

ANAPLANT – Dreijährige Projektergebnisse zur Aktualisierung der Zielbereiche für die Pflanzenanalyse in Sachsen-Anhalt

M. Erb-Brinkmann¹, S. Klages², S. Siegmund³, W. Haberkern², D. Bennett², W. Bannach³,

¹PHYTOsolution, Freyburg, ²agri.kultur, Messel, ³IAU, Freyburg

1 Einleitung

Die Pflanzenanalyse ist eine seit den 60er Jahren des letzten Jahrhunderts weiterentwickelte Methode, bei der zu einem frühen Vegetationsstadium Nährstoffkonzentrationen in den Kulturpflanzen mit Zielbereichen verglichen werden. Darauf aufbauend können Nährstoffdefizite durch Spät- bzw. Blattdüngung ausgeglichen werden. In der Laborroutine eingesetzte Zielbereiche von Nährstoffkonzentrationen in den Jungpflanzen basieren vornehmlich auf Veröffentlichungen von Bergmann (1993) sowie Vielemeyer und Hundt (1991). Aufgrund geänderter Rahmenbedingungen – z.B. Klimawandel, Verminderung von Immissionen – ist eine Validierung/Aktualisierung der Zielbereiche sinnvoll. Das über ELER/EIP-Agri finanzierte Projekt ANAPLANT (4/2022-12/2024) begann mit dieser Aufgabe in den Kulturen Winter -gerste, -roggen, -weizen, -raps, Silo- und Körnermais, Zuckerrüben, Kartoffeln und Körnererbsen in Sachsen-Anhalt (ST)

2 Material und Methoden

2.1 Probenahme und Datenerhebung

Beprobt wurden 680 Bestände konventionell, 202 Bestände ökologisch wirtschaftender landwirtschaftlicher Betriebe sowie Düngungsversuche (352 Proben) verteilt über ST. Von den insgesamt 1 212 auswertbaren Proben waren 848 aus dem Bodenklimaraum 107, 196 Proben aus dem Bodenklimaraum 196, 86 aus dem Bodenklimaraum 109 und 82 aus 192 (Roßberg et al., 2007). Aufgrund des späten Projektstarts in 2022 sowie personell begrenzter Möglichkeiten erfolgte die Probenahme nicht ausschließlich zu den frühestmöglichen Entwicklungsstadien, sondern teilweise auch in späteren Vegetationsstadien (Tab.1).

Bei jeder Probenahme wurde die GPS-Position ermittelt. Zu Vegetationsende wurden Landwirte und Wissenschaftler nach den folgenden Anbaudetails befragt: Düngeraufwandmengen (N, P_2O_5 , K_2O , MgO und CaO in kg/ha; Verwendung von organischen Düngern, Düngung mit B, Mn, Cu, Zn, Fe sowie Bewässerung als Ja/Nein-Angabe, Datum der Düngung, Ertrag, Qualität (Rohprotein, Zucker, Stärke).

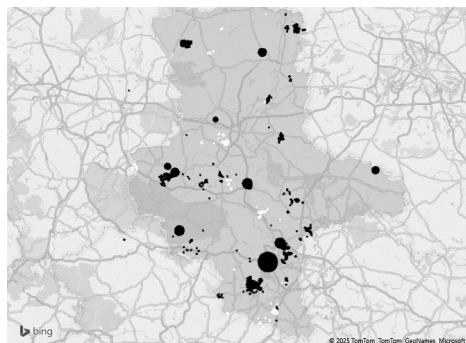


Abb. 1: Probenahmestellen in ST (1 212 Proben). Schwarz: konventioneller Anbau, weiß: ökologischer Anbau. Zunehmende Kreisgröße mit höherer Probenanzahl.

Tab. 1: Beprobungstermine (Entwicklungsstadien) in den einzelnen Kulturen über die gesamte Projektlaufzeit 2022-2024.

Kultur	Anzahl der Beprobungen nach Entwicklungsstadium						
W-Weizen	< EC30 0	EC31 110	EC32-36 35	EC37-38 41	EC39-41 17	EC42-45 50	> EC45 0
W-Gerste	< EC30 0	EC30-31 19	EC32-36 24	EC37-38 9	EC39-41 15	EC42-45 69	> EC45 7
W-Roggen	< EC30 1	EC30-31 5	EC32-36 31	EC37-38 15	EC39-41 7	EC42-45 13	> EC45 7
W-Raps	< EC53 3	EC 53 48	EC 55 21	EC57-61 14	EC62-63 29	EC 64 34	EC 65 0
Silo-mais	< 40 cm 0	40-60 cm 156		Rispenschieben 12		zur Blüte 7	
Körner-mais	< 40 cm 0	40-60 cm 42		Rispenschieben 12		zur Blüte 0	
Zucker-rüben	Mitte Juni 47	Ende Juni 36		Ende Juli 11		Ende August 12	
Kartoffeln	< Knospen-stadium 11		Knospen-stadium 35	Blüh-beginn 33	Blüh-ende 10	Knollen-bildung 19	
Körner-erbsen	30-40 cm 21				Blühbeginn 35		

2.2 Analytik

Die Nährstoffanalyse der Pflanzen erfolgte für N nach der Methode des VDLUFA (2004/2019) (II1; 3.5.2.7) für P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Zn und Fe nach den Methoden des VDLUFA (2011) (VII; 2.1.1 und 2.2.2.6). Nach der Methode des VDLUFA (1991) wurde der Bodengehalt an Mg (Schachtschabel Ia; A6.2.4.1), nach der Methoden des VDLUFA (1997) die Bodengruppe (Ib; D2.1), nach der Methode des VDLUFA (2004) die Bodengehalte an B, Fe, Cu, Zn, Mn, Mo, (CAT; Ib; A13.1.1), nach der Methode des VDLUFA (2012) die N-Konzentration (Dumas; I; A2.2.5), nach der Methoden des VDLUFA (2016) der pH-Wert (Ia; A5.1.1) und die Bodengehalte an P, K (CAL; Ia; A6.2.1.1), Mg (Schachtschabel; 6.2.4.1) und Ca (NH₄Cl-Auflösung; Schachtschabel; 6.2.4.1) ermittelt. Humuskonzentration und C-Gehalt wurden nach ÖNORM (1999) (Nassoxidation; L1081 209-11) bestimmt.

2.3 Datenauswertung

Die Literaturwerte haben wir verglichen mit a) Zielbereichen, die sich aus Durchschnittswerten einer hochertragreichen Teilpopulation kalkulieren lassen (Beaufils, 1973, Walworth und Sumner, 1987, Parent und Dafir, 1992) sowie b) Zielbereichen, die sich aus den Maxima von Hüllkurven um Streudiagramme aus den Ertrags- und Nährstoffkonzentrationswerten und einem Suffizienzbereich (z.B. 90 % der Maxima) ableiten lassen (Heym und Schnug, 1995; Klages, 2012).

Vorausgesetzt wird für beide Ansätze, dass hohe Erträge oder eine gute Qualität mit überdurchschnittlichen Nährstoffkonzentrationen in den Jungpflanzen zusammenhängen. Die Daten wurden als Datentabelle angelegt. Das Programm Python wurde eingesetzt, um eine Zielbereichsermittlung nach den o.g. Methoden umzusetzen und um die Ergebnisse zu visualisieren. Mittels SPSS wurden die Daten, z.T. als definierte Untergruppe, statistisch bewertet. Zu Vergleichszwecken wurden den Daten außerdem Bodenklimaräumen, Niederschlags- und nfk-Daten zugeordnet.

3 Ergebnisse

Hauptziel des Projektes war der Aufbau einer Methodik zur Validierung von Zielbereichen exemplarisch in ST. Daten und Auswertungsprogrammierungen können zukünftig erweitert, angepasst und ergänzt werden, um eine Generalität der Ergebnisse zu erreichen.

3.1 Beprobung: Düngesteigerungsversuche versus on-farm

Mit Hilfe ausgegebener Informationsmaterialien und Schulungen haben on-farm-Probenahmen und Datenrückfluss durch die Landwirte gut funktioniert. Die beprobten pflanzenbaulichen Versuche (mehrheitlich Düngesteigerungsversuche, aber auch Sortenvergleiche) sollten als eine gewisse „Eichung“ der on-farm erhobenen Daten dienen. Die Positionierung der Erträge im Vergleich zu den on-farm-Erträgen können direkt den Hüllkurven zur Zielbereichableitung entnommen werden (siehe Abb. 3 ff). Die Werte der Düngesteigerungsversuche reihen sich in die on-farm-Ergebnisse gut ein. Da on-farm-Probenahmen im Vergleich zu gezielten Düngesteigerungsversuchen deutlich kostengünstiger in großem Umfang durchgeführt werden können, sind diese zur Generierung größerer Datenmengen gut geeignet.

3.2 Einordnung der erhobenen Daten

Die Ernteergebnisse der beprobten Bestände spiegelten die bundes- bzw. landesweiten Erntemengen in Sachsen-Anhalt wider.

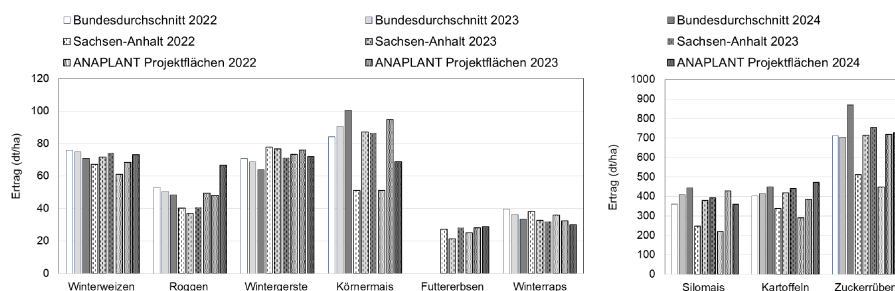


Abb.2: Durchschnittserträge der beprobten Kulturen auf Bundes-, Landes und Projektebene in 2022 bis 2024.

Für das Jahr 2022 war insbesondere der geringe Niederschlag der das Pflanzenwachstum limitierende Faktor (in einigen Kulturen bestätigt durch Korrelationsanalysen zwischen Ertragsleistung und Niederschlagsaufzeichnungen des DWD).

3.3 Zielbereichableitung mittels hocheertragreicher Teilpopulation

Zwischen der Nährstoffzusammensetzung aller Jungpflanzen einer Kultur und der der hochertragreichen Teilpopulation (20 % der höchsten Erträge) bestanden bei den im Projekt erhobenen Daten nur für einzelne Nährstoffe signifikante Unterschiede (Mann-Whitney-U-Test, Kruskal-Wallis-Test; Median und Verteilung). Dies ist jedoch Voraussetzung für die Ableitung von Zielbereichen aus den Konzentrationen der hochertragreichen Teilpopulation nach Beaufils (1973), Walworth und Sumner (1987) sowie Parent und Dafir (1992). Die folgende Tabelle ist daher nur für einzelne Nährstoffe, für die die Signifikanz gegeben war, ausgefüllt. Die berechneten Werte lagen bis auf wenige Ausnahmen mit geringen Abweichungen (B im Winterweizen, K in Kartoffeln, Fe in Silomais) innerhalb der Literaturzielbereiche.

Tab. 2: Aus Hohertragspopulationen berechnete Zielbereiche für einzelne Elemente in bestimmten Entwicklungsstadien, in denen sich die Hohertragspopulation signifikant von der Gesamtpopulation unterschied. In Klammern: gerundete Zielbereiche nach Bergmann (1993) sowie Vielemeyer und Hundt (1991)

Kultur	Stadium	%				ppm			
		N	K	Ca	Mg	Mn	Cu	B	Fe
Wintergerste	EC 42-45	2,23 (1,7-2,9)		0,34 (0,3-1,0)		30,4 (16-34)			
Winterweizen	EC 31	4,15 (2,8-4,8)		0,46 (0,4-0,7)	0,19 (0,1-0,2)			4,57 (6-12)	
Kartoffel	Blühbeginn		3,6 (4-6,4)	1,31 (0,6-2,0)				24,7 (25-70)	125,7 (50-150)
Körnermais	40-60 cm				0,27 (0,2-0,5)	84,9 (40-160)			
Silomais	40-60 cm	4,54 (3,5-5)		0,74 (0,3-1)		92,4 (40-160)			199,1 (50-150)
Zuckerrüben	Mitte Juni	4,95 (4,5-6)		1,04 (0,7-2,0)			13,6 (6-18)		

3.4 Zielbereichableitung mittels Hüllkurve

Die Ableitung der Zielbereiche erfolgte mit Hilfe einer Hüllkurve anhand der allgemeinen Formel

$$f(x) = y_{\text{max}} + a_{\text{l}} * (x - x_{\text{max}})^2 \quad \text{für } x < x_{\text{max}},$$

$$f(x) = y_{\text{max}} + a_{\text{r}} * (x - x_{\text{max}})^2 \quad \text{für } x > x_{\text{max}}$$

als Spline bzw. Parabel mit unterschiedlicher Steigung links und rechts vom Optimum. Für die Ausreißerelimination wurde im vorliegenden Fall der Ertragsschwellenwert auf 90 % festgelegt, d.h. die darüberliegenden 10 % der Ertragswerte wurden verworfen. Eliminiert wurden

auch die niedrigsten 8 % und die höchsten 8 % der Nährstoffkonzentrationswerte. Diese Eliminationsraten können angepasst werden.

Für die meisten Elemente ergab die Berechnung über die Hüllkurve eine weitgehende Übereinstimmung mit den Literatur-Zielbereichen. Abb. 3 zeigt beispielhaft 2 der insgesamt 282 im Projekt berechneten Hüllkurven (siehe www.anaplant.de/Abschlussbericht).

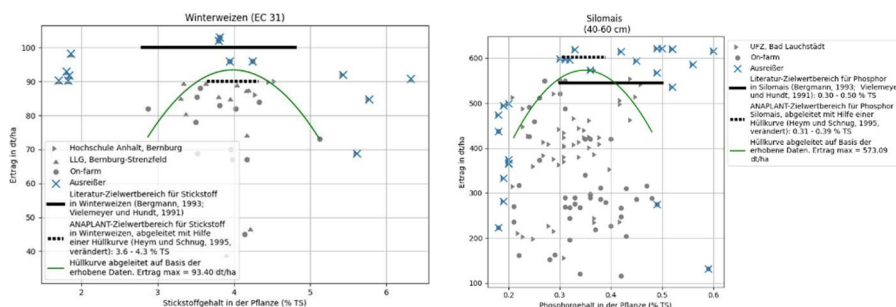


Abb. 3: Hüllkurven für die Stickstoffkonzentration in Jungpflanzen von Winterweizen (Entwicklungsstadien EC 31, links) und für die Phosphorkonzentration in Jungpflanzen von Mais (40-60 cm, rechts).

Insgesamt bewegten sich die ermittelten Zielbereiche für N, P, K, Ca, Mg, Mn, Cu, B, Fe und Zn in allen Kulturen nahe an den Literaturwerten.

Folgende Elemente/Bereiche weichen so von den Literaturwerten ab, dass weitere Untersuchungen sinnvoll erscheinen:

- Schwefel (niedrigerer Zielbereich, insbesondere in Getreide und Mais)
- Verkleinerung der Zielbereichsspannweite für Magnesium, Mangan und Zink in Mais, Bor in Kartoffeln
- Molybdän (höherer Zielbereich in allen Kulturen)

Abb. 4 zeigt die Hüllkurve für den Schwefelgehalt in Winterweizen. Da nach Literaturdaten für den gesamten Entwicklungsverlauf derselbe Zielbereich ausgewiesen wird, wurde die Hüllkurve über alle Entwicklungsstadien erstellt. Der so ermittelte Zielbereich liegt bei 0,2-0,3 % TS und damit niedriger als in der Literatur mit 0,3-0,5 % TS angegeben. Werte der Düngungsversuche häufen sich um diesen Bereich.

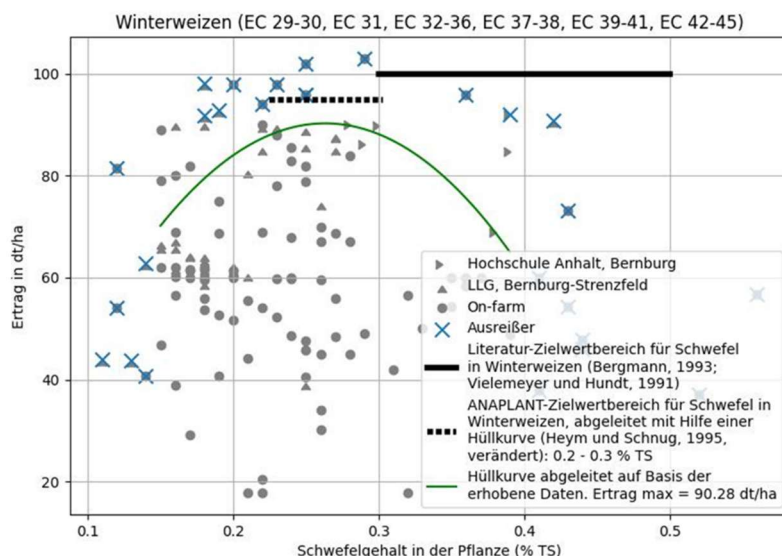


Abb. 4: Hüllkurve für die Schwefelkonzentration in Jungpflanzen von Winterweizen.

Bei Berechnung der Hüllkurven separat nach Entwicklungsstadien ergibt sich für EC 31 ein Zielbereich 0,29-0,37% TS, für EC 42-45 ein Zielbereich von 0,15-0,21% TS. Diskutabel wäre daher auch die Einführung einer Unterteilung der Schwefelkonzentrationen nach Entwicklungsstadien.

Abb. 5 zeigt die Hüllkurve für den Zinkgehalt in Silomais. Der so ermittelte Zielbereich ist mit 25-36 ppm enger als in der Literatur mit 22-70 ppm angegeben.

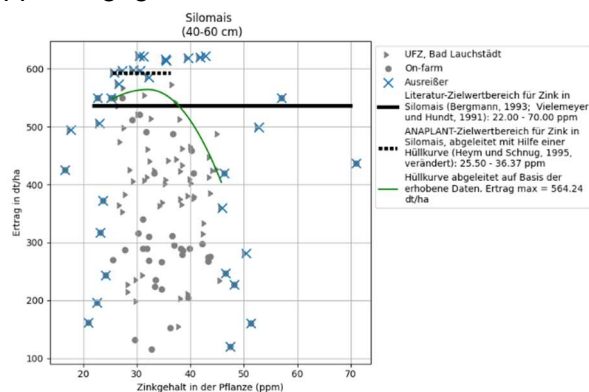


Abb. 5: Hüllkurve für die Zinkkonzentration in Jungpflanzen von Silomais mit 40-60 cm Wuchshöhe.

3.5 Zielbereichableitung für den ökologischen Landbau

Auf Basis des geringen Probenumfangs aus dem ökologischen Landbau ($n=202$) zeigte sich im Rahmen des Projektes, dass separate Zielbereiche insbesondere für Wintergetreide sinnvoll sein könnten. Umfangreichere Daten sind hierzu jedoch unumgänglich.

4 Zusammenfassung

Die im Rahmen des Projektes aufgebaute Datenbank, Methodik und Auswertungen können im Rahmen weiterer Untersuchungen fortgesetzt werden. Der on-farm-Ansatz liefert repräsentative Ergebnisse. Die Zielbereichableitung mittels Hüllkurve war mit den gesammelten Daten möglich, die Kurven sind dabei stimmiger zu konstruieren, je mehr Datenpaare Nährstoffkonzentration / Ertrag für die einzelnen Entwicklungsstadien zur Verfügung stehen. Zielbereiche, aber auch die Nährstoffkonzentration in der untersuchten Gesamtpopulation einer Kultur weichen in einigen Fällen so stark nach oben oder unten von den Literaturwerten ab, dass weitergehende Untersuchungen gerechtfertigt sind.

6 Literatur

- Bergmann, W., 1983: Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Gustav Fischer-Verlag, Jena.
- Beaufils, E.R. 1973: Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS): A general scheme for experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition. Soil Sci. Bull. of Univ of Natal, 1, 1-132.
- Heym, J., Schnug, E., 1995: A mathematical procedure for the development of boundary lines from XY scattered data. Aspects of applied biology, 43, 317-142.
- Klages, S., 2012: Evaluation of the mineral status of organically grown cotton in Egypt. Dissertation. Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, Fakultät für Lebenswissenschaften (<http://www.digibib.tu-bs.de/?docid=00042509>).
- Parent, L.-E., Dafir, M., 1992: A theoretical concept of compositional nutrient diagnosis. J. Am. Soc. Hortic. Sci. (117), 239-242.
- Roßberg, D., Michel, V., Graf, R., Neukampf, R., 2007. Definition von Boden-Klima-Räumen für die Bundesrepublik Deutschland. Heft 7. https://www.openagrar.de/receive/openagrar_mods_00056830
- Vielemeyer, H.-P., Hundt, I., 1991: Schriftliche Mitteilung. Institut für Pflanzenernährung und Ökotoxikologie, Jena.
- Walworth, J.L., Sumner, M.E., 1987: The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS): Soil Sci., 6, 149-188.