

Nutzung endophytischer Bakterien zur Verbesserung des Stickstoffhaushaltes im Kartoffelanbau

- HerbaKoFix -



Abschlussbericht

Aktenzeichen:	34422/01-34/0
Projektlaufzeit:	01. Januar 2019 bis 31. Dezember 2021
Antragsteller:	Landwirtschaftskammer Niedersachsen Fachbereich 3.8 - Pflanzenbau, Saatgut Dr. Gerhard Baumgärtel Postfach 269 30002 Hannover Tel: 0511 3665-4295 Mail: gerhard.baumgaertel@lwk-niedersachsen.de
Kooperationspartner:	agrobiota Dr. Wolfgang Vogt Lembergstraße 18 72072 Tübingen Tel: 0151 22 36 05 35 Mail: wolfgang.vogt@agrobiota.de

Inhalt

Zusammenfassung.....	5
Anlass und Zielsetzung des Projekts.....	6
Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden	6
Ergebnisse	8
Diskussion	32
Literatur	34

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Feldaufgang in Abhängigkeit von der Pflanzgutbehandlung.....	9
Abbildung 2: Bestandesentwicklung in Abhängigkeit von der Pflanzgutbehandlung	9
Abbildung 3: Rohwareertrag in Abhängigkeit von der Pflanzgutbehandlung	10
Abbildung 4: Sortierung des Erntegutes in Abhängigkeit von der Pflanzgutbehandlung	10
Abbildung 5: Anzahl Knollen pro Staude in Abhängigkeit von der Pflanzgutbehandlung.....	11
Abbildung 6: Stärkegehalt des Erntegutes in Abhängigkeit von der Pflanzgutbehandlung...	11
Abbildung 7: Bodenanalyse nach der Ernte in Abhängigkeit von der Pflanzgutbehandlung, Sorte Belana	12
Abbildung 8: Bodenanalyse nach der Ernte in Abhängigkeit von der Pflanzgutbehandlung, Sorte Bernina	12
Abbildung 9: Feldaufgang in Abhängigkeit von der N-Düngung und Pflanzgutbehandlung – Sorte Belana	13
Abbildung 10: Feldaufgang in Abhängigkeit von der N-Düngung und Pflanzgutbehandlung – Sorte Annalena.....	14
Abbildung 11: Bestandesentwicklung in Abhängigkeit von der N-Düngung und Pflanzgutbehandlung – Sorte Belana	14
Abbildung 12: Bestandesentwicklung in Abhängigkeit von der N-Düngung und Pflanzgutbehandlung – Sorte Annalena	15
Abbildung 13: Rohwareertrag in Abhängigkeit von der N-Düngung und Pflanzgutbehandlung – Sorte Belana.....	16
Abbildung 14: Rohwareertrag in Abhängigkeit von der N-Düngung und Pflanzgutbehandlung – Sorte Annalena.....	16
Abbildung 15: Rohwareertrag in Abhängigkeit von der Pflanzgutbehandlung – Sorten Belana und Annalena	17
Abbildung 16: Sortierung des Erntegutes in Abhängigkeit von der Pflanzgutbehandlung	17
Abbildung 17: Anzahl Knollen pro Staude in Abhängigkeit von der N-Düngung und Pflanzgutbehandlung – Sorte Belana	18
Abbildung 18: Anzahl Knollen pro Staude in Abhängigkeit von der N-Düngung und Pflanzgutbehandlung – Sorte Annalena	18
Abbildung 19: Stärkegehalt des Erntegutes in Abhängigkeit von der N-Düngung und Pflanzgutbehandlung – Sorte Belana	19
Abbildung 20: Stärkegehalt des Erntegutes in Abhängigkeit von der N-Düngung und Pflanzgutbehandlung – Sorte Annalena	19
Abbildung 21: Stärkegehalt des Erntegutes in Abhängigkeit von der Pflanzgutbehandlung.	20
Abbildung 22: Bodenanalyse nach der Ernte in Abhängigkeit von der Pflanzgutbehandlung - Sorte Belana	21

Abbildung 23: Bodenanalyse nach der Ernte in Abhängigkeit von der Pflanzgutbehandlung - Sorte Annalena.....	21
Abbildung 24: Feldaufgang in Abhängigkeit von der N-Düngung und Pflanzgutbehandlung – Vergleich der Sorten Belana und Bernina.....	22
Abbildung 25: Pflanzenhöhe in Abhängigkeit von der N-Düngung und Pflanzgutbehandlung – Mittel der Sorten Belana und Bernina	23
Abbildung 26: Pflanzenhöhe in Abhängigkeit von der Pflanzgutbehandlung – Sorte Belana	23
Abbildung 27: Pflanzenhöhe in Abhängigkeit von der Pflanzgutbehandlung – Sorte Bernina	24
Abbildung 28: Rohwareertrag in Abhängigkeit von der N-Düngung und Pflanzgutbehandlung – Sorte Belana.....	25
Abbildung 29: Rohwareertrag in Abhängigkeit von der N-Düngung und Pflanzgutbehandlung – Sorte Bernina	25
Abbildung 30: Rohwareertrag in Abhängigkeit von der N-Düngung – Sorten Belana und Bernina.....	26
Abbildung 31: Sortierung des Erntegutes in Abhängigkeit von der Pflanzgutbehandlung – Sorte Belana	26
Abbildung 32: Sortierung des Erntegutes in Abhängigkeit von der Pflanzgutbehandlung – Sorte Bernina.....	27
Abbildung 33: Anzahl Knollen pro Staude in Abhängigkeit von der N-Düngung und Pflanzgutbehandlung – Sorten Belana und Bernina	28
Abbildung 34: Anzahl Knollen pro Staude in Abhängigkeit von der Pflanzgutbehandlung – Sorten Belana und Bernina	28
Abbildung 35: Stärkegehalt des Erntegutes in Abhängigkeit von der N-Düngung und Pflanzgutbehandlung – Sorte Belana	29
Abbildung 36: Stärkegehalt des Erntegutes in Abhängigkeit von der N-Düngung und Pflanzgutbehandlung – Sorte Bernina	29
Abbildung 37: Stärkegehalt des Erntegutes in Abhängigkeit von der Pflanzgutbehandlung.	30
Abbildung 38: Bodenanalyse nach der Ernte in Abhängigkeit von der Düngung und Pflanzgutbehandlung - Sorte Belana	31
Abbildung 39: N-min Wert und Proteingehalt in Abhängigkeit von der Düngung und Pflanzgutbehandlung - Sorte Belana	31
Abbildung 40: Bodenanalyse nach der Ernte in Abhängigkeit von der Düngung und Pflanzgutbehandlung - Sorte Bernina.....	32
Abbildung 41: N-min Wert und Proteingehalt in Abhängigkeit von der Düngung und Pflanzgutbehandlung - Sorte Bernina.....	32

Zusammenfassung

Im Projekt „Nutzung endophytischer Bakterien zur Verbesserung des Stickstoffhaushaltes im Kartoffelanbau“ (HerbaKoFix) wurden endophytische Bakterienstämme durch Anbeizung auf Kartoffelknollen aufgebracht und mit diesen im Freiland ausgebracht. Das Projekt konnte zeigen, dass sich endophytische Bakterien der Stämme Kosakonia und Herbaspirillum in ausreichendem Maß vermehren und für eine Applikation im Feld entsprechend formulieren lassen. Ein anwenderfreundliches Verfahren zur Herstellung des Bakterienpräparates auf dem landwirtschaftlichen Betrieb konnte entwickelt werden. Mit der Beizung mittels auf der Legemaschine verbauter Flüssigbeizanlage wurde ein, auch in der landwirtschaftlichen Praxis einsetzbares, geeignetes Verfahren zur Ausbringung gefunden.

In den drei Vegetationsperioden 2019, 2020 und 2021 erfolgte die Anlage der Feldversuche im Freiland am Standort Dethlingen. Die mit der Bakterienlösung angebeizten Knollen einer als stickstoffeffizient und einer als stickstoffineffizient geltenden Kartoffelsorte wurden in Exaktversuchen ausgepflanzt. Dabei wurde die Stickstoffdüngung variiert indem eine Variante nach Sollwert ausgedüngt und eine Variante mit reduzierter Stickstoffdüngung kultiviert wurde. Innerhalb der dreijährigen Projektlaufzeit konnten Auswirkungen auf die Parameter Feldaufgang, Bestandesentwicklung und Pflanzenhöhe, Rohwareertrag und Sortierung nur für die Faktoren „Sorte“ und „Düngung“ nachgewiesen werden. Einzig im Anbaujahr 2019 lässt eine Verringerung der nach der Ernte im Boden verbleibenden Reststickstoffmenge in den mit Bakterienlösung behandelten Parzellen der Sorte Belana den Schluss auf eine Wirkung der eingesetzten Präparate zu.

Anlass und Zielsetzung des Projekts

Im Pflanzenbau ist Stickstoff (N) unter den Hauptnährstoffen der am stärksten limitierende Wachstumsfaktor, wobei die Effizienz von N-Düngern angesichts von Verlusten in die Schutzgüter Wasser durch Auswaschungen und Luft durch Denitrifikation i. d. R. gering ist (ST. LUCE et al., 2011). Trotz intensiver Forschungs- und Beratungsarbeit zur Verbesserung der Stickstoffnutzungseffizienz weisen auch hierzulande die landwirtschaftlichen Betriebe weiterhin noch nicht überall zufriedenstellende N-Bilanzen auf (WÜSTHOLZ, 2014), so dass eine weitere Senkung der N-Bilanzüberschüsse aus ökologischen und umweltpolitischen Gründen zwingend erforderlich ist (FLESSA et al., 2014). In diesem Kontext eröffnen endophytisch lebende Bakterien eine bisher wenig erforschte Möglichkeit, um die Nährstoffversorgung einer Vielzahl von Pflanzen nachhaltig zu verbessern. Dabei wird sowohl eine direkte Reduzierung des N-Düngebedarfs durch die Stickstofffixierung der endophytischen Bakterien als auch eine effizientere Nutzung der bereits im Boden vorhandenen Nährstoffe angestrebt (MITTER et al., 2013; BERGER et al., 2015; BERGER et al., 2017).

Vor dem Hintergrund liegt das Ziel dieses Forschungsprojektes darin, mit Hilfe von stickstofffixierenden endophytischen Bakterien der beiden Stämme *Kosakonia* und *Herbaspirillum* den Stickstoffeintrag im Kartoffelanbau effektiv zu reduzieren und das Nährstoffaneignungsvermögen der Kartoffelpflanzen zu erhöhen. Durch bereits im Vorfeld erfolgte Sequenzierung des Genoms der beiden Bakterienstämme ist belegt, dass diese Stämme den Enzymkomplex für die Stickstofffixierung grundsätzlich besitzen (BERTANI, 2016).

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Mit Beginn des Projekts wurde an den Pre-formulierungen gearbeitet. Dazu wurden für die Stämme *Kosakonia* und *Herbaspirillum* ein Kukturmedium ausgewählt, welche mit Glucose eine leicht verwertbare C-Quelle hat und als Protein / Aminosäure Quelle wurde Pepton und Hefeextrakt verwendet. Bereits bei den ersten Versuchen, zeigte sich, dass der Stamm *Kosakonia* ein deutlich stärkeres Wachstum, im Vergleich zum *Herbaspirillum*, besitzt.

Bei den ersten Formulierungsversuchen wurde dieses bestätigt, da die Ausbeute in der WP-Formulierung (wasserlösliches Pulver) bei *Kosakonia* im Vergleich zum *Herbaspirillum*, um eine Größenordnung höher war. Für die Feldversuche konnte jedoch von beiden Stämmen ausreichend Material bereitgestellt werden.

Im Feldversuch des abgelaufenen Projektjahres **2019** wurden die Kartoffelsorten Belana (Stickstoff-ineffizient) und Bernina (Stickstoff-effizient) am Standort Dethlingen ausgepflanzt. In dem vierfach wiederholten Exaktversuch wurden 5 Varianten angelegt:

1. Kontrolle, unbehandelt (N-Düngung: 50 % vom Sollwert)
2. Kontrolle, unbehandelt (N-Düngung: 100 % vom Sollwert)
3. Herbaspirillum (N-Düngung: 50 % vom Sollwert)
4. Kosakonia (N-Düngung: 50 % vom Sollwert)
5. Herbaspirillum + Kosakonia (N-Düngung: 50 % vom Sollwert)

Die Auspflanzung erfolgte am 24.04.2019 unter optimalen Bodenbedingungen in ein vorbereitetes Saatbett. Die Applikation der Bakterien erfolgte direkt während des Legens der Knollen durch die an der Legemaschine verbaute Flüssigbeizeinrichtung. Die Aufdüngung auf die angestrebten Stickstoffmengen wurde am 06.05.2019 durchgeführt. Aufgrund der extrem Trockenheit erfolgten zwischen dem 08.06.2019 und dem 13.08.2019 insgesamt 8 Beregnungsmaßnahmen mit einer Gabenhöhe von jeweils 25 mm. Die Ernte des Versuches wurde am 10. und 12.09.2019 durchgeführt. Die Probennahme zur Bestimmung der Nachernte N-min Werte erfolgte am 04. Oktober 2019.

Im Anbau **2020** wurde der wirksamere aber schwieriger zu etablierende Stamm Herbaspirillum in einfach und in fünffach erhöhter Konzentration angebeizt. Eine mit Kosakonia angebeizte Variante diente zur Verifizierung der Ergebnisse des Vorjahres. Auf Grund mangelnder Pflanzgutverfügbarkeit wurde die N-effiziente Sorte Bernina durch die ebenfalls N-effiziente Sorte Annalena ersetzt. Um den Einfluss der Startdüngung genauer herauszuarbeiten wurden die Versuchsvarianten unter 3 Düngestufen (50 %, 80 % und 100 % des Sollwertes) angebaut. In dem vierfach wiederholten Exaktversuch wurden 2020 4 Varianten angelegt:

1. Kontrolle, unbehandelt (N-Düngung: 100 % vom Sollwert)
2. Herbaspirillum (einfache Konzentration)
3. Herbaspirillum (fünffach erhöhte Konzentration)
4. Kosakonia

Die Auspflanzung erfolgte am 24.04.2020 unter optimalen Bodenbedingungen in ein vorbereitetes Saatbett. Die Applikation der Bakterien erfolgte in allen Varianten direkt während des Legens der Knollen durch die an der Legemaschine verbaute Flüssigbeizeinrichtung. Die Aufdüngung auf die angestrebten Stickstoffmengen wurde am 06.05.2020 durchgeführt. Innerhalb der Vegetationsperiode mussten zwischen dem 15.06.2020 und dem 12.08.2020

sechs Beregnungsgabe in Höhe von jeweils 25 mm ausgebracht werden. Die Ernte des Versuches wurde am 14. und 15.09.2020 durchgeführt. Die Probennahme zur Bestimmung der Nachernte N-min Werte erfolgte am 18.09.2020.

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Vorjahre erfolgte die Auswahl der Versuchsvarianten für den Anbau **2021**: Neben der unbehandelten Kontrolle wurde Herbaspirillum in fünffach erhöhter Konzentration und Kosakonia in einfacher Konzentration eingesetzt. Ausgepflanzt wurden die Sorten Belana und Bernina mit einer Stickstoffdüngung in Höhe von 0 %, 50 % bzw. 100 % des Bedarfswertes. Auf Grund der Erfahrungen der vorangegangenen Versuchsjahre, in denen sich Auswirkungen der Behandlungen nur in der Tendenz, nicht aber signifikant absicherbar zeigten, wurde die Anzahl der Wiederholungen im Feld im Jahr 2021 von vier auf sechs erhöht.

Die Auspflanzung erfolgte am 23.04.2021 unter optimalen Bodenbedingungen in ein vorbereitetes Saatbett. Die Applikation der Bakterien erfolgte in allen Varianten direkt während des Legens der Knollen durch die an der Legemaschine verbaute Flüssigbeizeinrichtung. Die Aufdüngung auf die angestrebten Stickstoffmengen wurde am 15.05.2021 mittels Flüssigdüngung durchgeführt. Innerhalb der Vegetationsperiode wurden zwischen dem 15.06.2021 und dem 26.07.2021 vier Beregnungsgabe in Höhe von jeweils 25 mm ausgebracht. Das Jahr 2021 zeichnete sich durch überdurchschnittliche Niederschläge in den Monaten Juli (89,5 mm) und August (114,5 mm) aus. Die Ernte des Versuches wurde am 13. und 14.09.2021 durchgeführt. Die Probennahme zur Bestimmung der Nachernte N-min Werte erfolgte am 21.09.2021.

Ergebnisse

Versuchsjahr 2019

Im Verlauf der Vegetation wurden der Aufgang im Feld sowie die Bestandesentwicklung bonitiert. Aus beiden Bonituren lassen sich keine Einflüsse der Behandlungen auf die erhobenen Parameter ableiten (Abb. 1 und Abb. 2). Gleiches gilt auch für die Pflanzenhöhe (nicht dargestellt).

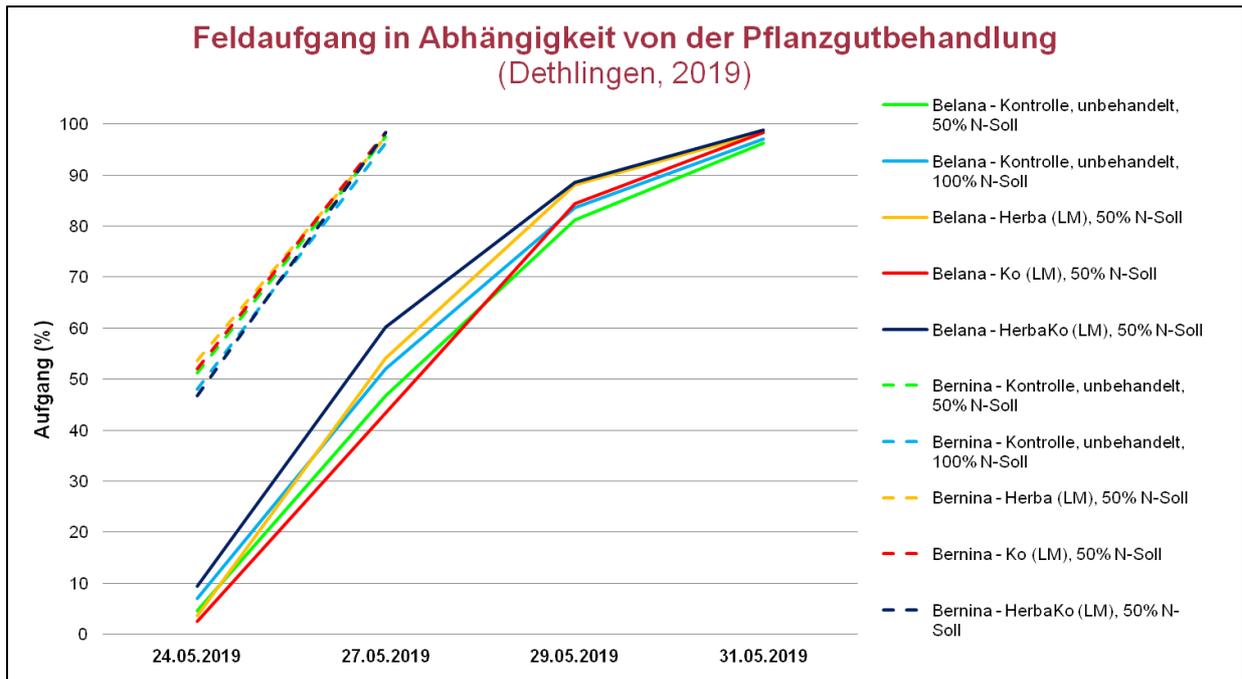


Abbildung 1: Feldaufgang in Abhängigkeit von der Pflanzgutbehandlung

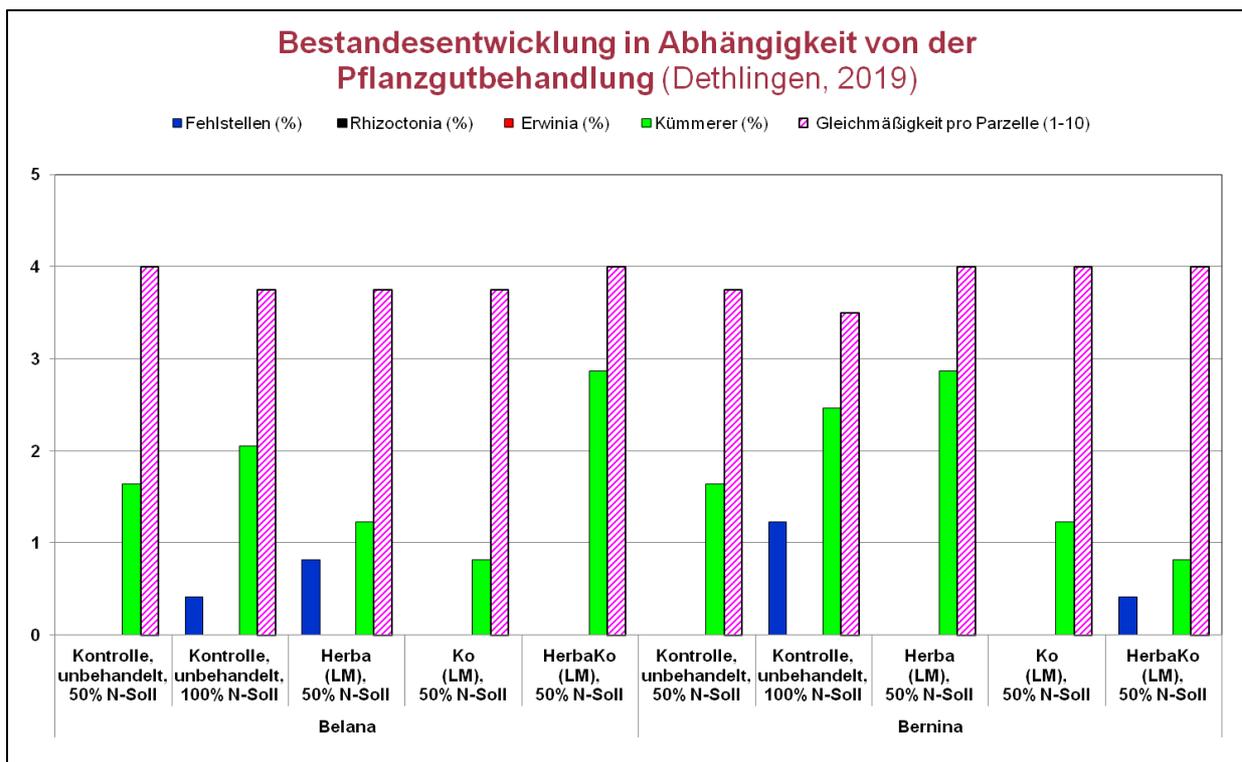


Abbildung 2: Bestandesentwicklung in Abhängigkeit von der Pflanzgutbehandlung

Bei der Auswertung der Rohwareerträge fällt zunächst ein sortenabhängiger Ertragsunterschied auf: Die als stickstoffeffizient eingestufte Sorte Bernina liefert bei identischem Stickstoffangebot leicht höhere Rohwareerträge als die als tendenziell stickstoffineffizient eingestufte Sorte Belana. In beiden Sorten liefert die voll ausgedüngte

Variante 2 den höchsten Rohwareertrag (Abb. 3). Analog dazu sind in der Sorte Bernina bzw. der Variante 2 auch größer fallende Knollen geerntet worden (Abb. 4).

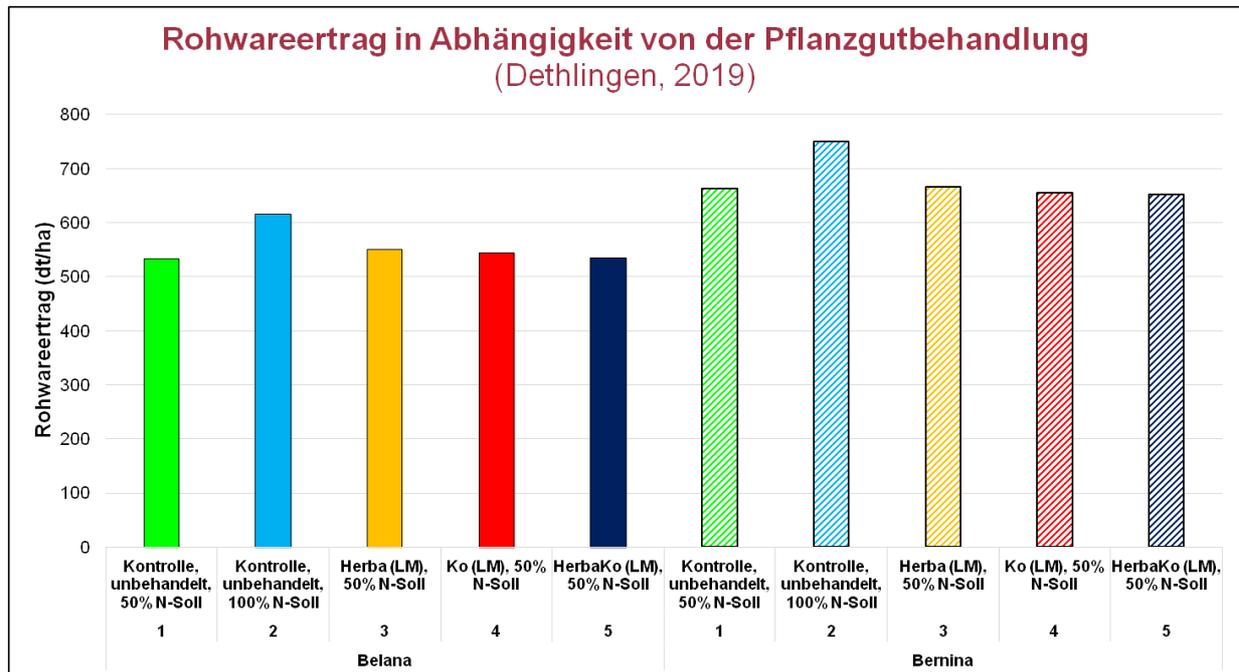


Abbildung 3: Rohwareertrag in Abhängigkeit von der Pflanzgutbehandlung

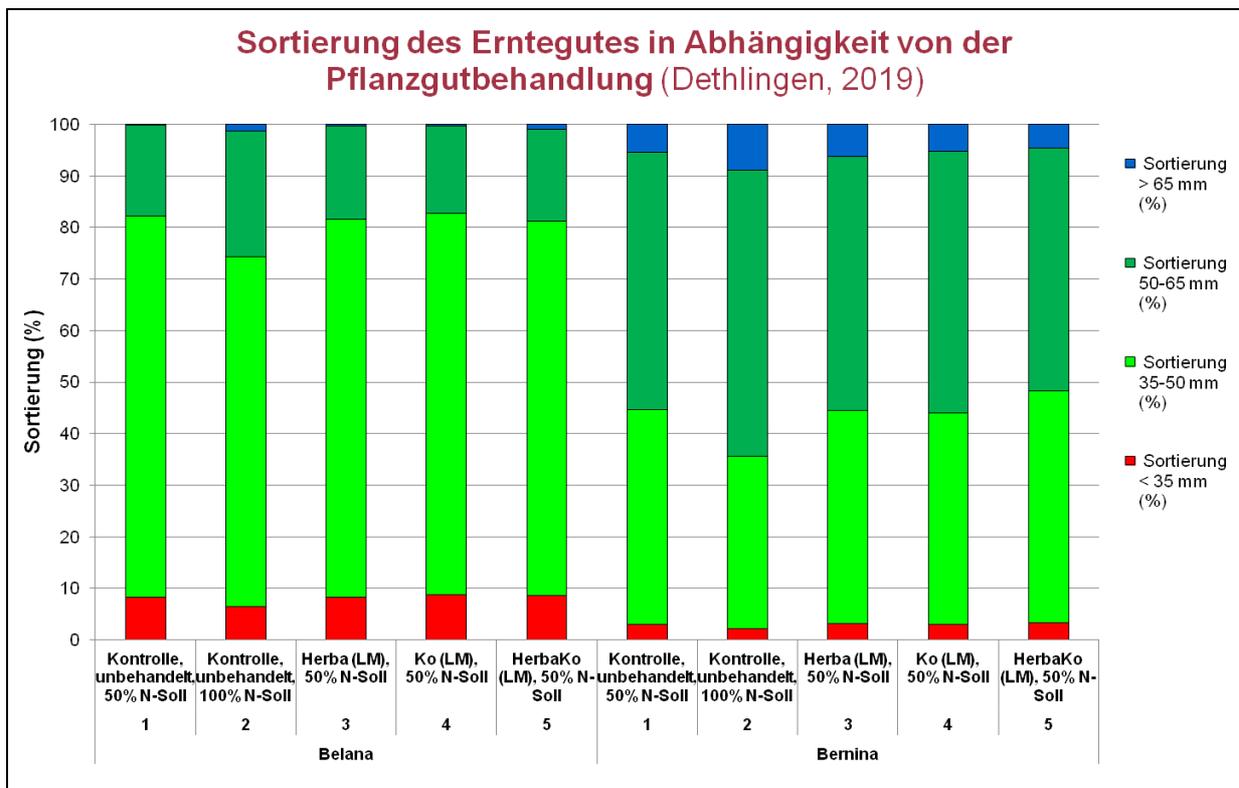


Abbildung 4: Sortierung des Erntegutes in Abhängigkeit von der Pflanzgutbehandlung

Die Anzahl der Knollen je Staude sowie der Stärkegehalt sind wesentlich durch die ausgewählte Sorte beeinflusst. Signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungen lassen

sich nicht nachweisen. Die verringerte Knollenanzahl in der Variante 5 (Herbaspirillum + Kosakonia) wirkt sich sowohl in der Sortierung als auch im Gesamtertrag nicht negativ aus.

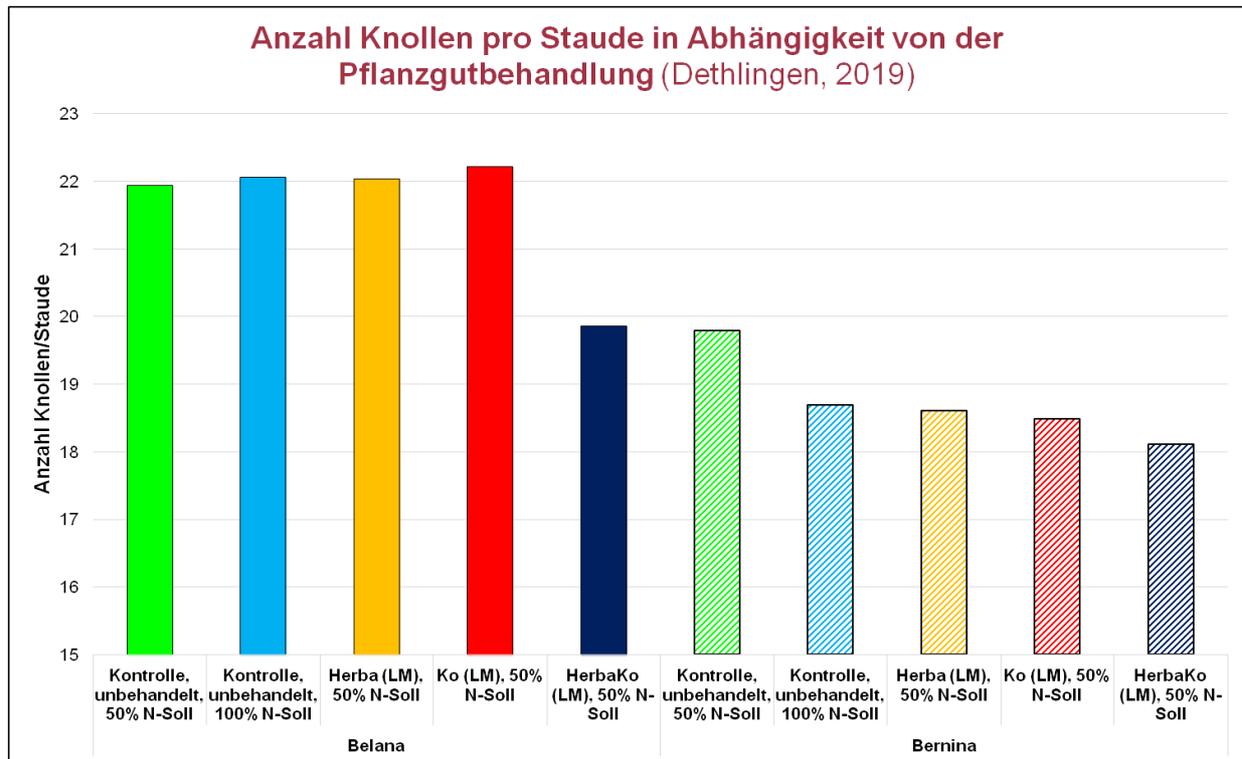


Abbildung 5: Anzahl Knollen pro Staude in Abhängigkeit von der Pflanzgutbehandlung

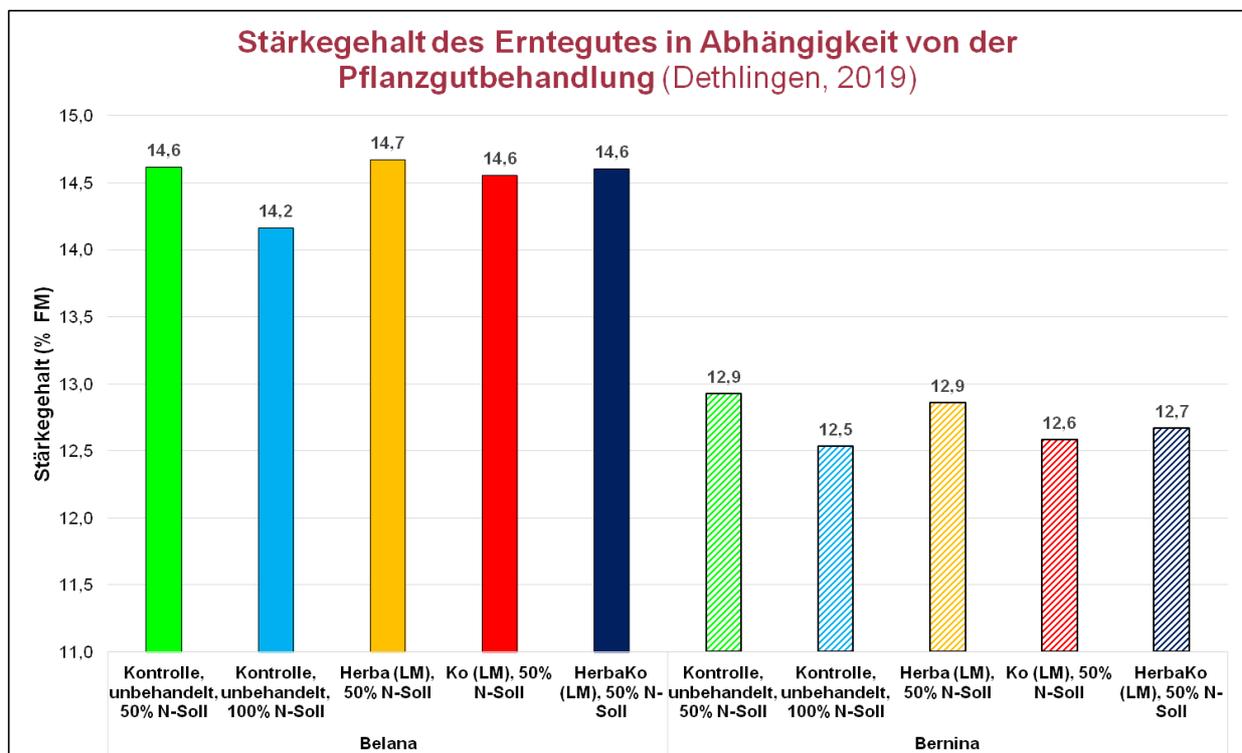


Abbildung 6: Stärkegehalt des Erntegutes in Abhängigkeit von der Pflanzgutbehandlung

Die Ergebnisse der Untersuchung der nach der Ernte im Boden verbliebenen Stickstoffmenge sind nach Sorten differenziert dargestellt. In der als ineffizient eingestuften Sorte Belana

zeigen sich in den mit Bakterien beimpften Varianten tendenziell geringere Reststickstoffmengen (Abb. 7). Dieser Trend ist in der Sorte Bernina nicht nachweisbar (Abb. 8).

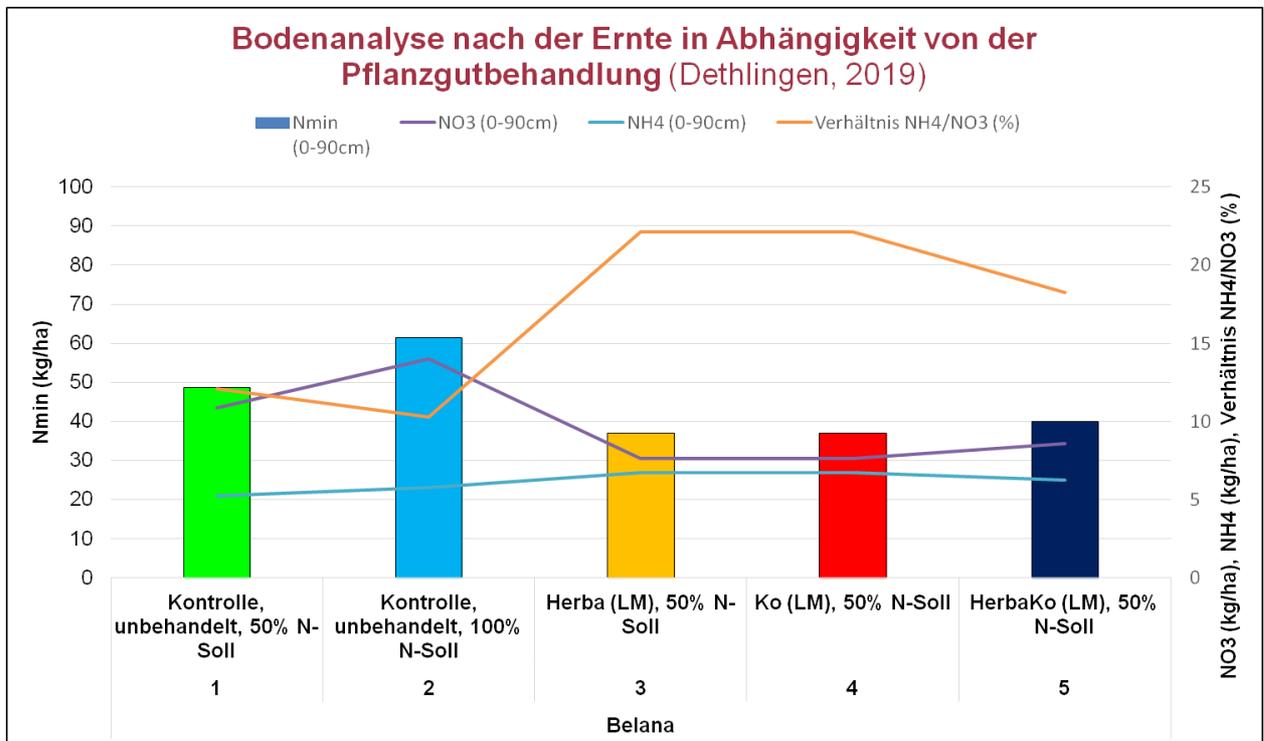


Abbildung 7: Bodenanalyse nach der Ernte in Abhängigkeit von der Pflanzgutbehandlung, Sorte Belana

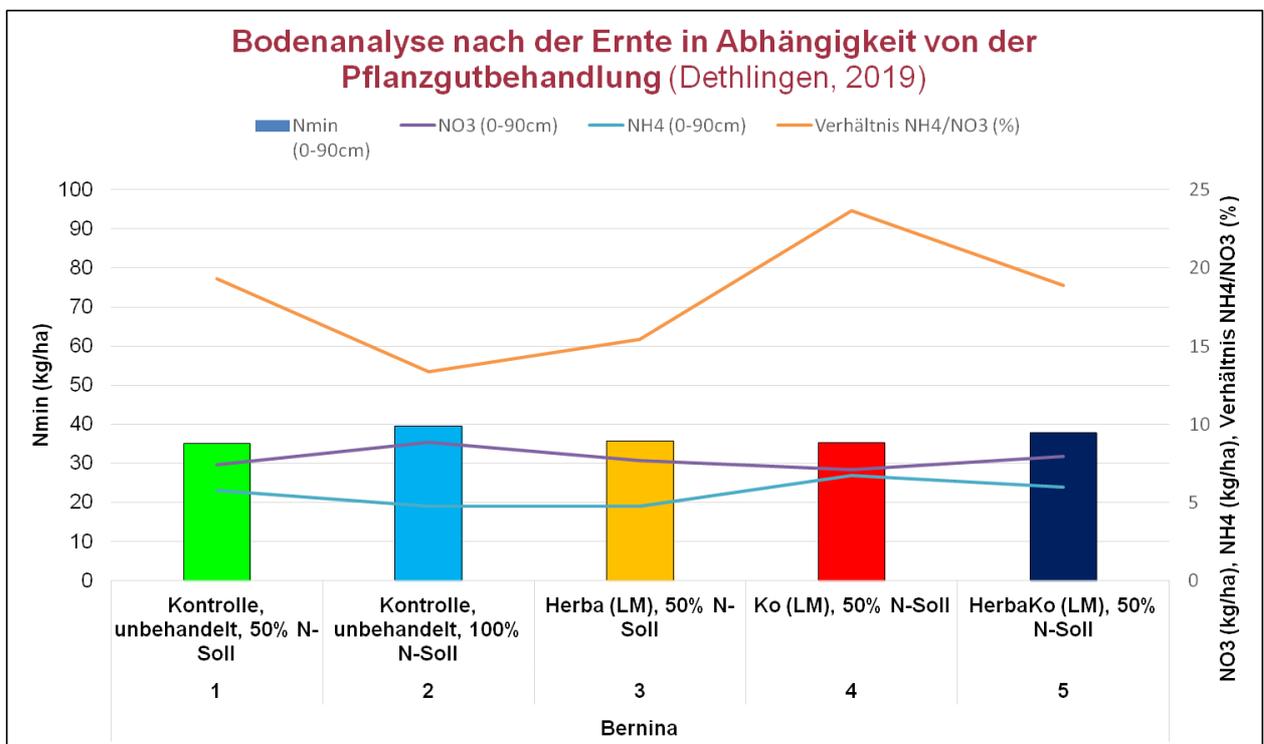


Abbildung 8: Bodenanalyse nach der Ernte in Abhängigkeit von der Pflanzgutbehandlung, Sorte Bernina

Versuchsjahr 2020

Das Auflaufverhalten der nicht vorgekeimten Kartoffelknollen wurde, beginnend am 25. Mai 2020, zu insgesamt fünf Terminen bonitiert. Nach Auflaufen der Pflanzen erfolgte die Bestandesbonitur. Aus beiden Bonituren lassen sich keine eindeutigen Einflüsse der Behandlungen auf die erhobenen Parameter ableiten (Abb. 1 bis Abb. 4). Gleiches gilt auch für die Pflanzenhöhe (nicht dargestellt). Differenzen bezüglich der Triebkraft des Pflanzgutes lassen sich nur zwischen den beiden Sorten erkennen.

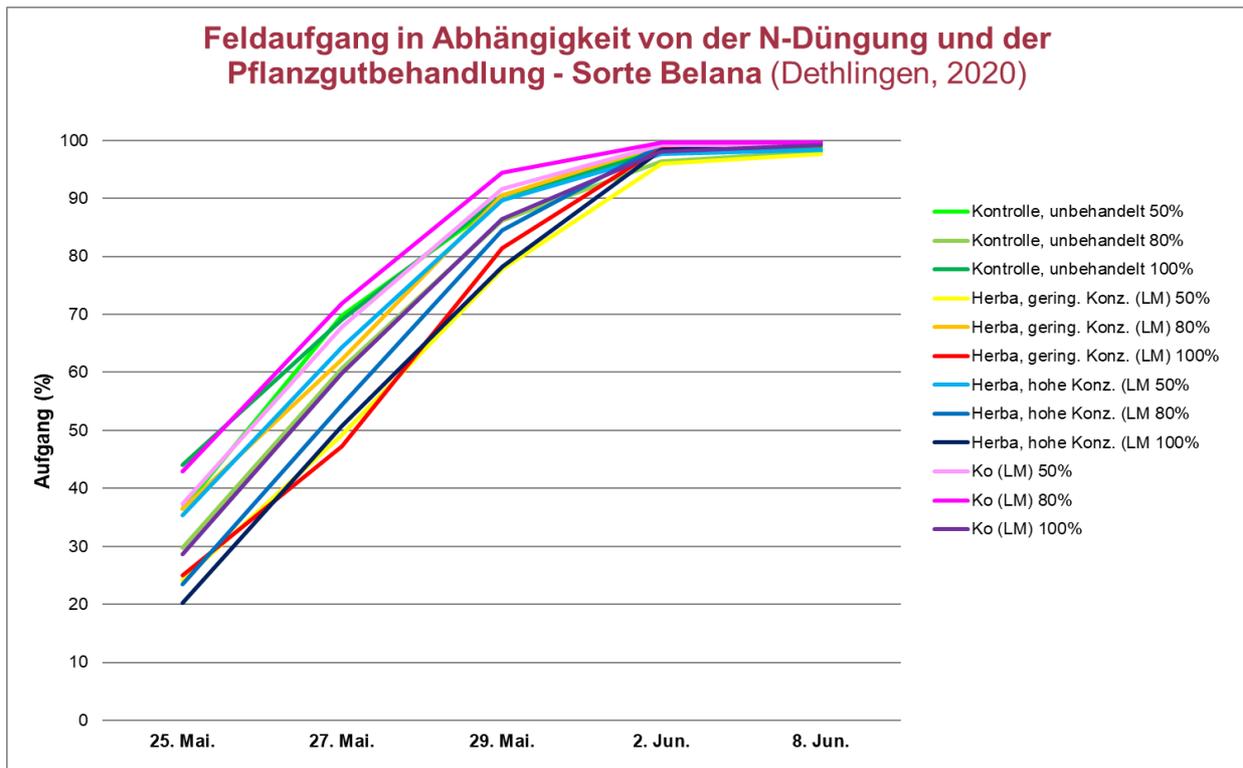


Abbildung 9: Feldaufgang in Abhängigkeit von der N-Düngung und Pflanzgutbehandlung – Sorte Belana

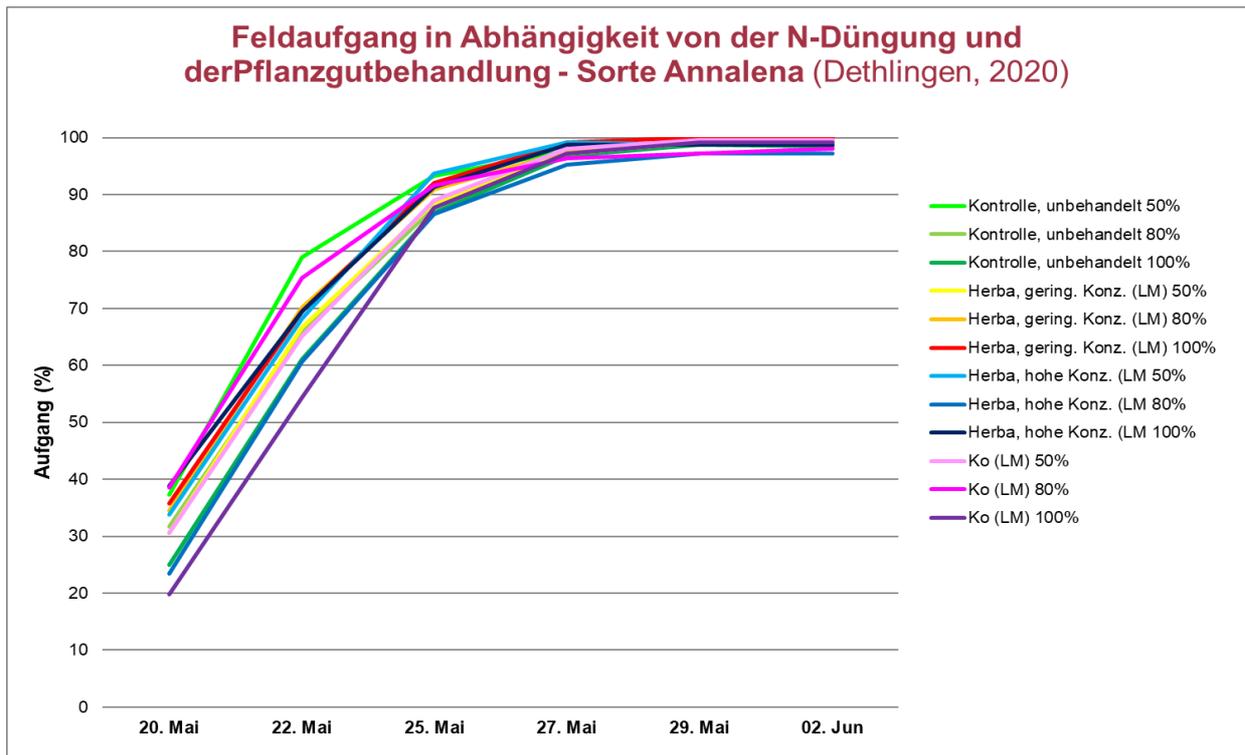


Abbildung 10: Feldaufgang in Abhängigkeit von der N-Düngung und Pflanzgutbehandlung – Sorte Annalena

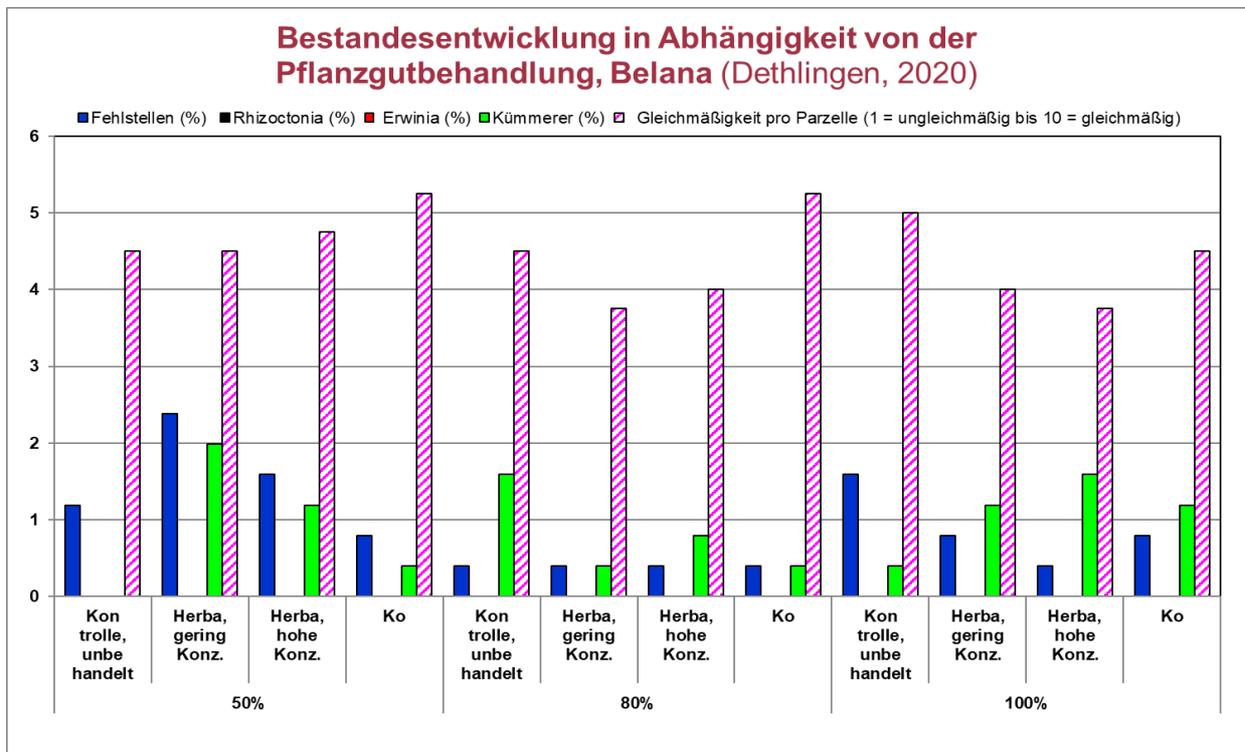


Abbildung 11: Bestandesentwicklung in Abhängigkeit von der N-Düngung und Pflanzgutbehandlung – Sorte Belana

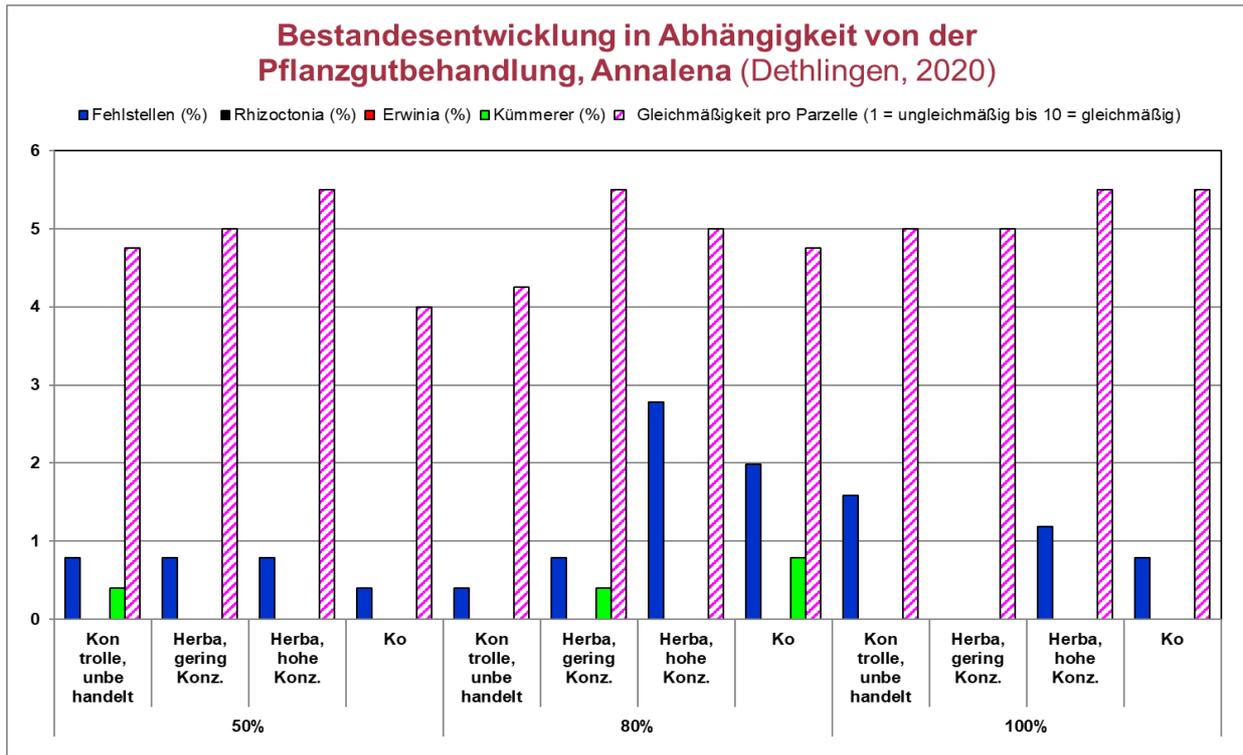


Abbildung 12: Bestandesentwicklung in Abhängigkeit von der N-Düngung und Pflanzgutbehandlung – Sorte Annalena

Der im Vorjahr zu beobachtende Mehrertrag der N-effizienten Sorte bei identischen Stickstoffangebot, kann in 2020 nicht festgestellt werden. Hier weist die Sorte Belana mit rund 720 dt je Hektar einen für diese Sorte ungewöhnlich hohen und über der Erntemenge der Sorte Annalena liegenden Ertrag auf. Statistisch absicherbare Schlussfolgerungen lassen sich aus den Ertragsergebnissen nicht ableiten. Es lässt sich jedoch erkennen, dass die Erhöhung der Aufwandmenge für den weniger durchsetzungsstarken Bakterienstamm Herbaspirillum in beiden getesteten Sorten zu einer Erhöhung des Ertrages gegenüber der Behandlung mit einfacher Aufwandmenge führt (Abb. 7).

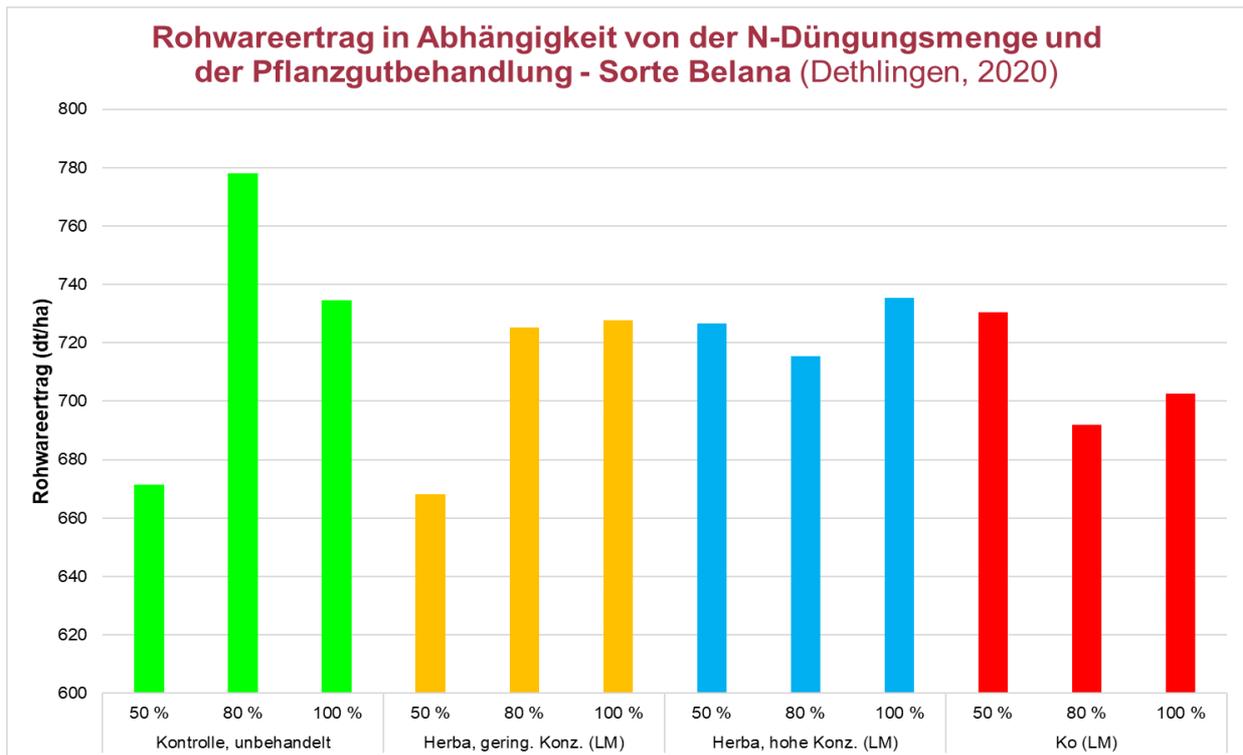


Abbildung 13: Rohwareertrag in Abhängigkeit von der N-Düngung und Pflanzgutbehandlung – Sorte Belana

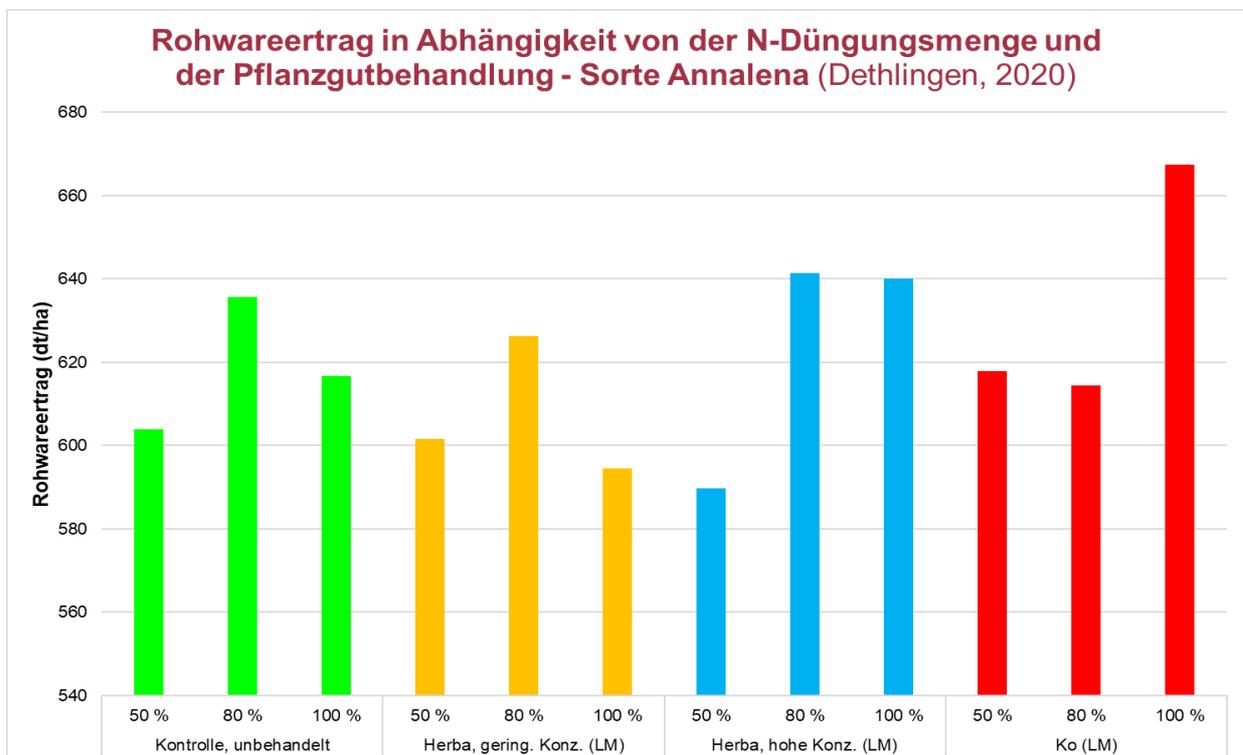


Abbildung 14: Rohwareertrag in Abhängigkeit von der N-Düngung und Pflanzgutbehandlung – Sorte Annalena

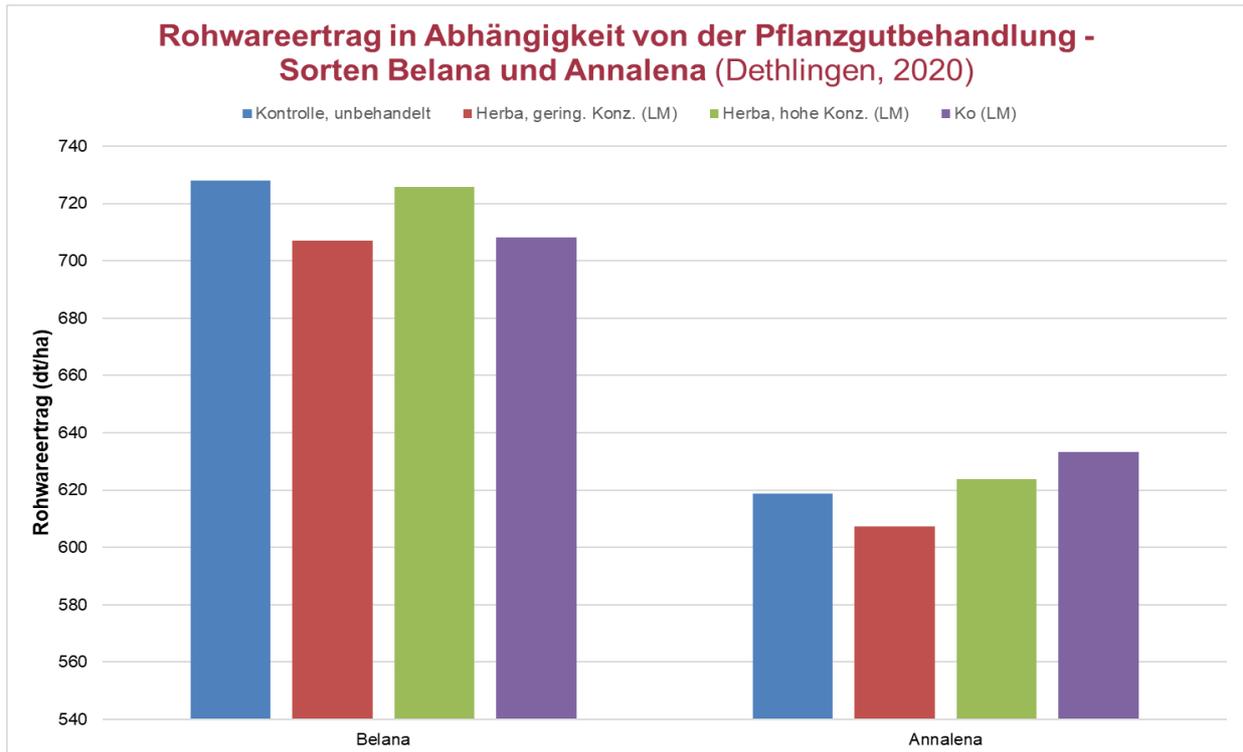


Abbildung 15: Rohwareertrag in Abhängigkeit von der Pflanzgutbehandlung – Sorten Belana und Annalena

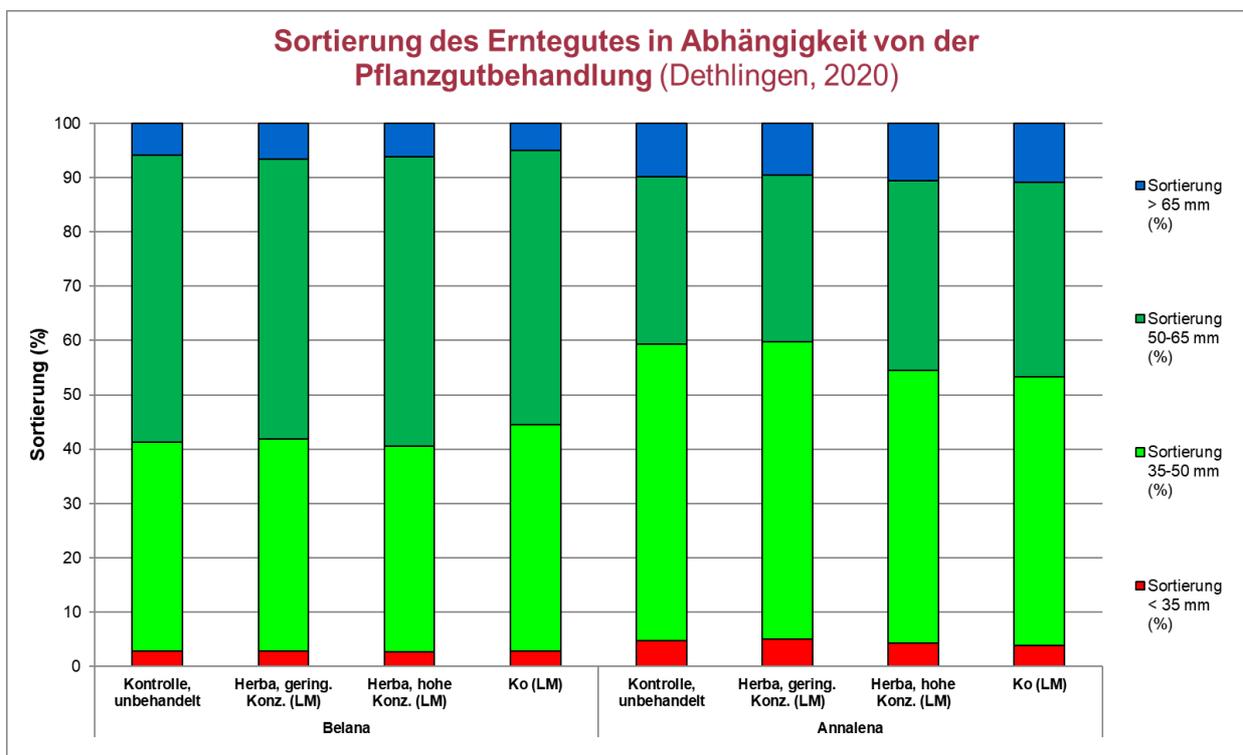


Abbildung 16: Sortierung des Erntegutes in Abhängigkeit von der Pflanzgutbehandlung

Bezüglich der Anzahl der Knollen je Staude und des Stärkegehaltes sind keine statistisch signifikanten Unterschiede der Behandlungsstufen erkennbar. Auch die Auswirkung der Höhe

der Stickstoffgabe auf den Knollenansatz – ein größeres Stickstoffangebot führt in der Regel zu einer geringeren Anzahl angesetztter Knollen – ist hier nicht eindeutig zu erkennen.

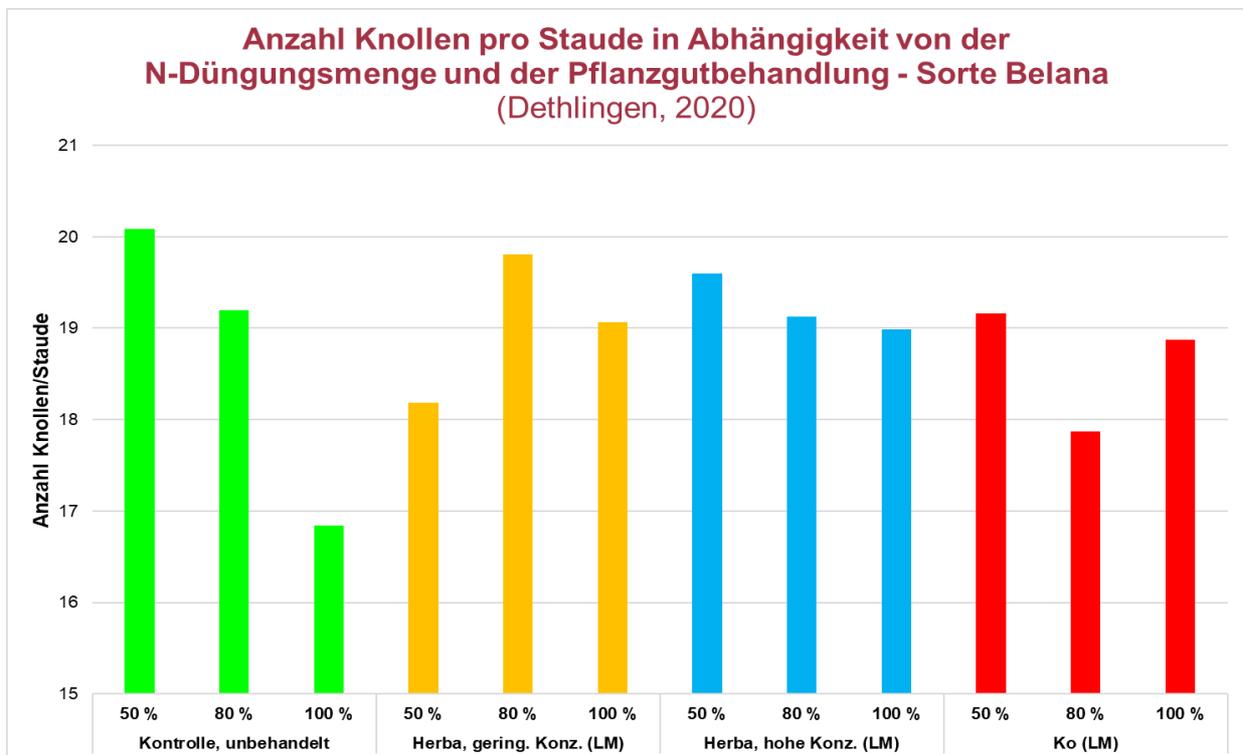


Abbildung 17: Anzahl Knollen pro Staude in Abhängigkeit von der N-Düngung und Pflanzgutbehandlung – Sorte Belana

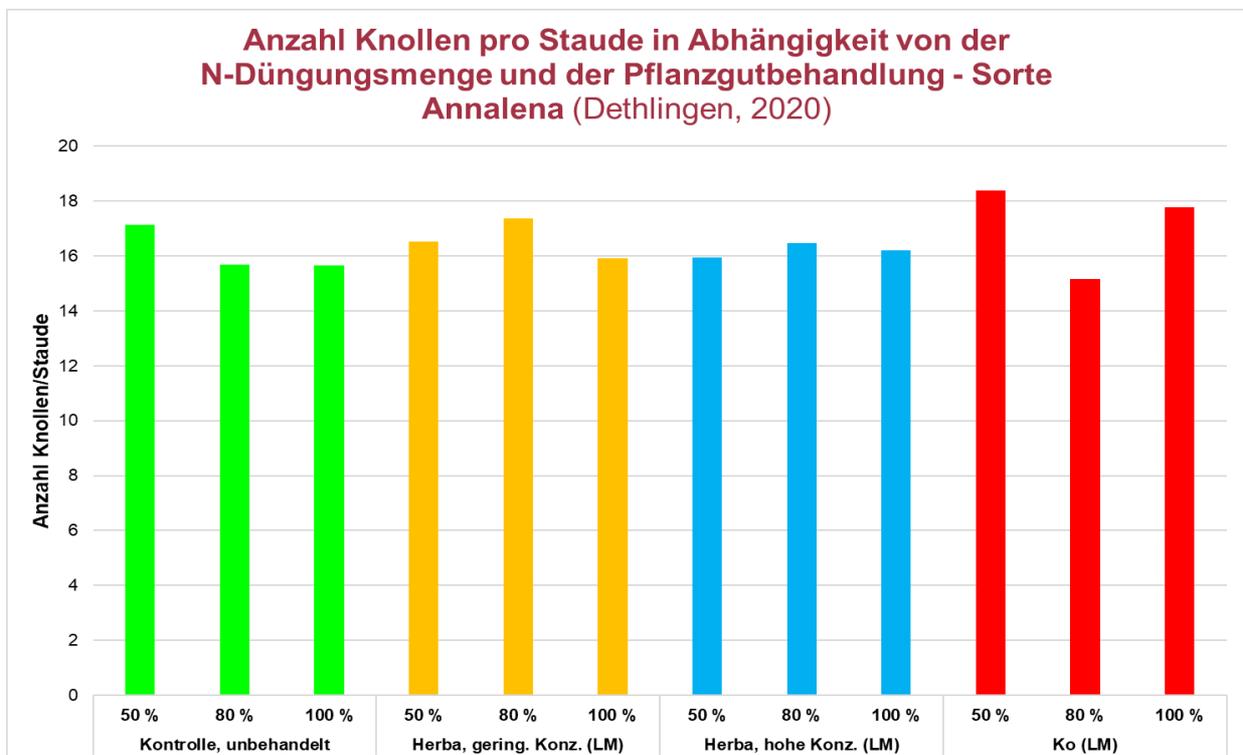


Abbildung 18: Anzahl Knollen pro Staude in Abhängigkeit von der N-Düngung und Pflanzgutbehandlung – Sorte Annalena

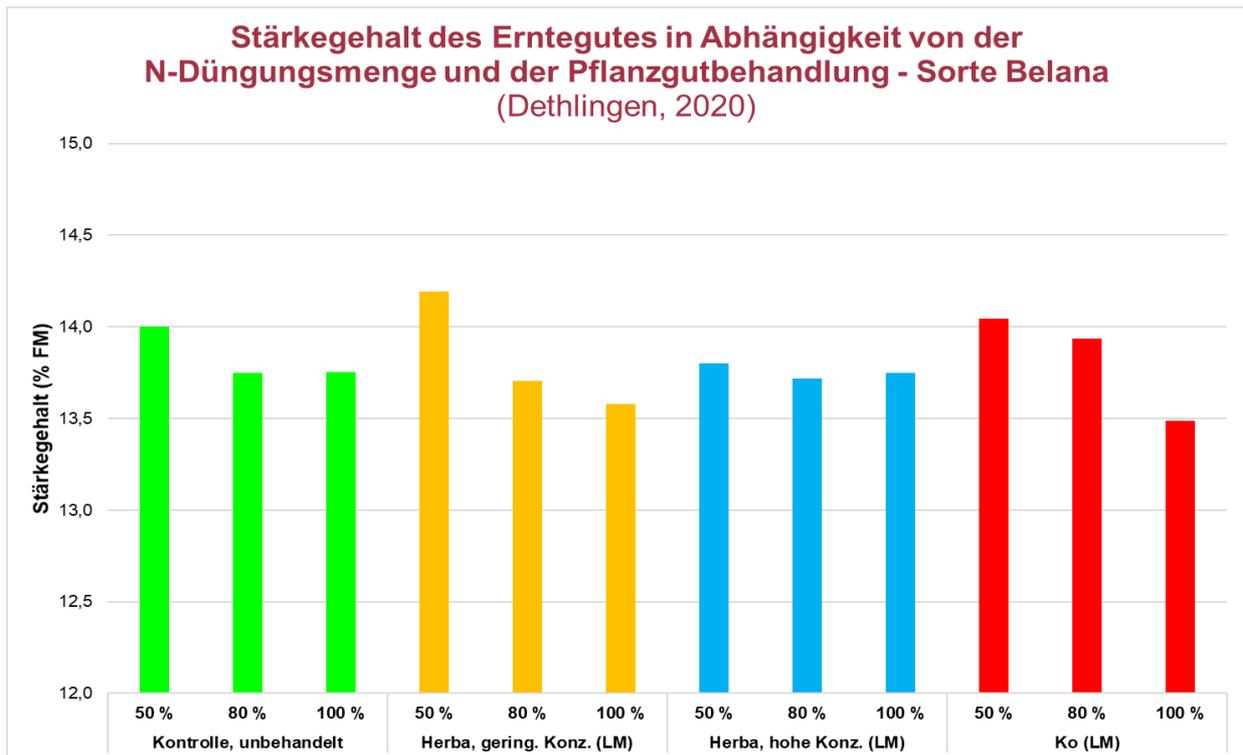


Abbildung 19: Stärkegehalt des Erntegutes in Abhängigkeit von der N-Düngung und Pflanzgutbehandlung – Sorte Belana

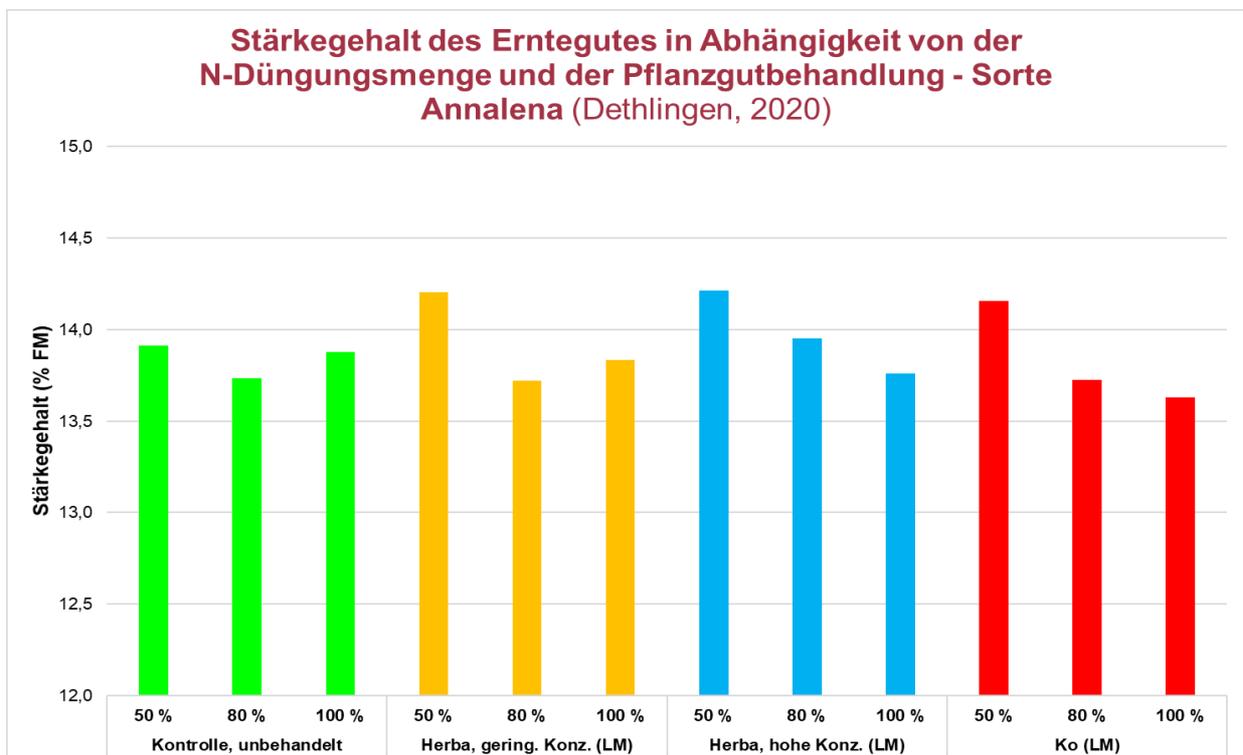


Abbildung 20: Stärkegehalt des Erntegutes in Abhängigkeit von der N-Düngung und Pflanzgutbehandlung – Sorte Annalena

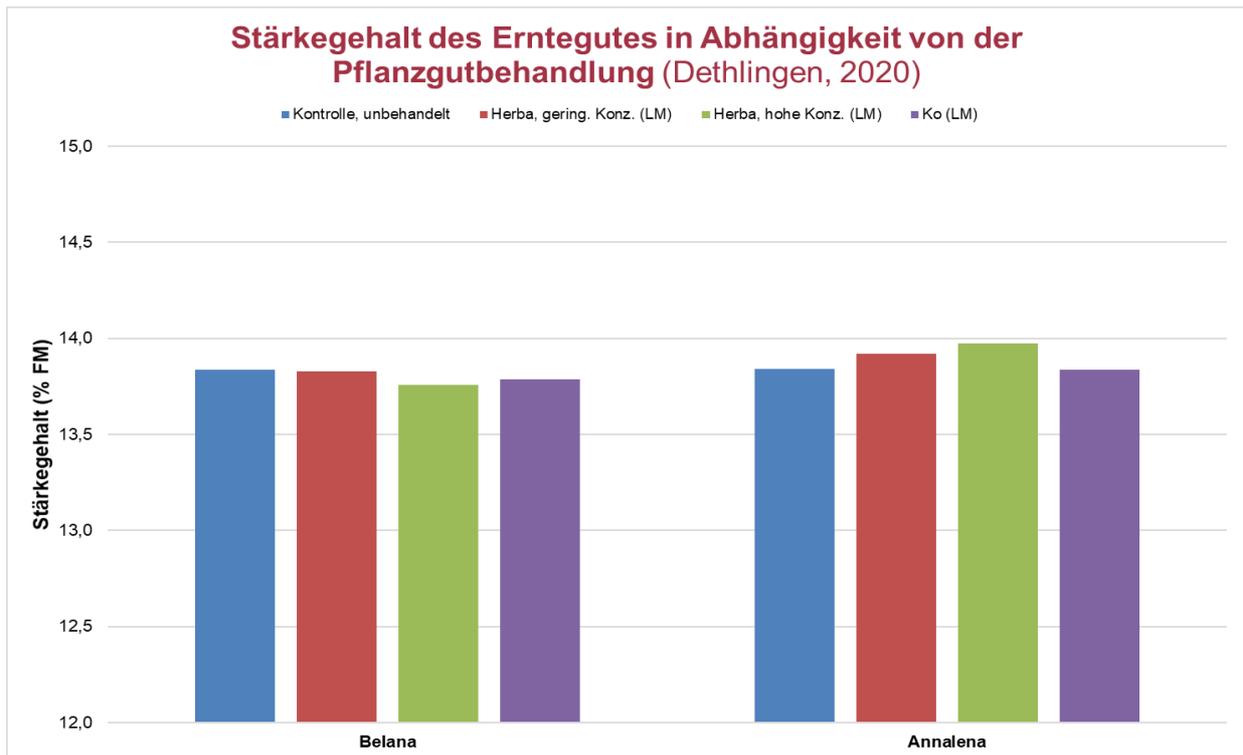


Abbildung 21: Stärkegehalt des Erntegutes in Abhängigkeit von der Pflanzgutbehandlung

Die Ergebnisse der Untersuchung der nach der Ernte im Boden verbliebenen Stickstoffmenge sind nach Sorten differenziert dargestellt. Sowohl in der als ineffizient eingestuft Sorten Belana, als auch in der Sorte Annalena sind lediglich Einflüsse der mineralisch verabreichten Stickstoffgaben auf den Nachernte N-min Wert nachweisbar (Abb. 14 und Abb. 15). Eine Wirkung der eingesetzten Bakterienpräparate lässt sich im Versuchsjahr 2020 hier nicht ablesen.

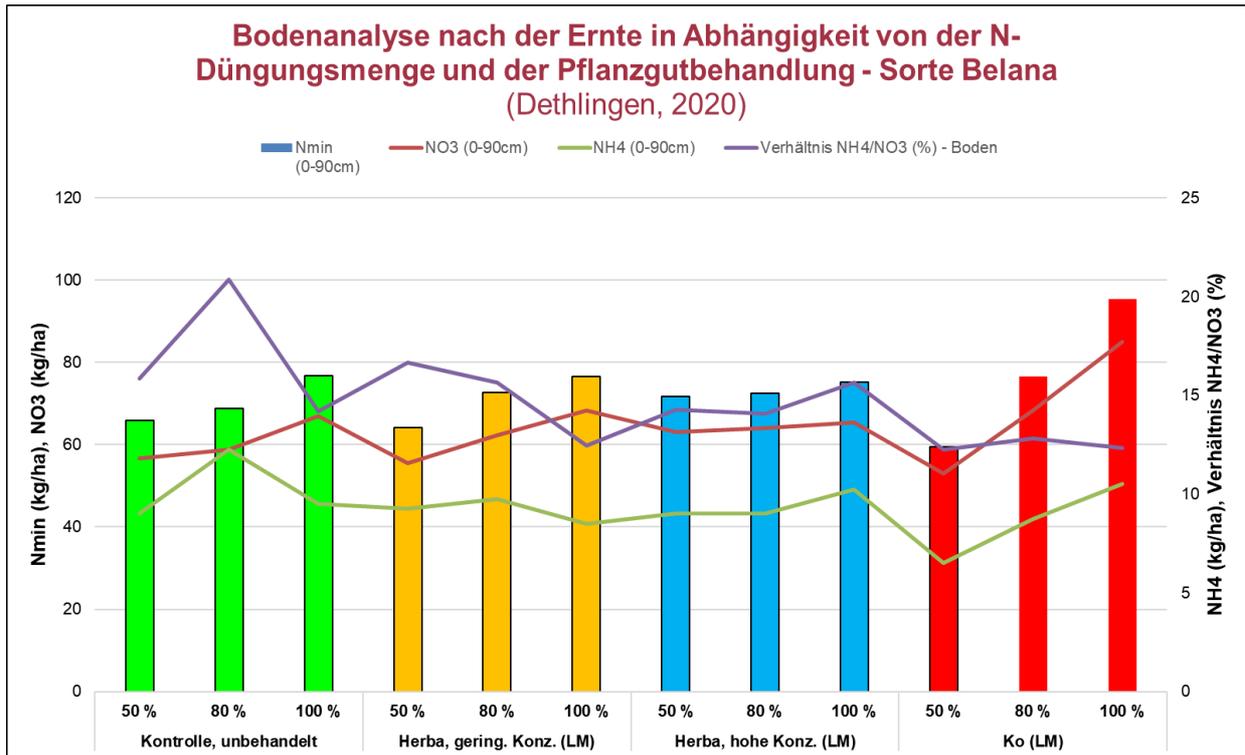


Abbildung 22: Bodenanalyse nach der Ernte in Abhängigkeit von der Pflanzgutbehandlung - Sorte Belana

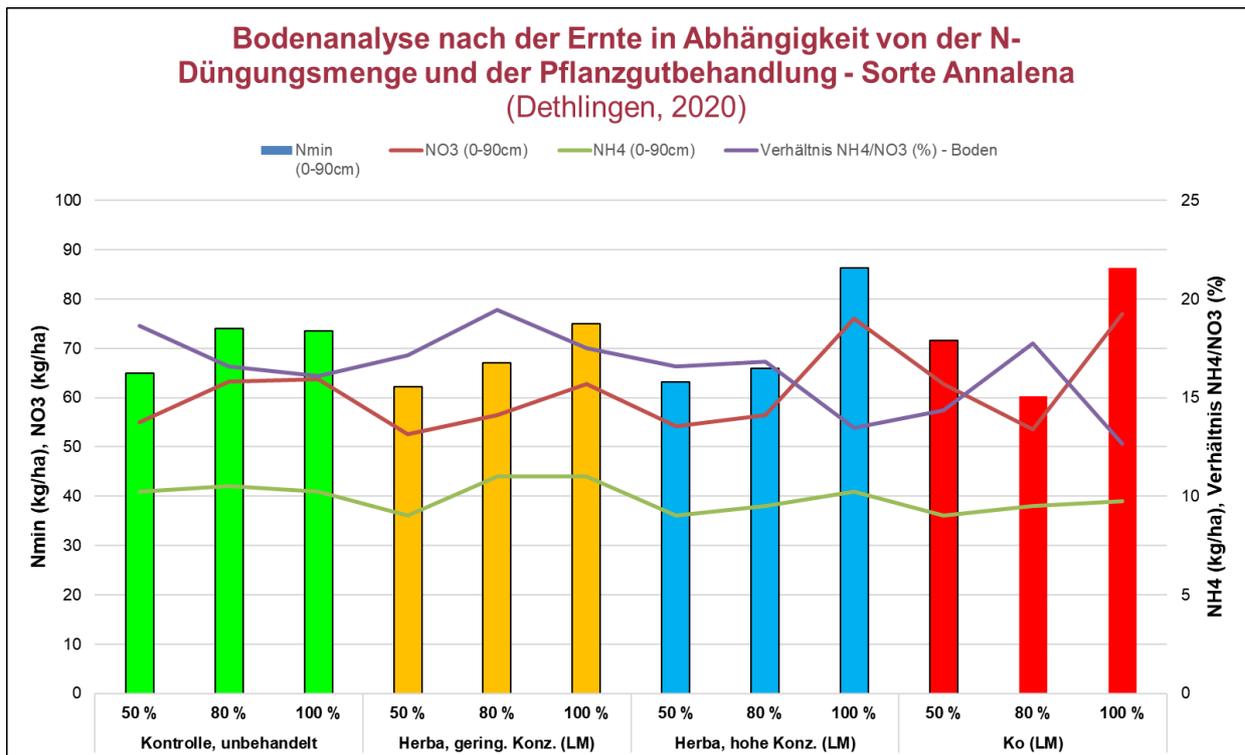


Abbildung 23: Bodenanalyse nach der Ernte in Abhängigkeit von der Pflanzgutbehandlung - Sorte Annalena

Versuchsjahr 2021

Die Bonitur des Feldaufganges (Abb. 24) zeigt, bei einem sehr guten Gesamtaufgangsergebnis, keine Differenzierung zwischen den einzelnen Behandlungen. Zum Termin der Bestandesbonitur wurden keine Fehlstellen, Kümmerer oder von Schaderregern befallene Stauden registriert. Die Bestände zeigten sich sehr homogen. Die Ergebnisse der Messung der Pflanzenhöhen sind in Abb. 25 bis 27 dargestellt. Deutlich sichtbar ist der Einfluss der Düngung, insbesondere zwischen den Stufen 0 % zu 50 % des Bedarfswertes. Die als ineffizient eingestufte Sorte Belana zeigt hier eine deutlich stärkere Reaktion als die effiziente Sorte Bernina.

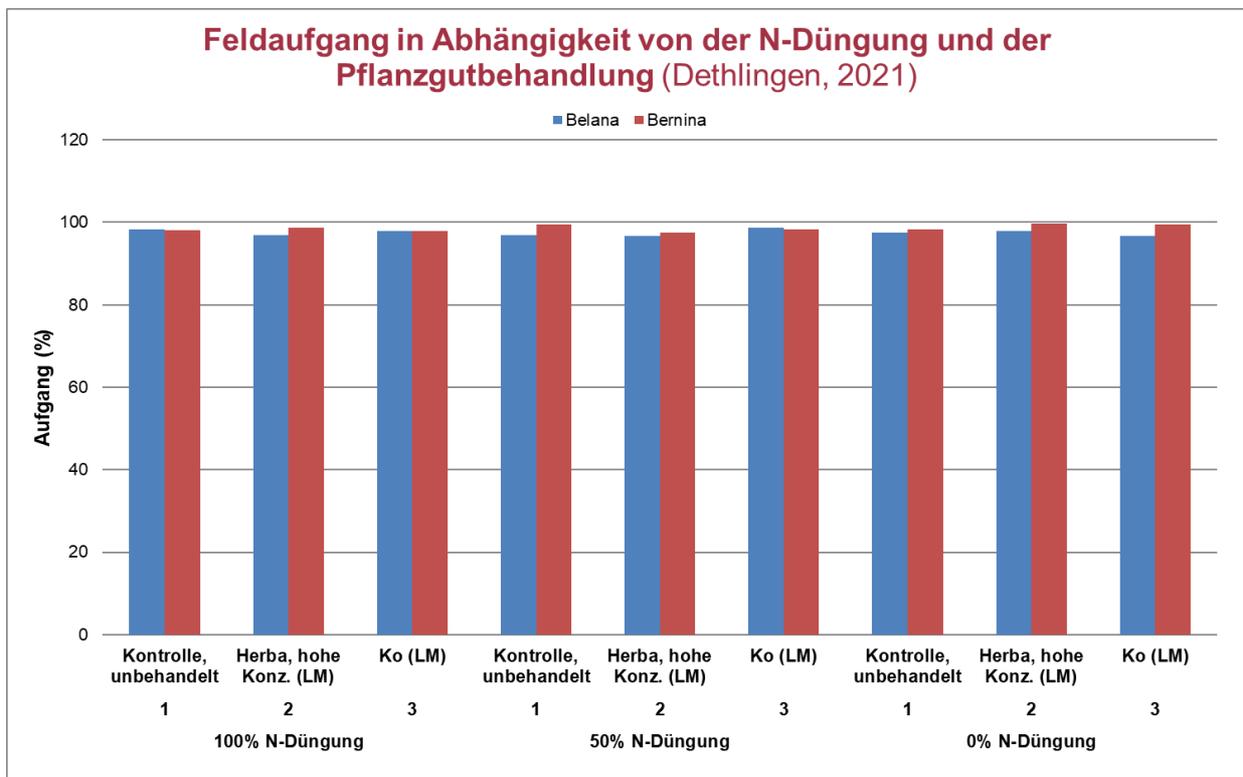


Abbildung 24: Feldaufgang in Abhängigkeit von der N-Düngung und Pflanzgutbehandlung – Vergleich der Sorten Belana und Bernina

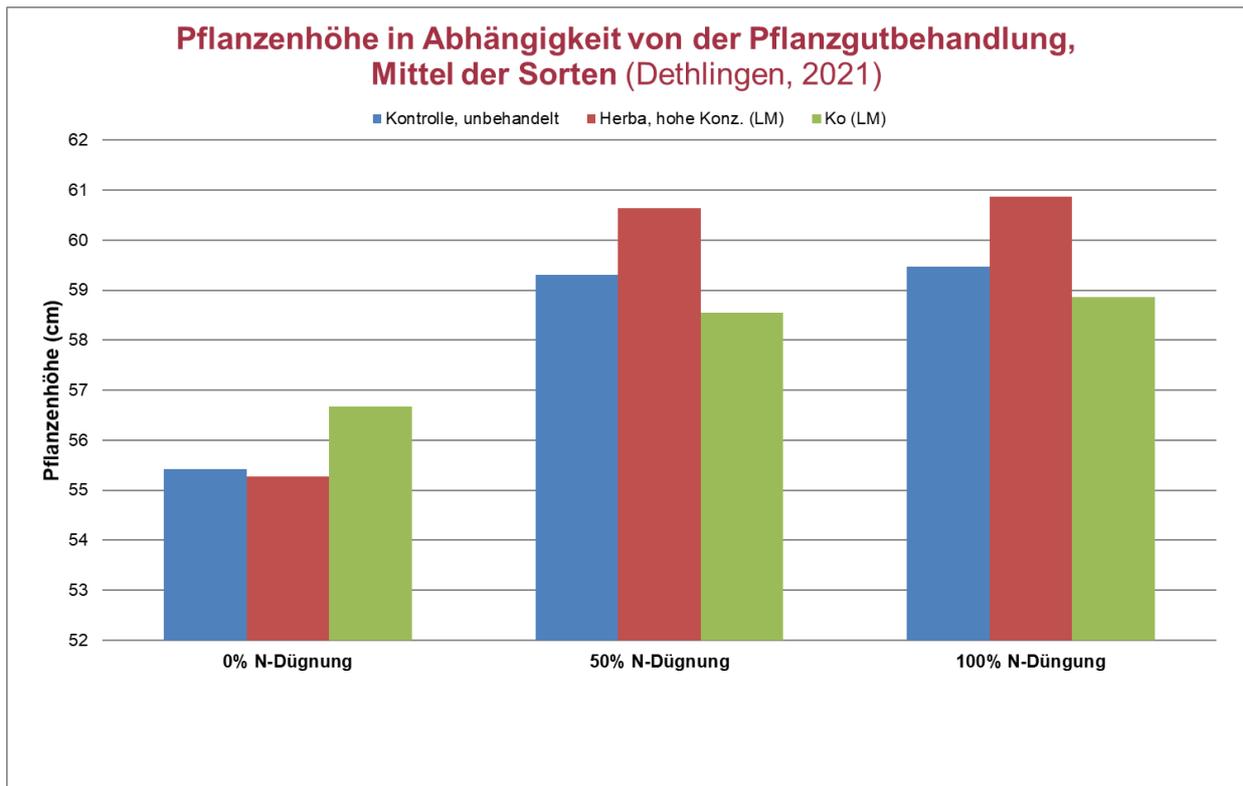


Abbildung 25: Pflanzenhöhe in Abhängigkeit von der N-Düngung und Pflanzgutbehandlung – Mittel der Sorten Belana und Bernina

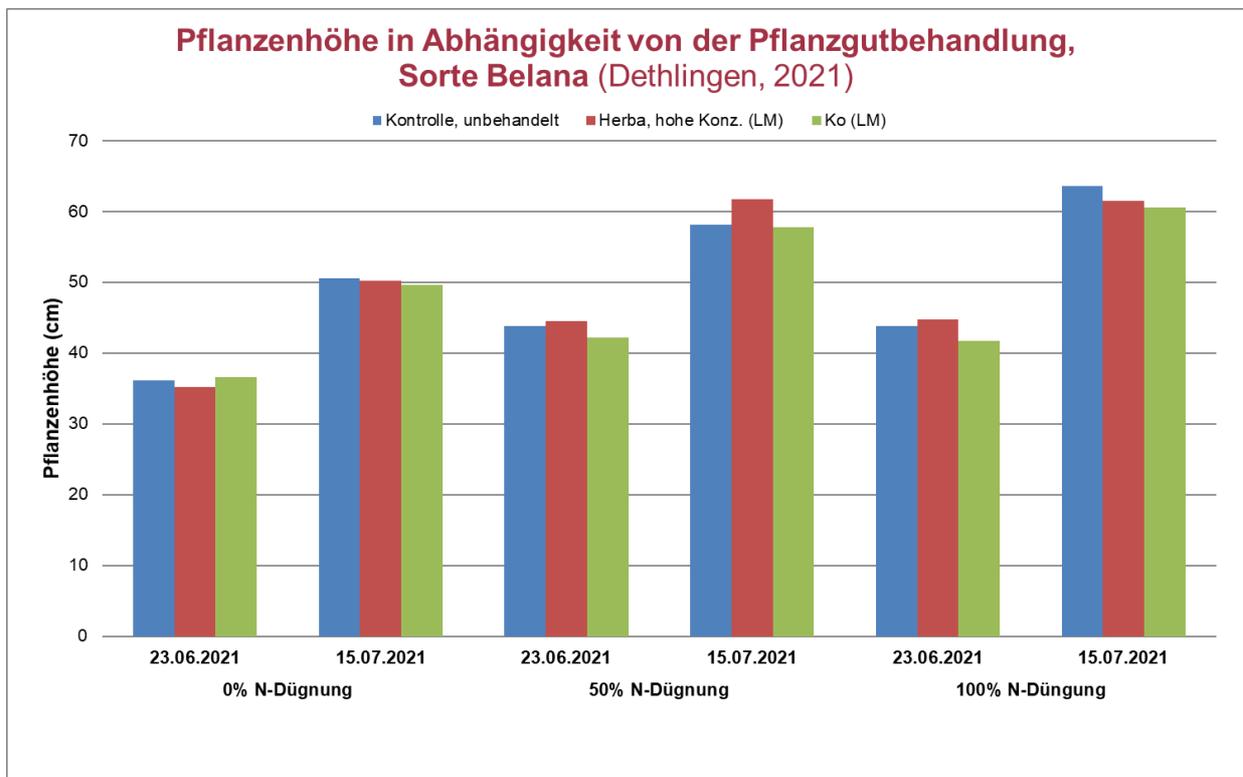


Abbildung 26: Pflanzenhöhe in Abhängigkeit von der Pflanzgutbehandlung – Sorte Belana

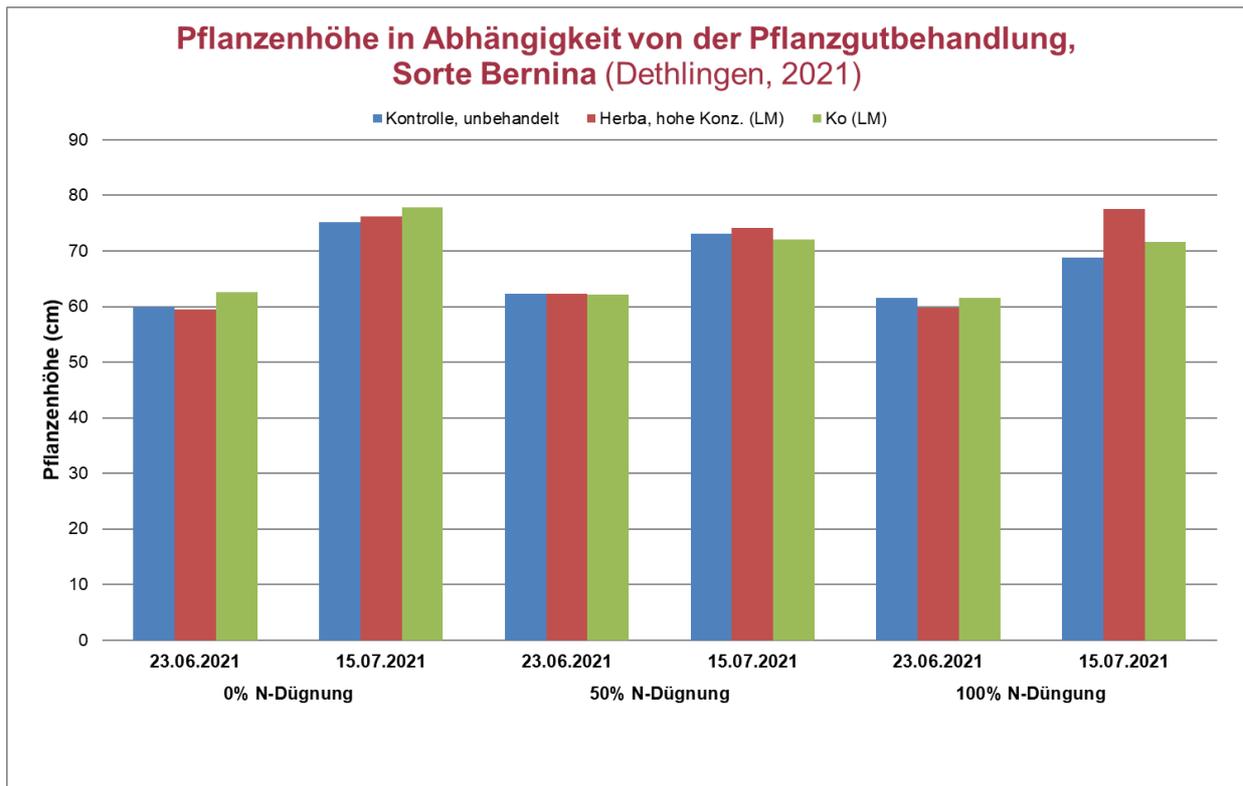


Abbildung 27: Pflanzenhöhe in Abhängigkeit von der Pflanzgutbehandlung – Sorte Bernina

Unterschiede im Rohwareertrag zwischen den Behandlungen sind lediglich zwischen den Düngungsstufen 0 % und den beiden gedüngten Varianten erkennbar. Abbildung 30 zeigt, dass die Ertragsreaktion auf eine gegebene Menge Stickstoff bei der Sorte Belana stärker ausfällt, als bei Bernina. Dieses Ergebnis bestätigt die Einstufung der Sorten bezüglich ihrer Stickstoffeffizienz. Gleiches gilt auch für die Sortierung, bei der in der nicht gedüngten Variante eine größere Anzahl kleiner Knollen festgestellt wurde. Ein Einfluss der Pflanzgutbehandlung auf die Größenzusammensetzung der geernteten Partien lässt sich nicht ableiten (vgl. Abb. 31 und 32).

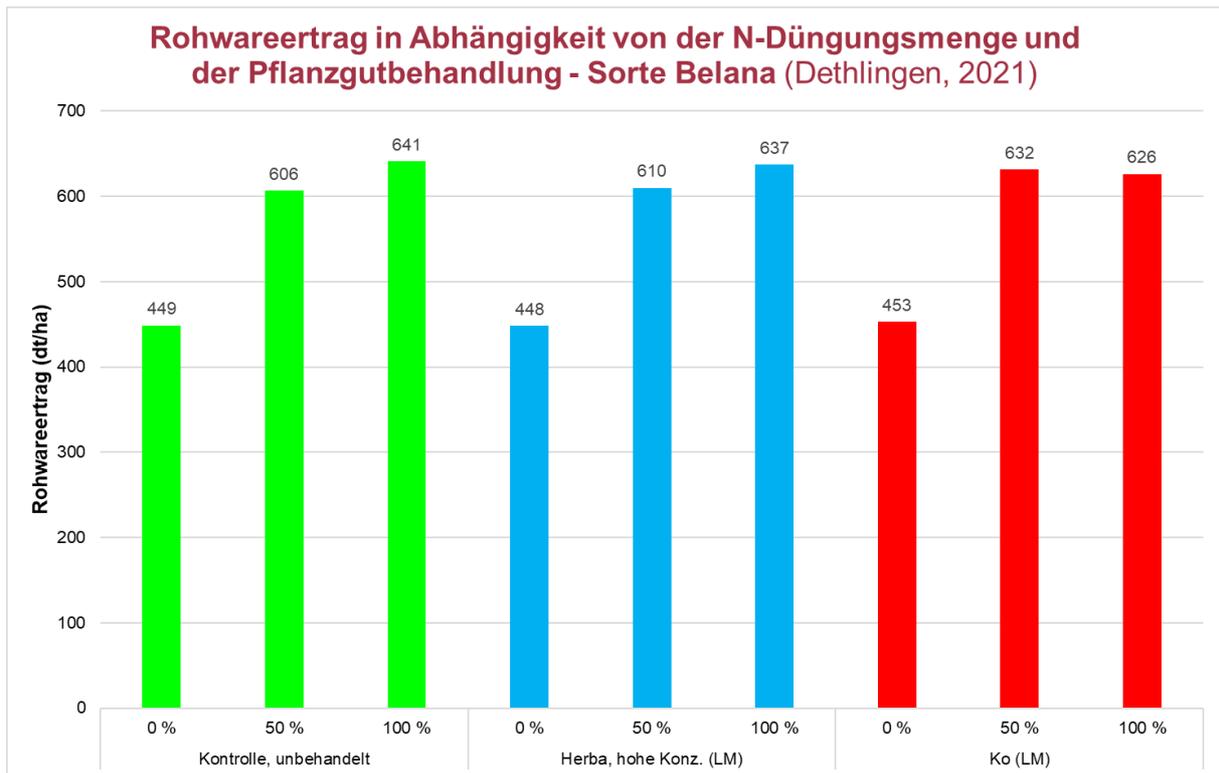


Abbildung 28: Rohwareertrag in Abhängigkeit von der N-Düngung und Pflanzgutbehandlung – Sorte Belana

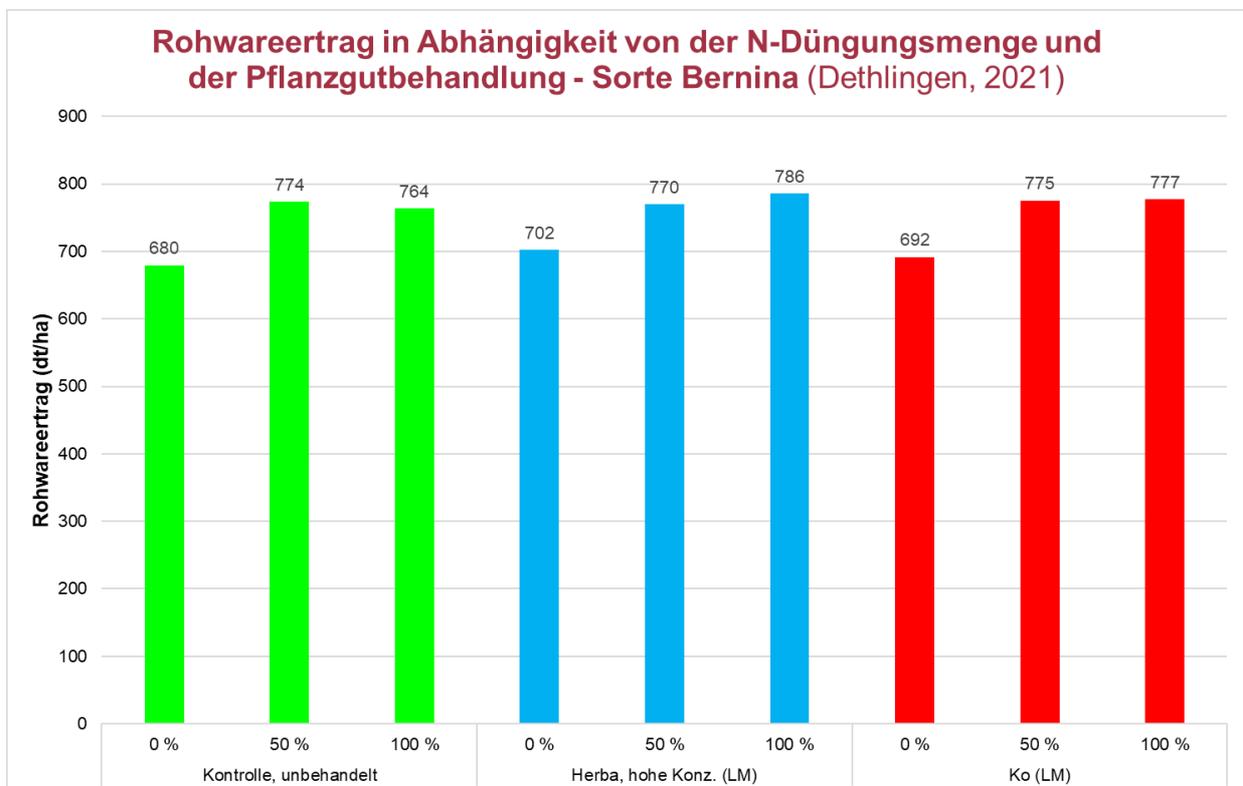


Abbildung 29: Rohwareertrag in Abhängigkeit von der N-Düngung und Pflanzgutbehandlung – Sorte Bernina

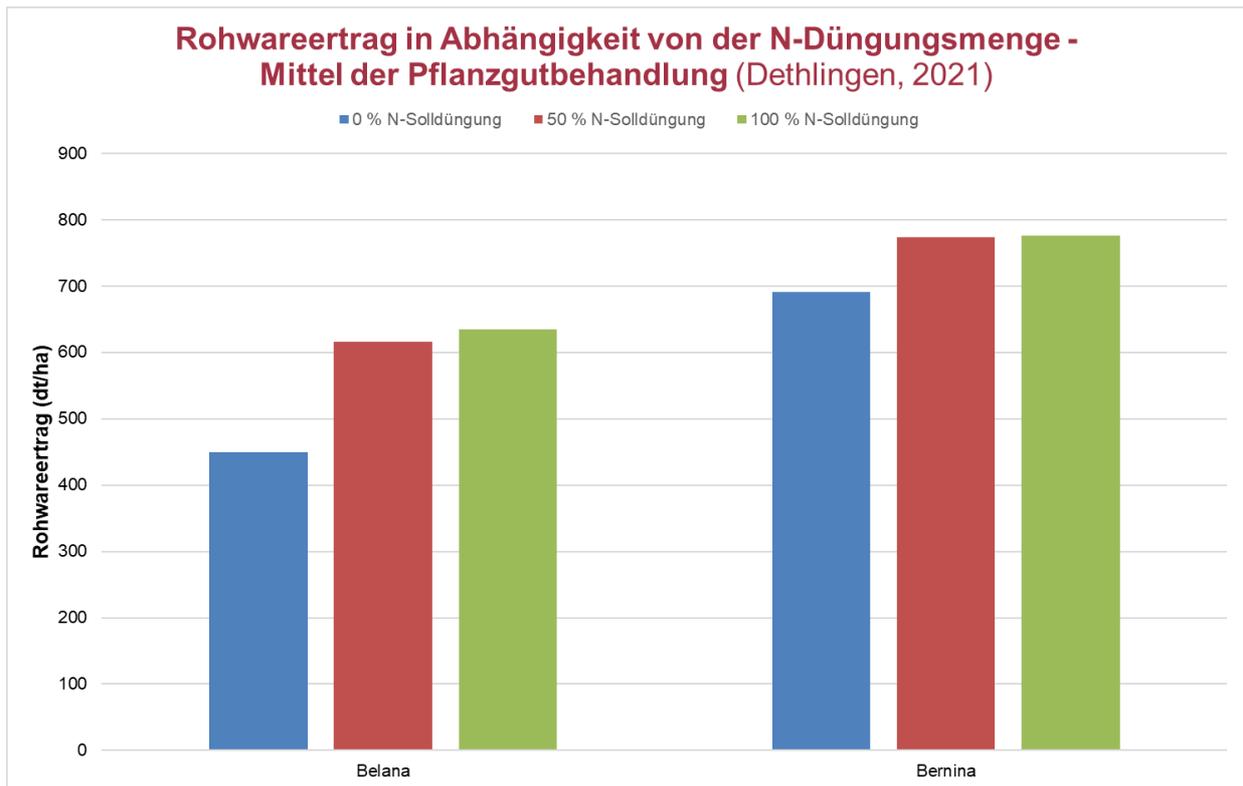


Abbildung 30: Rohwareertrag in Abhängigkeit von der N-Düngung – Sorten Belana und Bernina

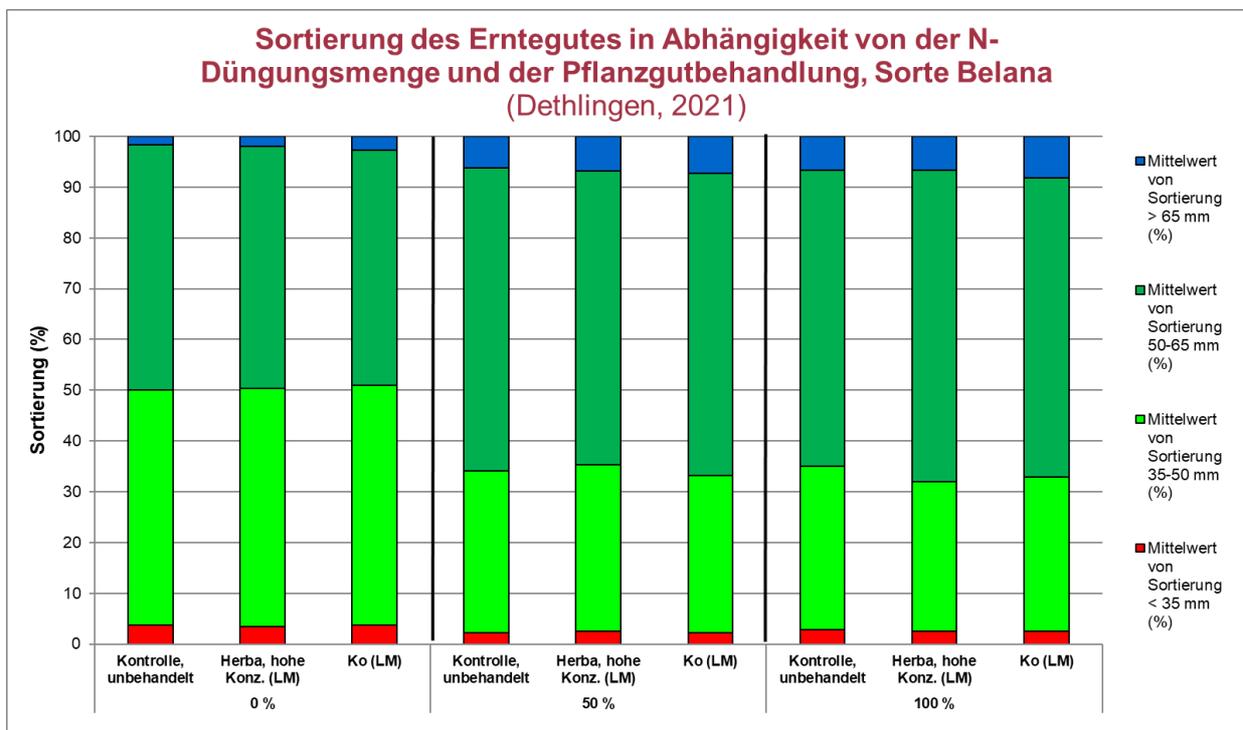


Abbildung 31: Sortierung des Erntegutes in Abhängigkeit von der Pflanzgutbehandlung – Sorte Belana

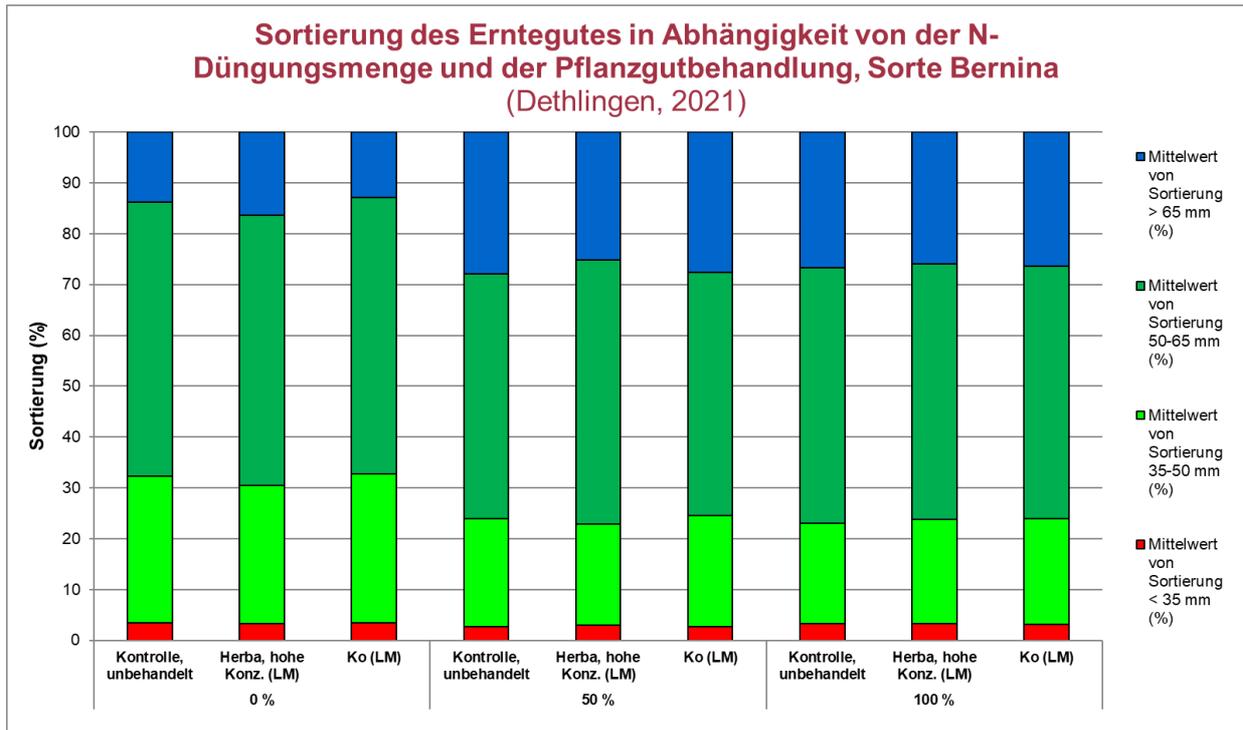


Abbildung 32: Sortierung des Erntegutes in Abhängigkeit von der Pflanzgutbehandlung – Sorte Bernina

Bezüglich der Anzahl der Knollen je Staude (Abb. 33 und 34) und des Stärkegehaltes (Abb. 35, 36 und 37) sind keine statistisch signifikanten Unterschiede der Behandlungsstufen erkennbar. Beim Stärkegehalt zeigen sich die ungedüngten Varianten mit leicht höheren Stärkewerten. Dieses Verhalten lässt sich durch die etwas niedrigeren Gesamterträge in der nicht gedüngten Variante erklären. Äquivalent dazu tritt in den gedüngten Varianten, auf Grund des höheren Rohwareertrages, ein Verdünnungseffekt ein, der zu einem niedrigeren Stärkegehalt führt.

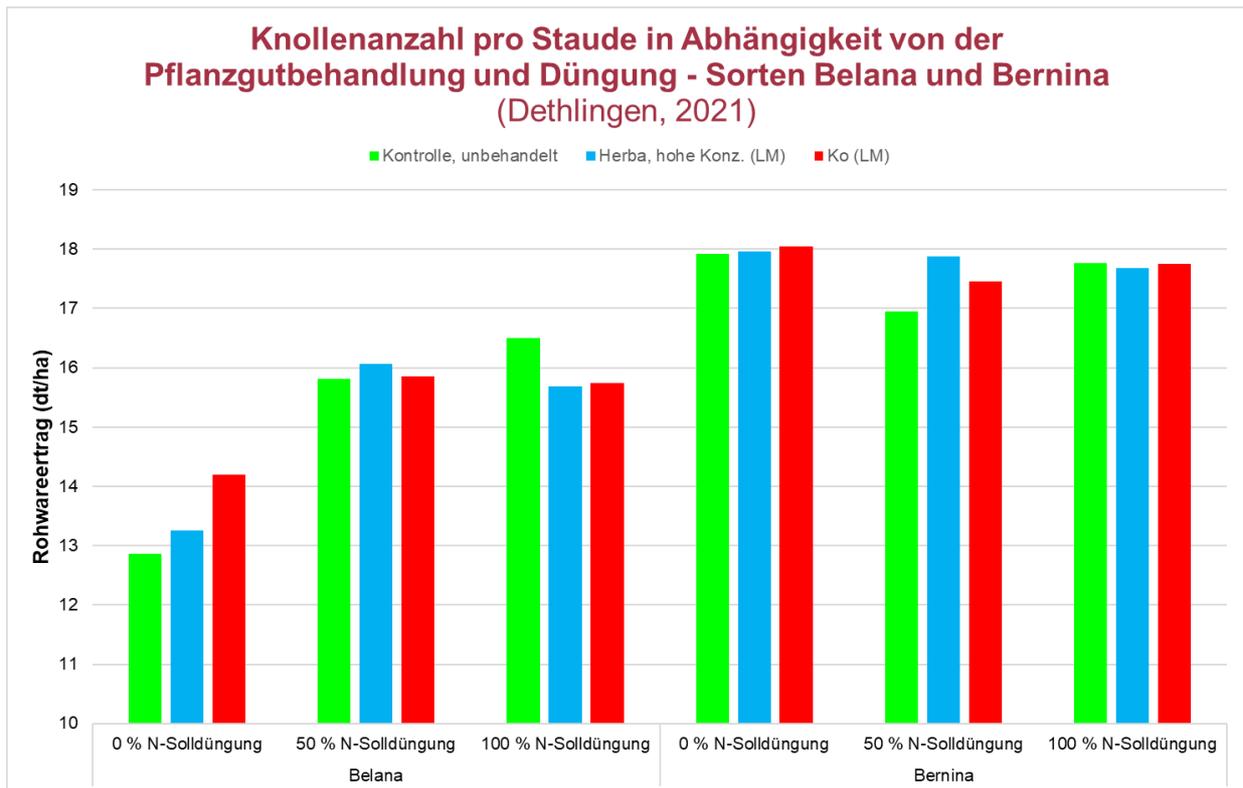


Abbildung 33: Anzahl Knollen pro Staude in Abhängigkeit von der N-Düngung und Pflanzgutbehandlung – Sorten Belana und Bernina

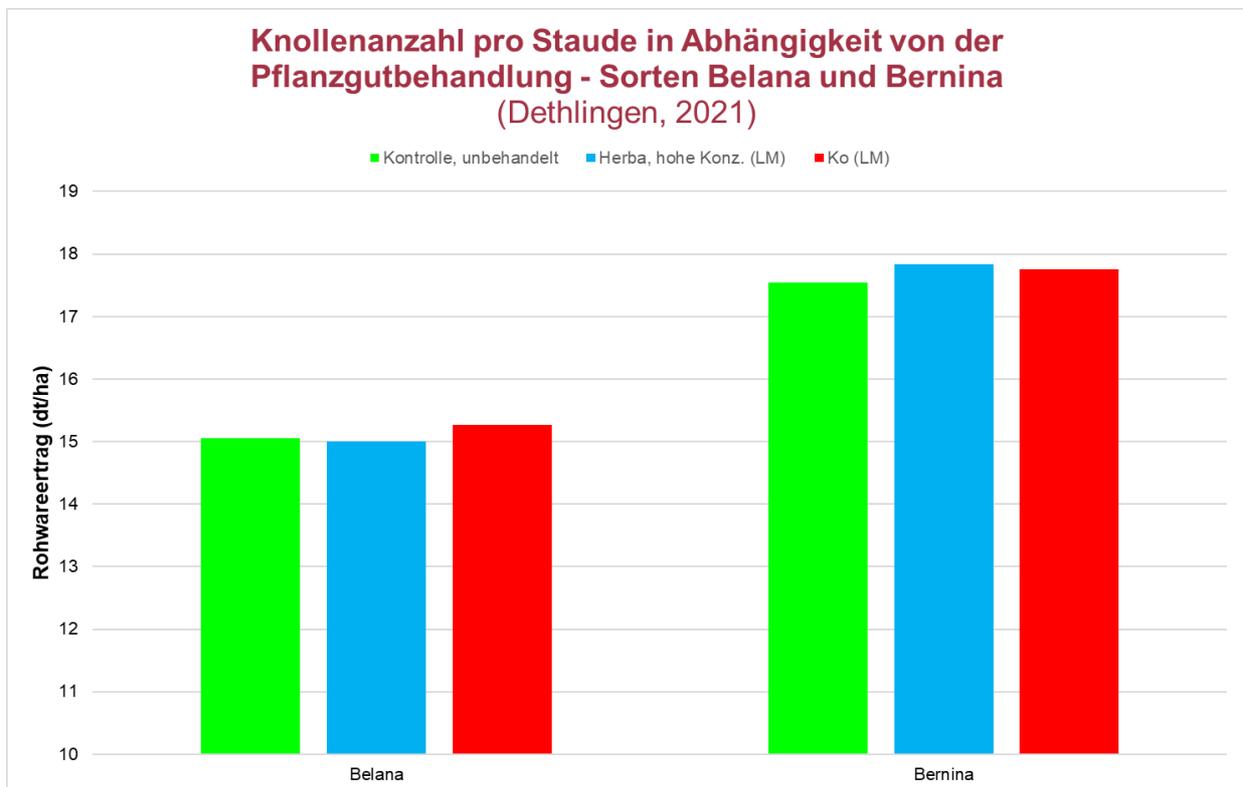


Abbildung 34: Anzahl Knollen pro Staude in Abhängigkeit von der Pflanzgutbehandlung – Sorten Belana und Bernina

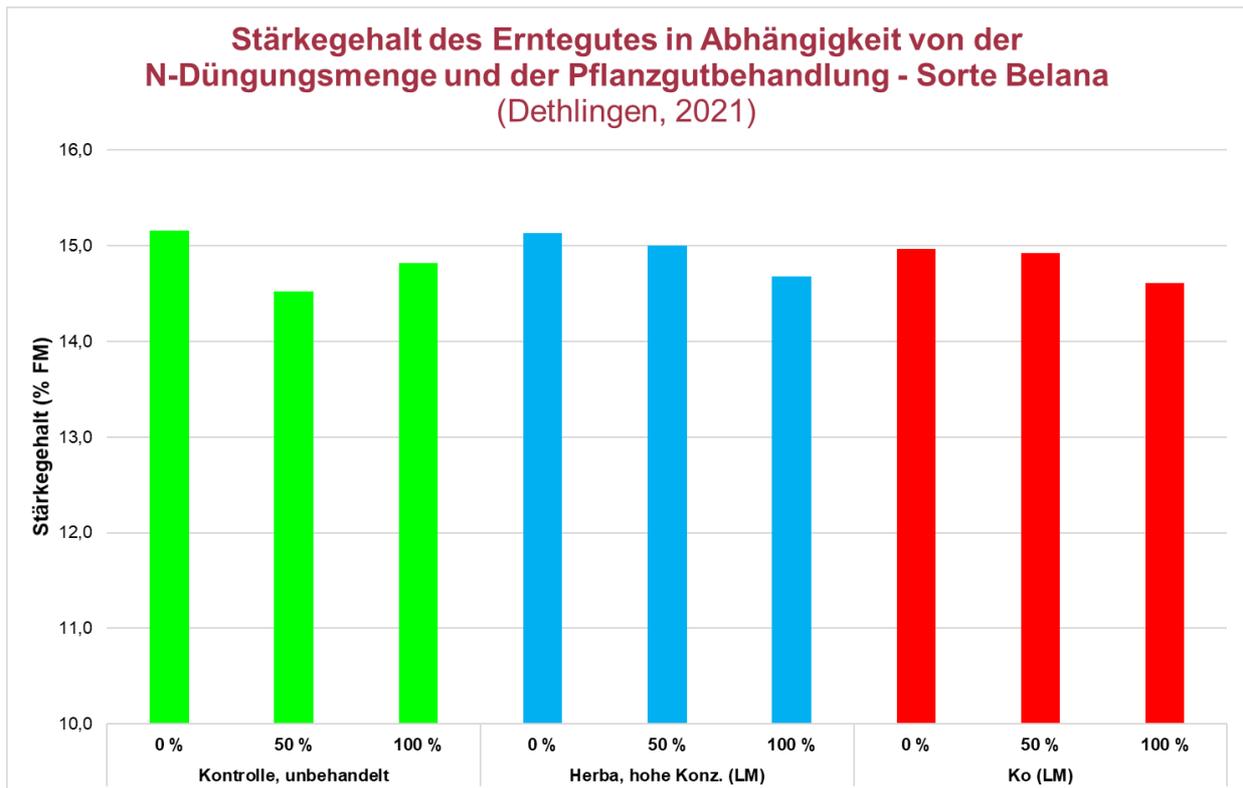


Abbildung 35: Stärkegehalt des Erntegutes in Abhängigkeit von der N-Düngung und Pflanzgutbehandlung – Sorte Belana

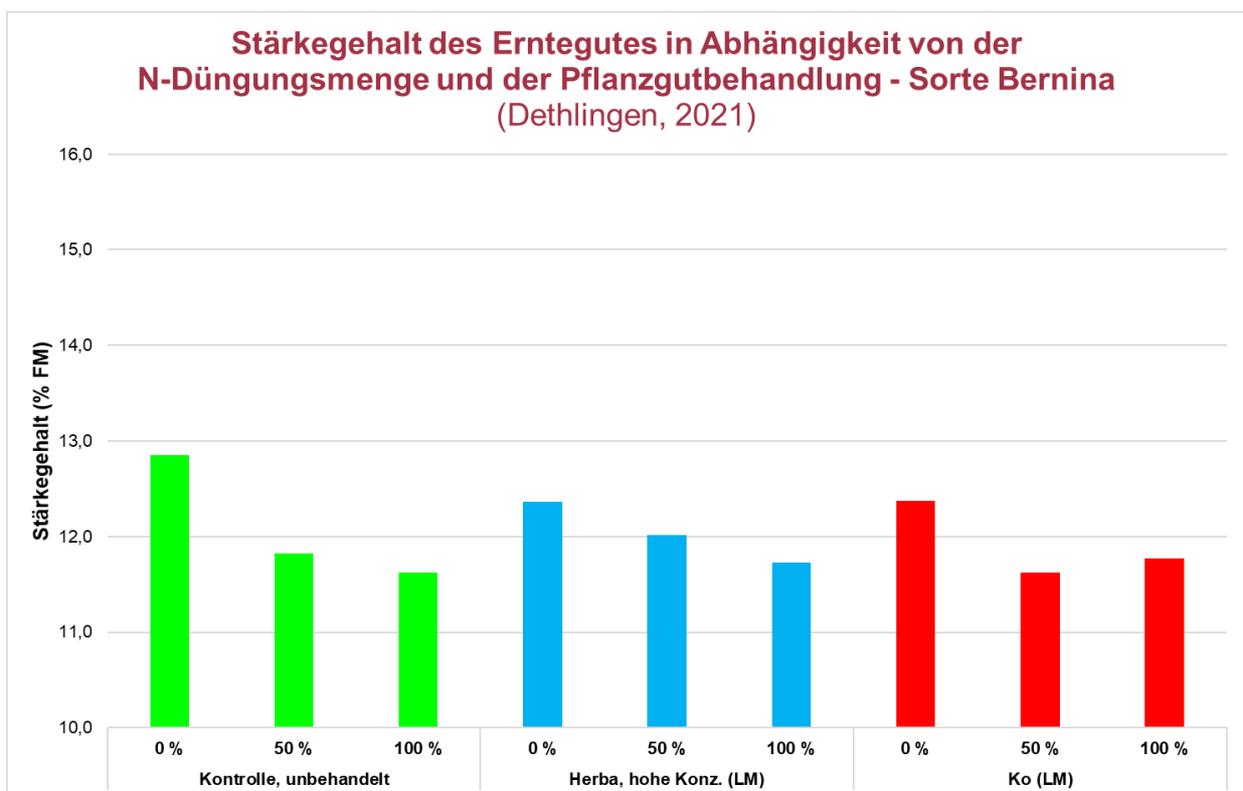


Abbildung 36: Stärkegehalt des Erntegutes in Abhängigkeit von der N-Düngung und Pflanzgutbehandlung – Sorte Bernina

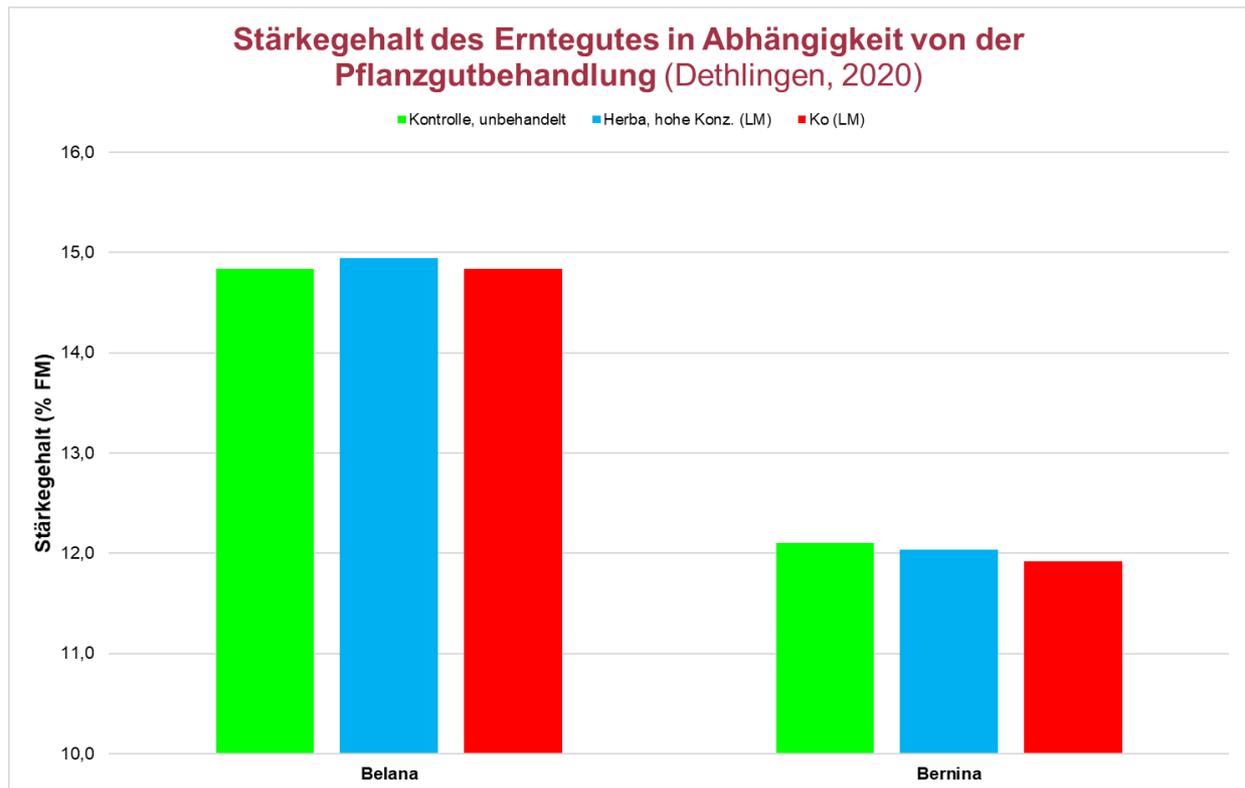


Abbildung 37: Stärkegehalt des Erntegutes in Abhängigkeit von der Pflanzgutbehandlung

Die Ergebnisse der Untersuchung der nach der Ernte im Boden verbliebenen Stickstoffmenge sind nach Sorten differenziert dargestellt. Sowohl in der als ineffizient eingestuft Sorten Belana, als auch in der Sorte Bernina sind lediglich Einflüsse der mineralisch verabreichten Stickstoffgaben auf den Nachernte N-min Wert nachweisbar (Abb. 39 und Abb. 41). Eine Wirkung der eingesetzten Bakterienpräparate lässt sich auch im Versuchsjahr 2021 nicht ablesen.

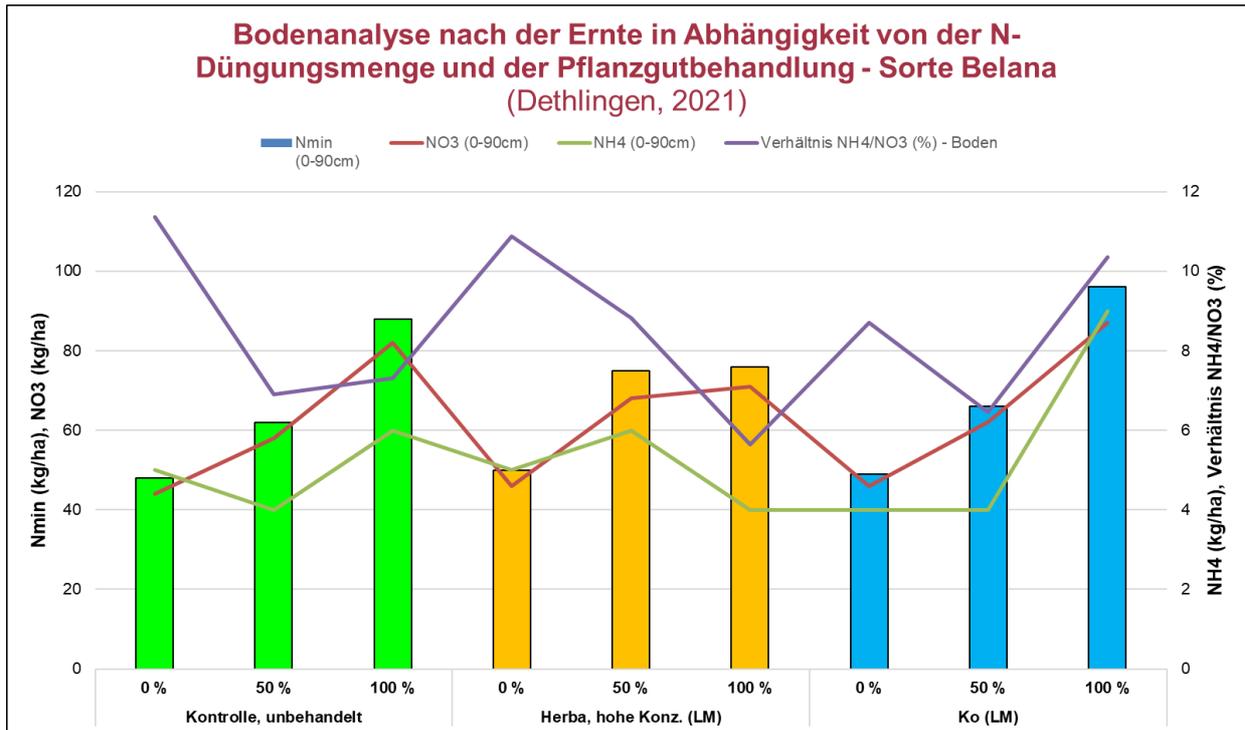


Abbildung 38: Bodenanalyse nach der Ernte in Abhängigkeit von der Düngung und Pflanzgutbehandlung - Sorte Belana

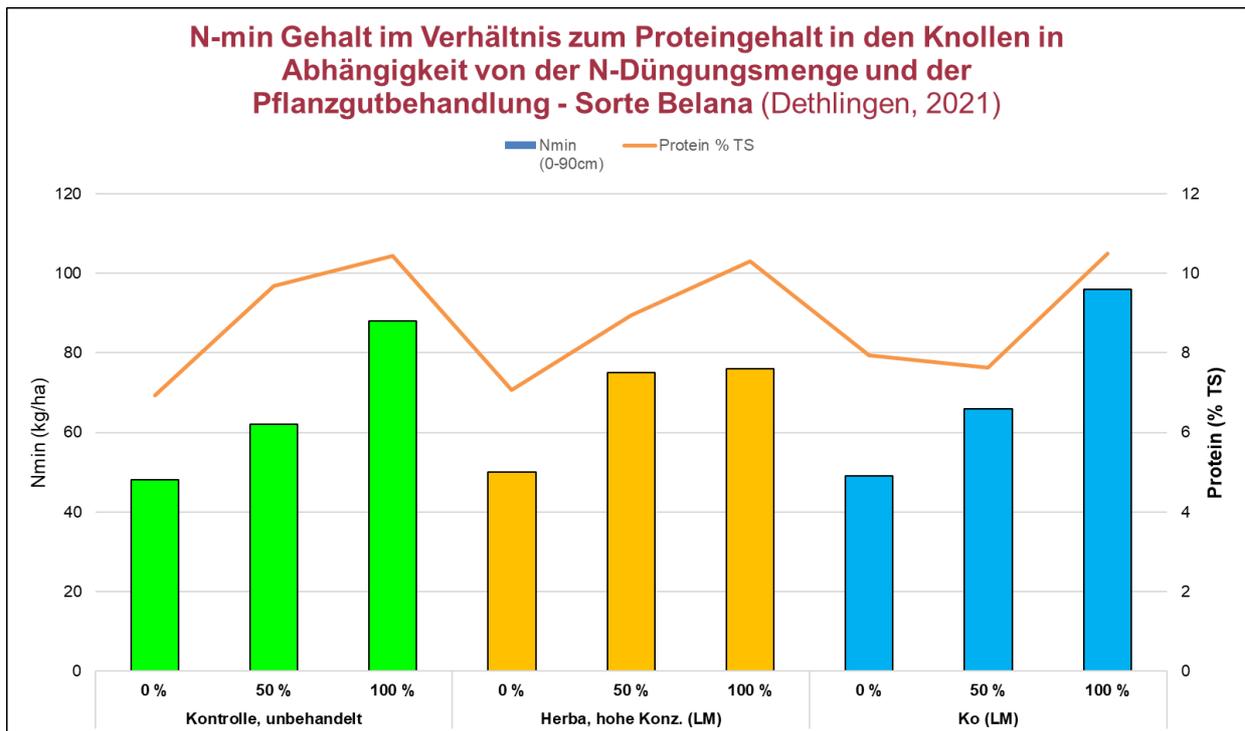


Abbildung 39: N-min Wert und Proteingehalt in Abhängigkeit von der Düngung und Pflanzgutbehandlung - Sorte Belana

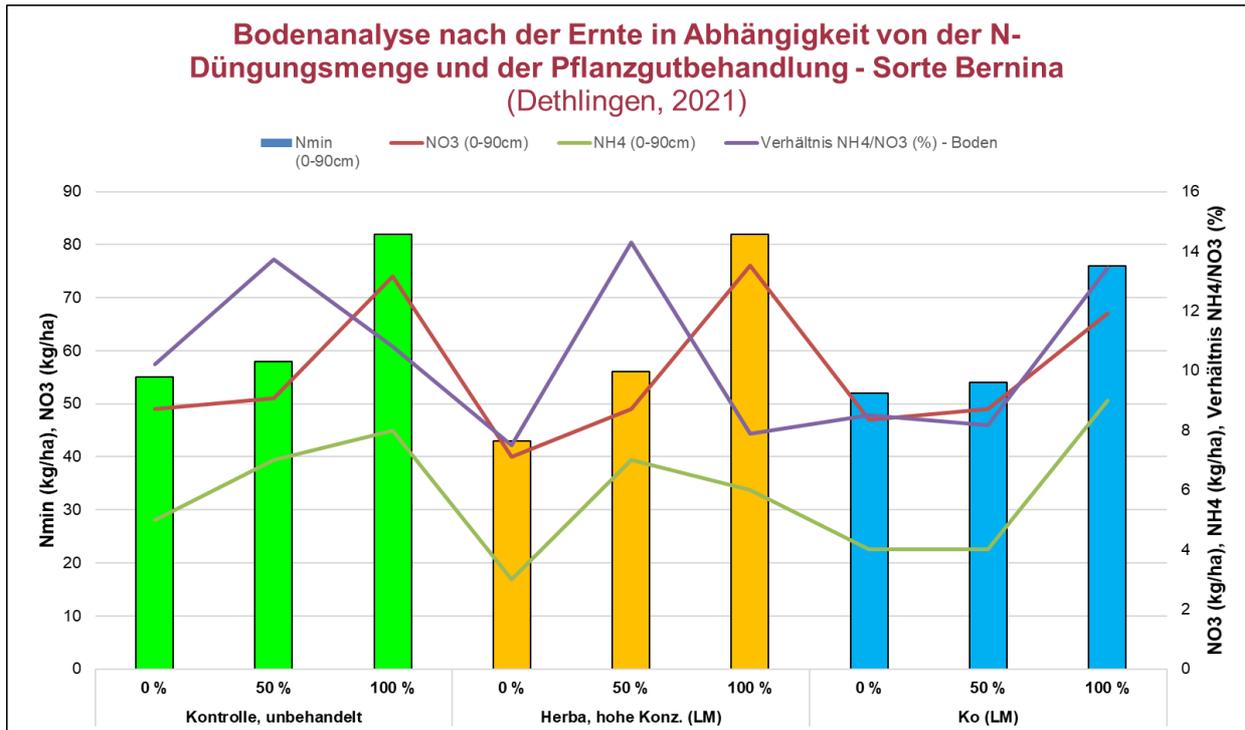


Abbildung 40: Bodenanalyse nach der Ernte in Abhängigkeit von der Düngung und Pflanzgutbehandlung - Sorte Bernina

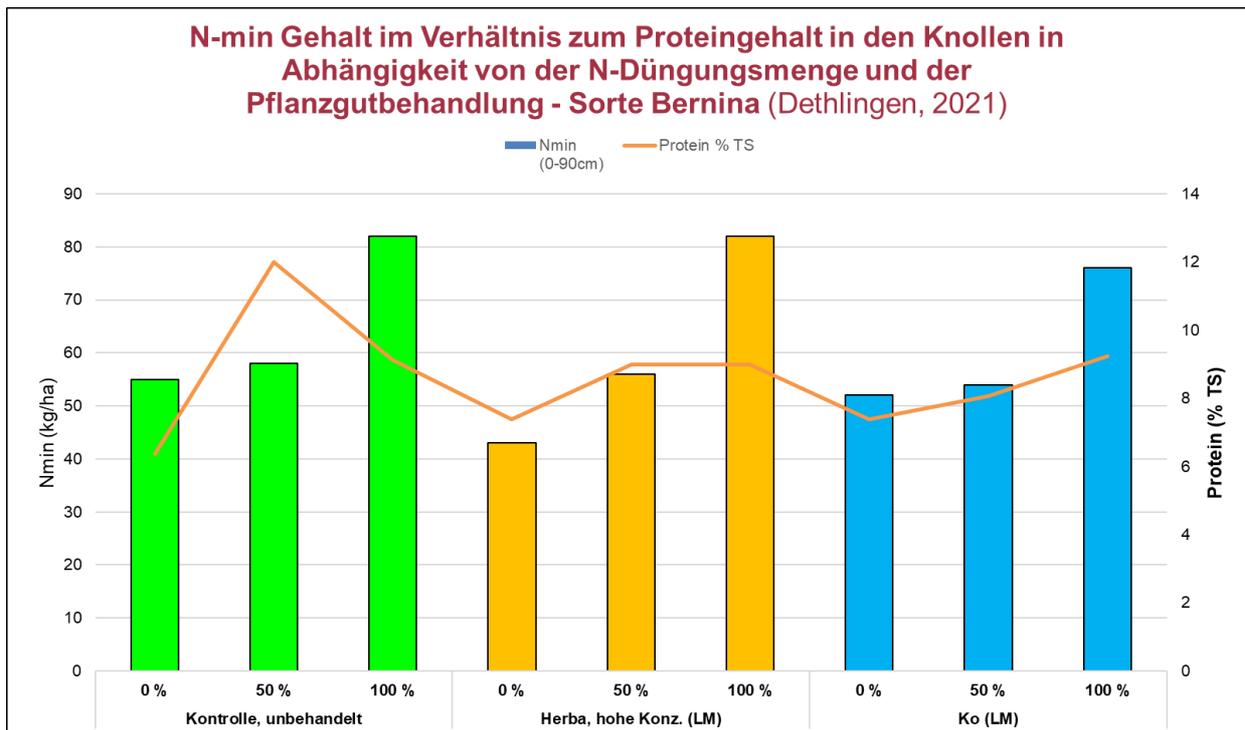


Abbildung 41: N-min Wert und Proteingehalt in Abhängigkeit von der Düngung und Pflanzgutbehandlung - Sorte Bernina

Diskussion

Im Projekt konnte nachgewiesen werden, dass sich endophytische Bakterien der Stämme Kosakonia und Herbaspirillum in ausreichendem Maß vermehren und für eine Applikation im Feld entsprechend formulieren lassen. Mit der direkten Anbeizung des Präparates an die Knolle während der Pflanzung konnte ein praxistaugliches Applikationsverfahren ermittelt werden. Durch stetige Optimierung der Formulierung und der anzuwendenden Bakterienkonzentrationen konnte ein anwenderfreundliches Verfahren der Herstellung der Beizbrühe entwickelt werden.

Die Auswertungen des Feldversuches zeigen keine Auswirkungen der Behandlungen mit den Bakterienpräparaten auf die in der Vegetationsperiode im Bestand erhobenen Parameter Feldaufgang, Bestandesentwicklung und Pflanzhöhe. Im Rohwareertrag sind sortenbedingte Unterschiede und die Auswirkungen der reduzierten Düngung im Vergleich zur Sollwert-Düngung zu erkennen. Die einzelnen Bakterienstämme können keine Ertragssteigerung gegenüber der Kontrolle erzielen. Auch die im letzten Versuchsjahr durchgeführte Ausweitung der Versuchsanlage von vier auf sechs Wiederholungen im Feld führte nicht zu der erhofften Differenzierung zwischen den einzelnen Behandlungsvarianten. Die Entnahme und Analyse von Bodenproben auf nach der Ernte im Boden verbleibende Reststickstoffmengen (Nachernte N-min) zeigte nur im ersten Versuchsjahr in der Sorte Belana eine Verringerung der verbleibenden Stickstoffmenge in den behandelten Varianten. In allen drei Jahren ist der Einfluss der Abstufung der mineralisch ausgebrachten Sollwertdüngung sichtbar. Ein Einfluss der Behandlung kann insgesamt nicht abgeleitet werden.

Positiv hervorzuheben ist jedoch, dass mit der Beizung mittels auf der Legemaschine verbauter Flüssigbeizanlage die direkte Applikation der Präparate an die Pflanzknolle möglich ist und ein, auch in der landwirtschaftlichen Praxis einsetzbares, geeignetes Verfahren zur Ausbringung gefunden wurde.

Die Verbreitung der Ergebnisse des Forschungsvorhabens erfolgte bislang innerhalb der Landwirtschaftskammer Niedersachsen, sowie der Arbeitsgruppe „Kartoffel“ des Verbandes der Landwirtschaftskammern. Aufgrund der nach aktueller Datenlage nicht nachweisbaren Wirkung der Präparate, muss eine weitere Verbreitung der Ergebnisse derzeit weiter geprüft werden.

Inwiefern eine kommerzielle Nutzung der getesteten Bakterienstämme zukünftig erfolgversprechend ist, kann derzeit nicht abschließend beurteilt werden. Bemerkenswert ist jedoch, dass zur Anbausaison 2022 mehrere Hersteller mit auf unterschiedlichen Bakterienstämmen basierenden Produkten zur Fixierung von Luftstickstoff in der Kartoffel auf

den Markt treten. Eine Erprobung der Wirksamkeit dieser Produkte durch die
Offizialberatungsstellen der Länder steht dabei jedoch noch aus.

Literatur

Berger, B., M. Wiesner, A. Brock, M. Schreiner und S. Ruppel (2015): *K. radicincitans*, beneficial bacteria that promotes radish growth under field conditions. *Agronomy for Sustainable Development*, 35, S. 1521-1528.

Berger, B., S. Baldermann und S. Ruppel (2017): The plant growth-promoting bacterium *Kosakonia radicincitans* improves fruit yield and quality of *Solanum lycopersicum*. *Journal of the Science of Food and Agriculture* , 97 (14). S. 4865 – 4871.

Flessa H, J. M. Greef, K. Dittert, R. Ruser, B. Osterburg, E. Poddey, S. Wulf und A. Pacholski (2014): Minderung von Stickstoff-Emissionen aus der Landwirtschaft: Empfehlungen für die Praxis und aktuelle Fragen an die Wissenschaft. Senat der Bundesforschungsinstitute des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft, Forschung Themenheft 1/2014, Berlin.

Mitter, B., G. Brader, M. Afzal, S. Compant, M. Naveed, F. Trognitz und A. Sessitsch (2013): Advances in Elucidating Beneficial Interactions between Plants, Soil and Bacteria. *Adv. Agronomy*, 121, S. 381-445.

St. Luce, M., J. K. Whalen, N. Ziadi und B. J. Zebarth (2011): Nitrogen dynamics and indices to predict soil nitrogen supply in humid temperate soils. *Advances in Agronomy*, 112, S. 55-102.

Wüstholtz, R. F. (2014): Ökologische Erfordernisse und ökonomische Auswirkungen ordnungsrechtlicher Veränderungen bezüglich des Nährstoffeinsatzes in der Landwirtschaft im Kontext der europäischen Nitrat- und Wasserrahmenrichtlinie. Dissertation Universität Hohenheim.