

Vergleich der zeitlichen Entwicklung zwischen Getreidekulturen in Sachsen-Anhalt & Qualitätssicherung Field Reader/Survey

Modul: Land System Science 3 - Project-based Study in Geoecology, SoSe 2024
 Cara Marcia Grün, David Hautmann, Gregor Menzel und Jonas Till

Einleitung und Standortbeschreibung

Roggen und Dinkel gelten aufgrund ihrer Genügsamkeit und hohen Ertragsstabilität bei niedrigen Anbauintensitäten als hervorragende Getreidesorten für den Ökolandbau.^{1,2,3} Als dritt wichtigste Getreideart für Futter und Nahrung, wird Roggen in der Bundesrepublik auch als Gaspflanzensilage für die Biogas-Energieerzeugung genutzt.^{4,5,6} Die Entwicklung der Anbaukulturen Roggen und Dinkel wurde von der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg (MLU) anhand verschiedener Pflanzenparameter gemessen. Hierfür wurde der von der MLU für geoökologische Feld- und Laboruntersuchungen entwickelte Field-Reader "GeoLAB" samt dazugehörigen digitalen Field-Survey getestet und evaluiert.

Die **Untersuchungsgebiete** (Elementary Sampling Unit, ESU) befinden sich in Sachsen-Anhalt an den Standorten Brachwitz (ESU1 und ESU2) für Roggen und Etdorf (ESU3) für Dinkel östlich von Halle (Saale). Diese Region gehört zum Mitteldeutschen Trockengebiet mit einer mittleren Jahrestemperatur von 10,8 °C.^{7,8} Die mittleren Jahresniederschlägen betragen 469 mm (2009-2023) in Brachwitz und 383 mm (2017-2023) in Etdorf.^{7,8} Die Versuchsstandorte in Brachwitz sind leicht geneigt (125 m ü. NN bis 130 m ü. NN), während die Topographie in Etdorf flach ist (130 m ü. NN).⁹ ESU1 hat Böden aus verwittertem Festgestein (Rhyolith) mit sandigem Lehm, während ESU2 hauptsächlich aus glazialen Sedimenten und lehmigem Sand besteht.¹⁰ ESU3 ist durch Löss und schluffigen Lehm geprägt.¹⁰

Fragestellung

1. Zeigen die Pflanzenparameter statistisch signifikante Unterschiede und Trends zwischen den verschiedenen Getreidekulturen, ESUs und über die Messzeitpunkte hinweg und stehen der Bedeckungsgrad, die Wuchshöhe und der Leaf Area Index in Zusammenhang?
2. Welche Probleme, Herausforderungen und Verbesserungsmöglichkeiten können für den Field-Reader und Field-Survey „GeoLAB“ abgeleitet werden?

Zeitliche Entwicklung der Parameter

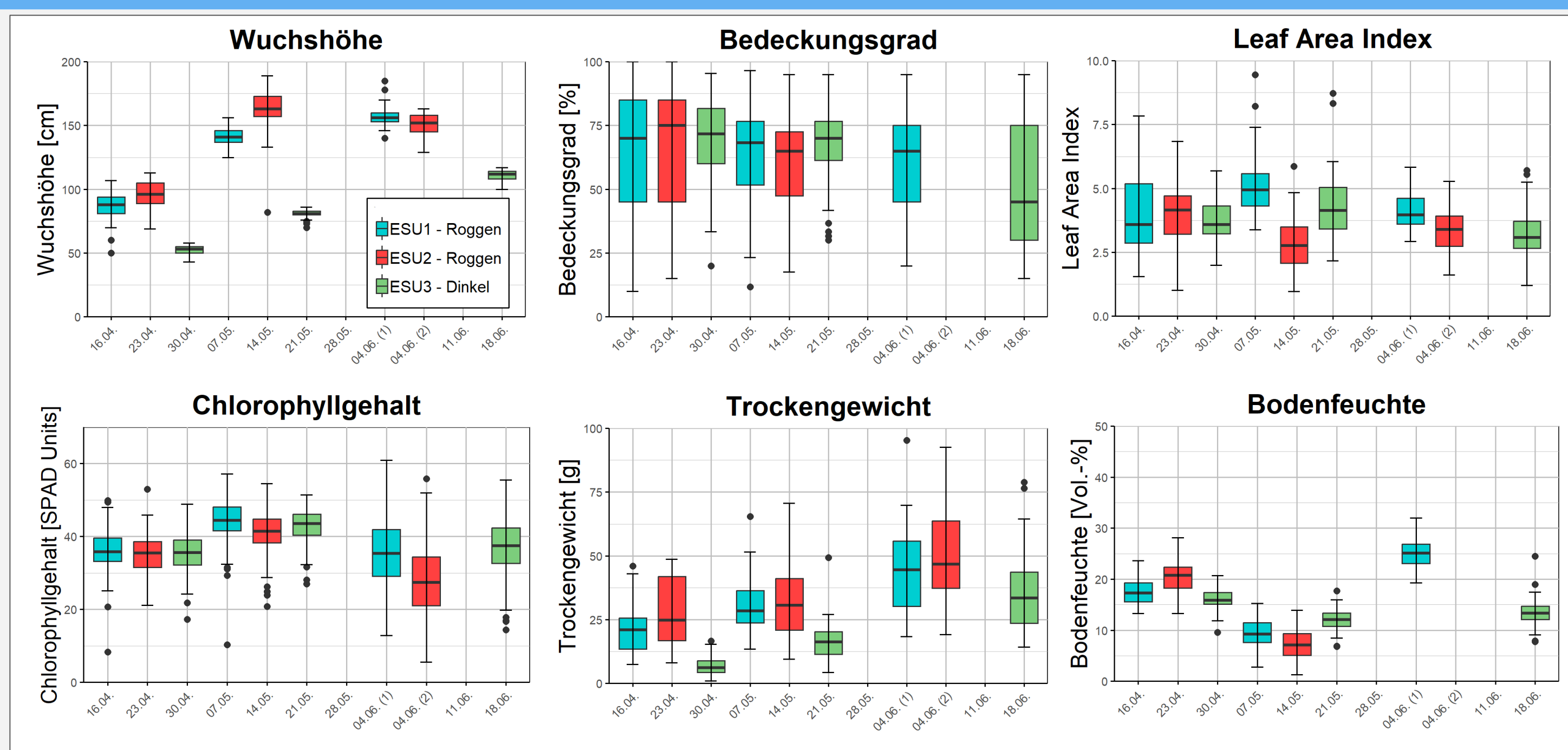


Abb. 2: Boxplots der zeitlichen Entwicklungen der Pflanzenparameter. Farblich unterschieden werden ESU1 (blau) und ESU2 (rot) mit Roggen und ESU3 (grün) mit Dinkel.

- **Wuchshöhe:** Hochsignifikante Zunahme auf ESU1 und ESU3 (Kruskal-Wallis-Test, $p < 0.001$); leichte, nicht signifikante Abnahme auf ESU2 zum letzten Messzeitpunkt ($p = 0.096$)
- **Bedeckungsgrad:** Abnahme auf allen ESUs ($p = 0.151$ (ESU1); $p = 0.013$ (ESU2)); hochsignifikante Abnahme auf ESU3 zum letzten Messzeitpunkt ($p < 0.001$)
- **Leaf Area Index:** Kein klarer Trend, aber signifikante Unterschiede
- **Chlorophyllgehalt:** Anfangs hochsignifikante Zunahme, zum dritten Messzeitpunkt hochsignifikante Abnahme auf allen ESUs
- **Biomasse (Trockengewicht):** Hochsignifikante Zunahme auf allen ESUs
- **Bodenfeuchte:** Hohe Variabilität der zentralen Tendenz
- **BBCH-Entwicklungsstadien:** Anfangs größere Varianzen der Makrostadien¹¹ auf SSU-Ebene (Roggen: 3 bis 5, Dinkel: 3), annähernd gleichzeitiges Erreichen des Reifezustands auf ESU-Ebene (ESU1-Roggen: 83, Dinkel: 75); Dinkel hat zeitlich verzögerte Entwicklung

Material und Methoden

Die **Datenerhebung der Pflanzenparameter im Gelände** erfolgte an den drei ESUs in der Zeit von April bis Juni 2024. Zur Bewertung der räumlichen Variabilität der Parameter wurden die Untersuchungsgebiete in 13 Probenahmestellen (Secondary Sampling Unit, SSU) unterteilt. An jedem SSU wurden fünf 50x50cm Referenzrahmen ausgelegt, innerhalb derer die Wuchshöhe und die Bodenfeuchte (Delta-T-Sonde in 5 cm Tiefe) gemessen sowie der Bedeckungsgrad (zusätzlich Totanteil) und das BBCH-Wachstumsstadium geschätzt wurde. Weiterhin wurde an jedem SSU der Chlorophyllgehalt (SPAD-502Plus) und der Blattflächenindex (LI-COR LAI-2200C) über fünf Einzelmessungen erfasst. Die erhobenen Daten wurden vor Ort in das digitale Field-Survey eingetragen. Die Messungen fanden im wöchentlichen Wechsel statt, sodass für alle drei Standorte jeweils drei Messzeitpunkte im Abstand von drei bis vier Wochen vorliegen.

Zur **Datenerhebung der Pflanzenparameter im Labor** wurden pro ESU jeweils drei Pflanzen an jedem SSU entnommen. Die oberirdische Biomasse wurde vor und nach Trocknung (105°C, 48h) gewogen. Der LAI wurde mittels Scanner (LI-COR LA3100C AREA METER) ein weiteres Mal bestimmt.

Statistische Auswertung: Die zeitliche Entwicklung der Pflanzenparameter wurde mit Boxplots grafisch dargestellt und mit Hilfe des Kruskal-Wallis-Tests geprüft. Der Zusammenhang zwischen der Wuchshöhe und dem Bedeckungsgrad unter Berücksichtigung der zeitlichen Varianz wurde in einem linearen gemischten Modell dargestellt, die weiteren Variablen wurden gemittelt und mit dem Kendall Tau Korrelationskoeffizienten auf Abhängigkeit untersucht.



Abb. 1a: Messung der Wuchshöhe



Abb. 1b: Bodenfeuchtemessung im Feld

Zusammenhang ausgewählter Parameter

- **Wuchshöhe - Bedeckung:** signifikanter Zusammenhang ($t = 14.02$)
 - Wuchshöhe nimmt mit höherer Bedeckung zu
 - Koeffizient für Zusammenhang zwischen Bedeckung und Höhe: 0.23
 - sehr schwache negative Korrelation zwischen dem Intercept und der Bedeckung (-0.073) → fixe Effekte unabhängig beurteilbar
 - hohe Varianz in der Wuchshöhe zwischen den Aufnahmezeitpunkten
- **Trockengewicht - Wuchshöhe:** signifikanter, moderat starker Zusammenhang ($t = 5.17$)
 - Trockengewicht nimmt mit Wuchshöhe zu
 - moderate Varianz des Trockengewichts über die Zeit
 - starke negative Korrelation zwischen Intercept (Trockengewicht) und Höhe → -0.92
- **Bedeckung (Mittel über SSU) ~ Trockengewicht (Mittel über SSU):**
 - Kendall Tau: kein signifikanter Zusammenhang ($p = 0.47$)
- **LAI (Mittel über SSU) ~ Chlorophyll (Mittel über SSU):** statistisch signifikant, sehr schwache positive Korrelation ($p = 0.02$, $\tau = 0.15$)

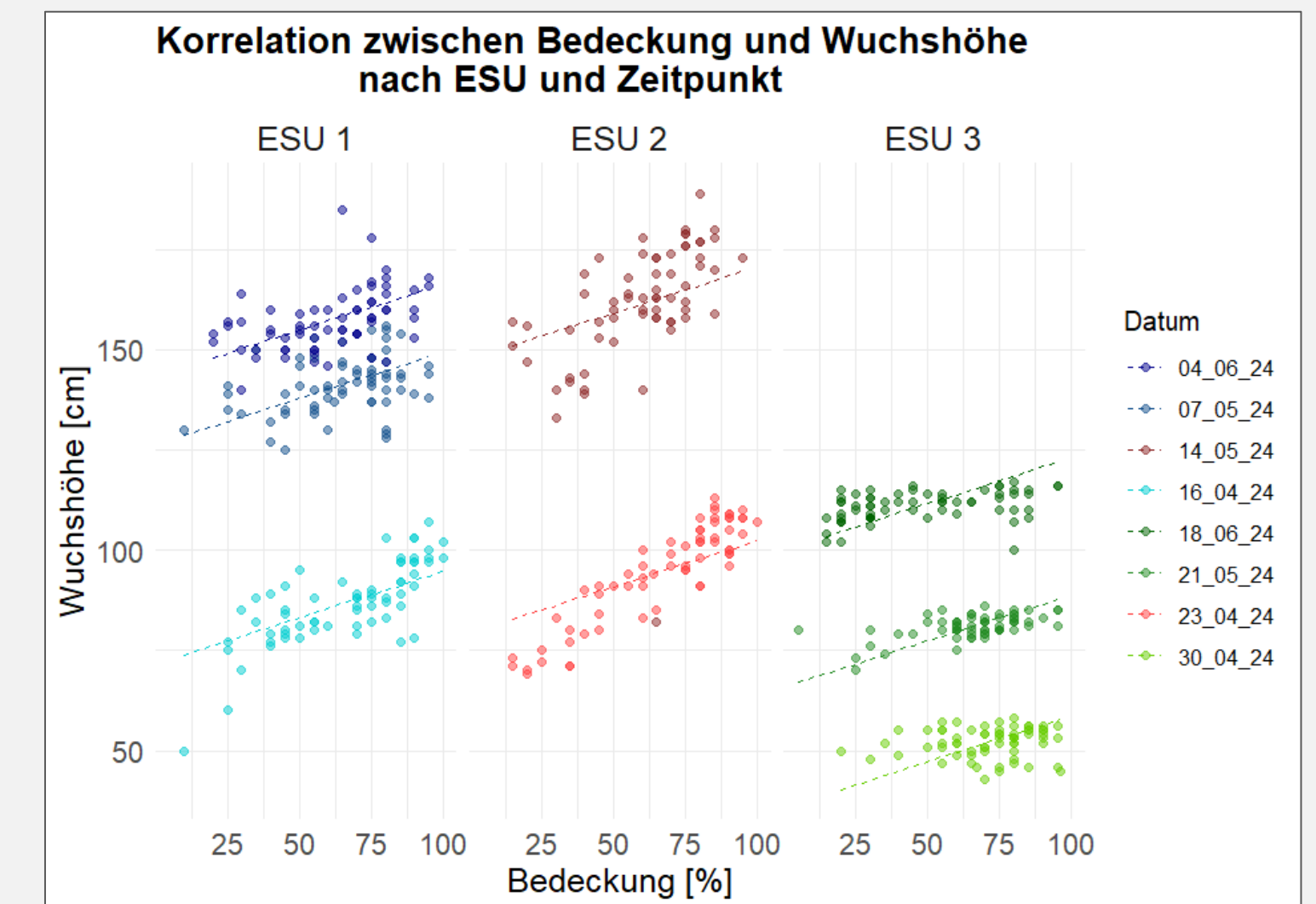


Abb. 3: Lineares gemischtes Modell zum Zusammenhang zwischen dem Bedeckungsgrad und der Wuchshöhe für die einzelnen ESUs und Aufnahmezeitpunkte und der vorhergesagten Wuchshöhe

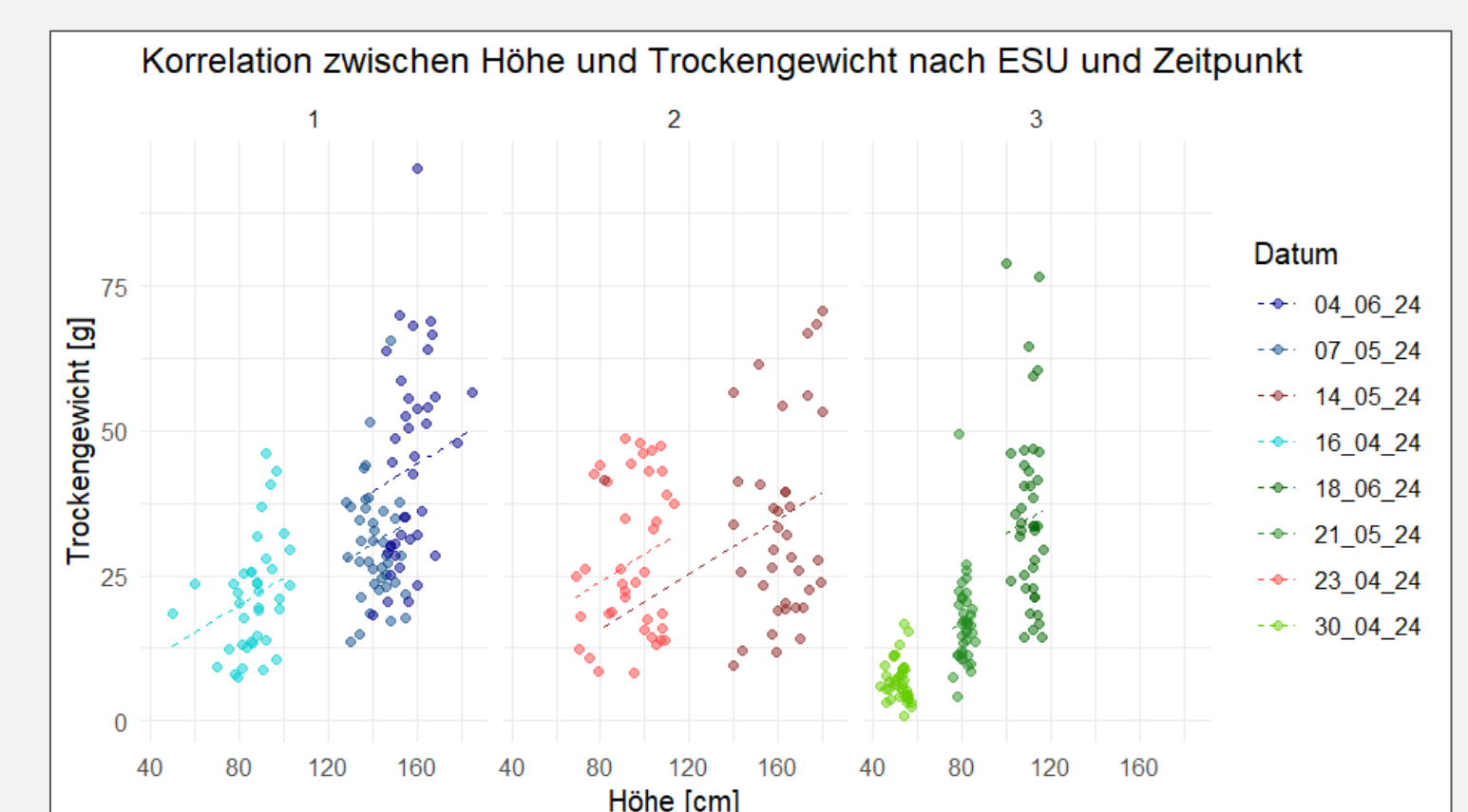


Abb. 4: LGM zwischen der Wuchshöhe und dem Trockengewicht über die ESUs und die Aufnahmezeitpunkte mit dem vorhergesagten Trockengewicht

Evaluation Field-Reader/Survey

Gesammelte Rückmeldungen der Kursteilnehmenden:

Kritik (Bedienung / Handhabung):

- Eingabe am Tablet hemmt Workflow (v.a. bei Bestandsdaten [Phenology - Seite 2]):
 - lange Formular-Ladezeiten
 - Bildschirm flackert/springt
 - Display spiegelt teils stark
 - Seite 2 unübersichtlich wegen des großen Umfangs
- Maßeinheiten ungleich:
 - Frame distance in cm, Canopy height in m
- Fehlendes Eingabefeld Gerätenummer Chlorophyll

Verbesserungsvorschläge:

- Handschriftliche Erfassung (+ Fotos) mit anschl. Übertragung ggf. schneller, praktischer und weniger fehleranfällig, v.a. bei Bestandsdaten (Daten wurden jedes Mal handschriftlich festgehalten und anschließend übertragen)
- Automatische Eintragung von Grundinformationen auf Startseite (ESU, Datum, Getreidekultur, etc.) → sofern Formular (wegen Ladezeit) nicht zu lang wird
- Installation stationärer Rahmen (SSUs) für bessere Vergleichbarkeit über Messzeitreihe sowie mit UAV-Aufnahmen
- In Tabellenüberschriften keine Leerzeichen und Sonderzeichen: "maschinenlesbare Version"

Auswertung - Entwicklung der Parameter:

- Trend zeigt **Zunahme der Wuchshöhe** auf allen ESUs → Abnahme der Wuchshöhe von ESU2-Roggen am dritten Messzeitpunkt lässt sich durch Herabsinken der Ähren oder mit veränderter Messmethodik erklären
- Messergebnisse vom 04.06. widersprechen Erwartungen gemäß Bodeneigenschaften der Standorte: **bessere Entwicklung ESU2** trotz theoretisch geringerer Wasserspeicherkapazität (lehmiger Sand) als ESU1 (sandiger Lehm)^{12,13}
- **Dinkel allgemein mit geringerer Wuchshöhe und Biomasse** (Trockengewicht)¹⁴ als Roggen → **verzögerte BBCH-Entwicklung** lässt außerdem eine spätere Aussaat vermuten
- Starke **Abnahme Bedeckungsgrad des ESU3-Dinkel** zum letzten Messdatum → Flächenkonkurrenz mit Klatschmohn (*Papaver rhoeas*)
- **Abnahme Chlorophyll** auf allen ESUs zum letzten Messdatum → natürliches Blattsterben in Pflanzenentwicklung; Verbreitung des Braunrost-Pilzes (*Puccinia recondita*), welcher durch Schädigung des Blattgewebes die Chlorophyllproduktion hemmt¹⁵
- **Variabilität der Bodenfeuchte** → geringe Messtiefe von 5 cm
- **Varianz des BBCH** → Erfahrungsmangel, Differenzierungsprobleme

Zusammenhänge der Parameter:

- **Bedeckung ~ Wuchshöhe:** Zunehmende Pflanzenhöhe bei zunehmendem Bedeckungsgrad
- **Wuchshöhe ~ Trockengewicht:** Mit Höhe der Pflanze nimmt auch ihr Gewicht und damit das gemessene Trockengewicht zu

Limitationen bei der Datenerhebung:

- Unregelmäßige Zeitabstände, ungleiche Stichprobengrößen (z.B. Wuchshöhe ESU2 vom 4. Juni), große Messvariabilitäten beeinträchtigen die statistische Aussagekraft

Fazit

Die Messdaten zeigen erwartbare Ergebnisse. Der signifikante Zusammenhang von Bedeckung und Wuchshöhe, sowie Wuchshöhe und Trockengewicht lässt vermuten, dass alle drei Parameter von ähnlichen Faktoren abhängen. Aufgrund der Limitationen sind jedoch nur geringe Interpretationen möglich. Für tiefer gehende, aussagekräftigere Ergebnisse müssten Daten in kürzeren Zeitabschnitten aufgenommen werden.

1 Reinsch, M. (2014): Pflanzenbau Dinkel. Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ)
 2 Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) (2021): Ökologischer Roggenanbau. Zugriffen am 28. Juni 2024. <https://tinyurl.com/4fpxa2h8>
 3 BLE (2023): Ökologischer Dinkelanbau. Zugriffen am 28. Juni 2024. <https://tinyurl.com/mj6dehnsf>
 4 Statista (2024): Anbaufläche von Roggen in Deutschland bis 2023. Zugriffen am 28. Juni 2024. <https://tinyurl.com/2w5jdet2>
 5 Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Tourismus (SMELF) (2024): Getreide-GPS - Sortenberatung Winterroggen und Wintertriticale. Zugriffen am 28. Juni 2024. <https://tinyurl.com/8dlym5cc>
 6 HWS S41T SE & Co. KGaA (2021): GPS-Roggen - Der Spezialist ist der Beste. Zugriffen am 28. Juni 2024. <https://tinyurl.com/m5m3m75>
 7 Wetterstation Brachwitz (2024): Langzeitwerte. Zugriffen am 19.06.2024. <https://tinyurl.com/2ch894k3>
 8 Deutscher Wetterdienst (DWD): Station 2878 - Louchstädt, Bod. Zugriffen am 19.06.2024. <https://tinyurl.com/Se9p4meb>

9 Landesamt für Vermessung und Geoinformation Sachsen-Anhalt (LVerGeo) (2024): Digitale Topographische Karte 1:25 000 - mehrfarbig. Zugriffen am 19.06.2024. <https://tinyurl.com/hdjd47h>
 10 Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (LAGB) (2024): Vorläufige Bodenkarte von Sachsen-Anhalt 1:50000. Zugriffen am 19.06.2024. <https://tinyurl.com/2a88447z>
 11 Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen (2010): Entwicklungsstadien von Getreide. Zugriffen am 6. Juni 2024. <https://tinyurl.com/5n7n6hya>
 12 Müller, M., Ebertseder, F., (2020): Boden und Vertikaltechnik bezogene Kennzahlen. ALB Bayern e.V.
 13 Schönberger, H., Gröschel, K., (2020): Was macht Nährstoffe verfügbar? N.U. Agrar GmbH.
 14 Lieberer, R., Reisdorff, C. (2012): Nutzpflanzen. 8. Auflage (Kapitel 4.1: Kohlenhydratliefernde Pflanzen, pp. 69-117). Georg Thieme Verlag, Stuttgart.
 15 UfJ, Bayern (2020): Roggen- und Haferkrankheiten <https://tinyurl.com/4a38npsr>

