabrück, Fakultät für Ingenieurwissenschaften und Informatik, Sedanstraße 26, 49076

Osnabrück, s.belau@hs-osnabrueck.de,  <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

² TU Berlin, Fachgebiet Agromechatronik, Straße des 17. Juni 144, 10623 Berlin / ATB Potsdam, Technik im Pflanzenbau, Max-Eyth-Alle 100, 14469 Potsdam, CWeltzien@atb-potsdam.de

³ Hochschule Osnabrück, Fakultät für Ingenieurwissenschaften und Informatik, Sedanstraße 26, 49076, A.Ruckelshausen@hs-osnabrueck.de

der Maissilage und eine anschließende Bestimmung der Größenverteilung der Kornfragmente zu vereinfachen, wird ein hyperspektraler Ansatz zur Identifikation von Kornfragmenten und einer anschließenden Partikelgrößenbestimmung verfolgt. Hierfür werden zunächst die spektralen Eigenschaften, die Absorptionsspektren der Inhaltsstoffe, der unterschiedlichen Fraktionen ermittelt. Dabei konzentriert sich die Maisstärke in den einzelnen Körnern, das gebundene Wasser befindet sich hauptsächlich in der Restpflanze [JFW93]. Diese Inhaltsstoffe werden zur spektralen Unterscheidung hinzugezogen und örtlich getrennt den Einzelpartikeln zugewiesen. Zur Identifikation der einzelnen Kornfragmente und der Größenbestimmung werden drei unterschiedliche Ansätze vorgestellt und diskutiert.

2 Material und Methoden

Für die Datenaufnahme wurde das bildgebende Spektrometer Helios Core NIR der Firma EVK DI Kerschhaggl GmbH verwendet. Diese Kamera ist wegen des verbauten Kamera-Chips aus InGaAs sensitiv für Wellenlängen im Bereich von etwa 950 nm bis 1700 nm. Diese Zeilenkamera liefert so über eine Bildbreite von 240 Pixeln 252 unterschiedliche Spektralkanäle, welche durch das sogenannte „Push-Broom“-Prinzip örtlich aufgelöste Bilder mit einer Länge von 720 Pixeln in dreidimensionale Arrays bzw. Hypercubes (720 x 240 x 252) schreibt. Neben der Kamera besteht der Messaufbau aus einer Belichtungseinheit mit zwei Halogenstrahlern, welche breitbandiges Licht, unter anderem im gewünschten NIR-Bereich, emittiert. Mit diesem Messaufbau werden nun sechs unterschiedliche Probenklassen vermessen. Hierzu gehören aus frischer Maissilage (Trockensubstanzanteil von ca. 35 %) separierte Mais Kornpartikel, getrocknete Mais Kornpartikel, die pflanzlichen Restpartikel der frischen Maissilage, die getrockneten Pflanzenpartikel sowie frische Maissilagen und getrocknete Maissilagen. Insgesamt wurden 72 Bilder aufgenommen.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Bestimmung eines normierten Differenz-Index auf Grundlage von charakteristischen Wellenlängen

Zur Identifikation von Wellenlängen, welche charakteristisch für Inhaltsstoffe der jeweiligen Probenklassen sind, werden unterschiedliche Ansätze gewählt. Zum einen werden die Reflexionsspektren der Kornbestandteile KB und der Restpflanze NKB aus den Mittelwertspektren der jeweiligen Hypercubes der frischen Maissilage bestimmt (Abb. 1a). Hierfür werden die gemessenen Reflexionswerte jeder Wellenlänge pixelweise betrachtet und die daraus entstehenden Spektren für die Kornfraktion und die Pflanzenfraktion über den Mittelwert zusammengefasst. Bei der Betrachtung des Betrags

der Differenz dieser Reflexionsspektren (Abb. 1b) fallen die Wellenlängenbereiche um 1220 nm und 1450 nm auf, welche sich mit den in der Literatur identifizierten charakteristischen Absorptionsspektren für Wasser und Stärke bzw. der OH-Bänder decken [Se19, Us04].

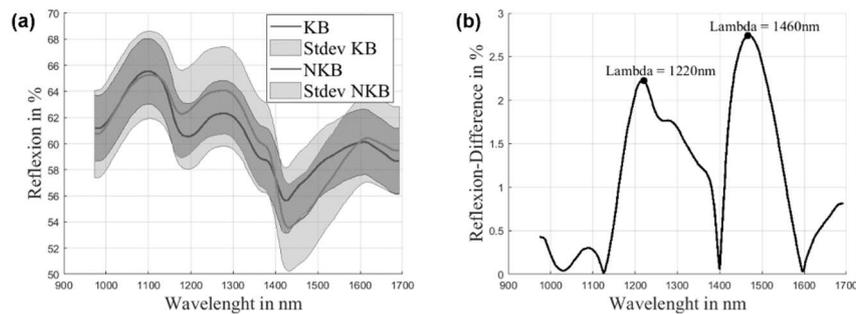


Abb. 1: a) Mittelwertspektren der KB- und NKB-Fraktion (frische Maissilage); b) Betrag der Differenz der Mittelwertspektren der KB- und NKB-Fraktion (frische Maissilage)

Parallel wurde auf Grundlage aller Spektren eine Hauptkomponentenanalyse PCA durchgeführt. Dafür wurden alle Einzelspektren der Kornfraktion und der Pflanzenfraktion verwendet. Bei einer Cluster-Bildung der ersten drei Hauptkomponenten ist eine eingeschränkte Trennung beider Fraktionen vor allem über die dritte Hauptkomponente zu beobachten (Abb. 2a). Werden diese Komponenten über die Wellenlänge aufgetragen (Abb. 2b), so fallen die Extremwerte der dritten Hauptkomponente PC3 ebenfalls im Wellenlängenbereich um 1220 nm und 1460 nm auf. Diese sind als signifikante Wellenlängen für die Separierung dieser Fraktionen zu interpretieren, was sich mit den Ergebnissen der vorherigen Methoden deckt.

Werden nun diese beiden Wellenlängen verwendet, um einen normierten Differenzindex zu ermitteln, so lassen sich normierte Differenzbilder der Maissilage erzeugen. Aus der frischen Maissilage ist eine Extraktion der KB-Fraktion über dieses Verfahren nicht möglich, da sich die OH-Bande um 1450 nm eindeutig dominant im Gegensatz zu der OH-Bande bei 1220 nm verhält. Bei einer getrockneten Maissilage entfällt der dominante Einfluss des Wassers und die einzelnen Kornpartikel werden sichtbar. Mit einem gewählten Threshold von 25 % der maximalen Intensität werden so einzelne Kornpartikel sichtbar und detektierbar (Abb.4 a).

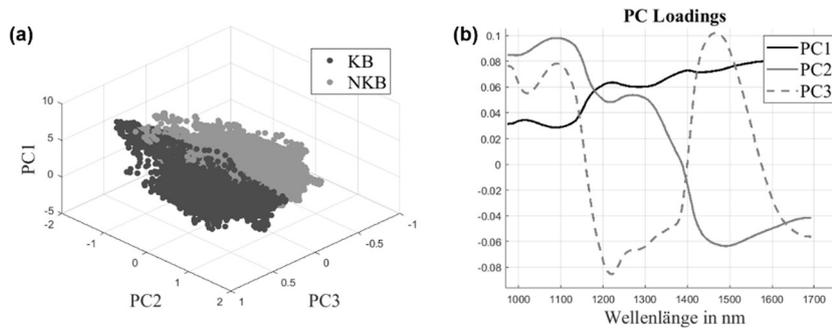


Abb. 2: a) Hauptkomponenten PC1 bis PC3 der KB- und NKB-Fraktion; b) PC Loadings der Hauptkomponenten PC1 bis PC3

3.2 Bestimmung der Kornpartikel mittels Machine Learning auf durch eine PCA ermittelte Spektren

Die Wellenlängenauswahl mittels PCA wird nun verwendet, um Graustufenbilder der jeweiligen Proben zu erzeugen. Aus den so reduzierten Hypercubes der KB- und der NKB-Fraktion wird nun ein Trainingsdatensatz für eine „k-Nearest Neighbor“ (KNN) Klassifikation erstellt. Dafür wurden die verwendeten Hypercubes entsprechend zugeschnitten und manuell mit dem Label „KB“ oder „NKB“ versehen. Für die Klassifikation eines Datenpunktes werden dabei die fünf Nachbarwerte und deren euklidischer Abstand zu dem zu klassifizierenden Punkt einbezogen. Ist dieser Abstand minimal, so wird der Datenpunkt der Klasse zugewiesen, der die Mehrzahl der Nachbarwerte angehört. Über dieses Verfahren werden 94,17 % der als KB markierten Datenpunkte auch korrekt klassifiziert, ebenso sind 94,64 % der NKB-Datenpunkte korrekt klassifiziert worden. Eine Visualisierung dieses Modells zeigt allerdings eine Ununterscheidbarkeit für feuchte Proben und eine unzureichende Abgrenzung für trockene Proben (Abb. 4b).

3.3 Bestimmung der Kornpartikel mittels Machine Learning auf aus Histogrammen ermittelte Spektren

Als Verfahren zur Auswahl geeigneter Wellenlängen werden nun Histogramme für die Auftrittshäufigkeit von Intensitäten für jede Wellenlänge jeweils für alle Pixel der KB- und NKB-Fraktionen erstellt. In Abbildung 3 sind exemplarisch die Histogramme beider Fraktionen für die Wellenlängen 1220 nm und 1460 nm zu sehen. Daraus wird ebenfalls deutlich, dass der Wellenlängenbereich um 1460 nm nicht optimal für die Separation beider Fraktionen ist, da eine hohe Überlappung der Intensitätswerte beider Fraktionen auftritt. Ziel ist deshalb die Identifikation von Wellenlängen, bei der diese Überlappung möglichst gering ausfällt. Hierfür werden nun die Überlappungsflächen der Histogramme

für die KB- und die NKB-Fraktion für jede Wellenlänge bestimmt. Aus diesen Betrachtungen zeichnen sich die Wellenlängen 1210 nm, 1240 nm, 1390 nm, 1630 nm und 1690 nm als besonders geeignet aus.

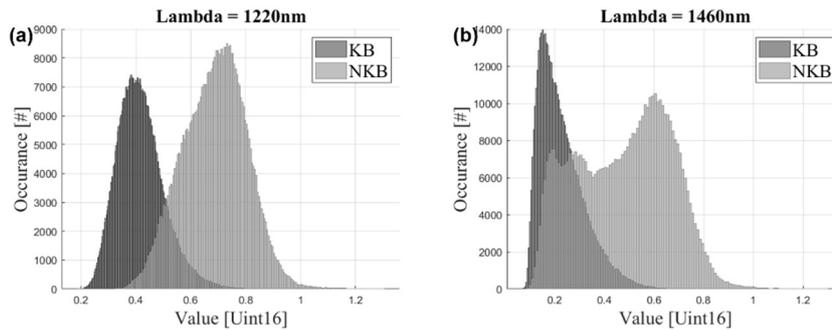


Abb. 3: Intensitätsverteilung der einzelnen Bildpunkte für KB- und NKB-Proben bei a) 1220 nm; b) 1460 nm

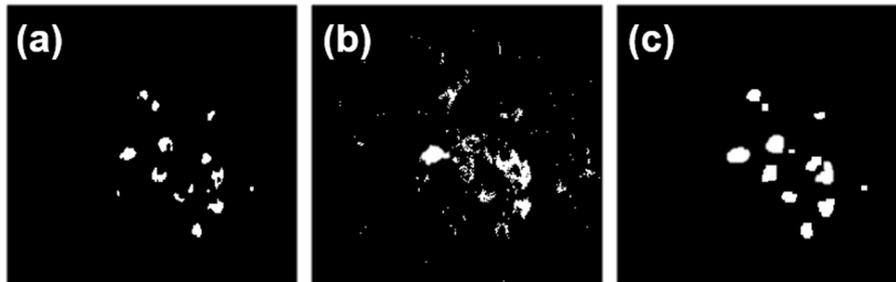


Abb. 4: Visualisierung einer getrockneten Maissilage nach a) Bestimmung eines normierten Differenzindex; b) einer KNN-Klassifikation mittels PCA-Features; c) einer KNN-Klassifikation mittels Features einer Intensitätsbetrachtung

Analog zu Methode 2 wird nun eine KNN-Klassifikation auf Grundlage der bestimmten Wellenlängenbereiche trainiert. Eine Verwendung weiterer Wellenlängen führte zu keiner signifikanten Erhöhung der Klassifikationsgenauigkeit. In diesem Klassifikationsmodell werden 98,05 % der als KB markierten Datenpunkte korrekt klassifiziert, sowie 99,06 % der als NKB markierten Datenpunkte. Die Identifikation einzelner Partikel gestaltet sich bei der frischen Probe zwar auch hier als schwierig, ist für die getrocknete Probe allerdings einwandfrei möglich (Abb. 4c). Selbst nah beieinander liegende Partikel werden zuverlässig getrennt und können so mittels Objekterkennung zum einen identifiziert werden und zum anderen ist die Bestimmung einer Größenverteilung und somit einer mittleren Partikelgröße möglich.

4 Schlussfolgerung

Es wurden drei unterschiedliche Methoden zur Bestimmung der Korngrößenverteilung stellvertretend für die Qualitätsanalyse der Maissilage mit Hilfe eines optischen Siebes angewendet. Alle Verfahren zeigen Schwierigkeiten bei der Verarbeitung von frischer Maissilage, da eine Feature-Auswahl über charakteristische Wellenlängen die Spektralbereiche der OH-Bänder einschließt. In diesen OH-Bändern werden die Wassermoleküle stärker zu Vibrationen angeregt, was zu einer signifikanteren Absorption in diesen Bereichen führt als es für die charakteristischen Stärkeanteile in den Kornfragmenten möglich ist. Gleichzeitig zeigt dies allerdings auch, dass in getrockneten Maissilagen eine Identifikation von Kornfragmenten zuverlässig möglich ist. Bei dem Vergleich der unterschiedlichen Methoden fällt hierbei vor allem der Ansatz über Intensitätsverteilungen der jeweiligen Wellenlängen besonders positiv auf, da hier im Vergleich zur ersten Methode mittels Bildung eines normierten Differenzindex eine quantifizierbare und präzisere Aussage über die Genauigkeit der Detektion zu treffen ist. Im Vergleich zu der Klassifikation über die Wellenlängenauswahl mittels PCA wird über diesen Ansatz zusätzlich eine geringere Menge an Fehlklassifikationen erzielt, was für eine exakte Bestimmung der Konturen der Kornfragmente sorgt. Mit der hier beschriebenen Auswertemethodik ist es durch die geringe Anzahl der Fehlklassifikationen möglich, einzelne Kornfragmente zu identifizieren und so getrocknete Maissilageproben optisch zu sieben und eine quantitative Aussage über die Aufbereitungsqualität dieser Silage zu treffen. In weiterführenden Versuchen ist eine Plausibilisierung der optischen Siebergebnisse mit herkömmlichen Siebergebnissen durchzuführen sowie eine Optimierung der Eingangsparameter der verwendeten Klassifikation.

Literaturverzeichnis

- [JFW93] JEROCH, Heinz; FLACHOWSKY, Gerhard; WEISSBACH, Friedrich (Hg.). Futtermittelkunde. G. Fischer, 1993.
- [Me05] MERTENS, David R. Particle size, fragmentation index, and effective fiber: Tools for evaluating the physical attributes of corn silages. In: Proc. Four-State Dairy Nutr. & Mgmt. Conf. MWPS-4SD18. Dubuque, IA. 2005. S. 211-220.
- [Se19] SENDIN, Kate, et al. Near infrared hyperspectral imaging for white maize classification according to grading regulations. Food Analytical Methods, 2019, 12. Jg., Nr. 7, S. 1612-1624.
- [Us04] USTIN, Susan L. (Hg.). Manual of Remote Sensing, Remote Sensing for Natural Resource Management and Environmental Monitoring. John Wiley & Sons, 2004.