

# Die Bedeutung von Nanoschwefel für die Ertragssteigerung und Qualitätsverbesserung von Winterweizen

*Автор(и):* доц. д-р Златина Ур, ИРГР – Садово, ССА

*Дата:* 01.04.2025 *Брой:* 4/2025



## Zusammenfassung

Mit dem wachsenden Bedarf an nachhaltigen landwirtschaftlichen Praktiken sind Nano-Düngemittel als innovative Alternative zu konventionellen Düngemitteln aufgetaucht. Diese fortschrittlichen Düngemittel verbessern die Nährstoffnutzungseffizienz, fördern das Pflanzenwachstum und minimieren Umweltschäden durch eine präzise Nährstoffzufuhr. Dieser Review bewertet verschiedene Techniken zur Anwendung von Nano-Düngemitteln und deren Auswirkungen auf Pflanzenwachstum, Ertrag und Qualität. Darüber hinaus werden ihre

Wechselwirkungen mit der Bodenbeschaffenheit und mikrobiellen Gemeinschaften untersucht, wobei ihre Rolle bei der Enzymaktivität und dem Nährstoffkreislauf hervorgehoben wird. Obwohl Nano-Düngemittel erhebliche Vorteile bieten, erfordern Herausforderungen wie die richtige Dosierungsregulierung, potenzielle Toxizität und langfristige Umweltauswirkungen weitere Forschung. Diese kurze Arbeit stellt auch die neuesten Fortschritte in der Nano-Düngemitteltechnologie vor und betont die Bedeutung eines integrierten Ansatzes zur Optimierung der landwirtschaftlichen Produktivität bei gleichzeitiger Erhaltung der Bodengesundheit und ökologischen Nachhaltigkeit.



Bulgarien verfügt über einzigartige natürliche Bedingungen für die Getreideproduktion, allen voran die unübertroffene Backqualität von Winterweizensorten. Diese Möglichkeiten werden jedoch nicht vollständig ausgeschöpft. Eine der wichtigsten und notwendigen Voraussetzungen für hohe Weizenerträge ist die Verwendung von hochwertigem Saatgut mit wirksamen Verbindungen, von denen die Keimung abhängt (Erdem et al., 2016). Die Intensivierung der Produktion umfasst den Einsatz verschiedener Düngemittel zur Optimierung der Pflanzenernährung und von Pflanzenschutzmitteln zur Bekämpfung von Schädlingen, Krankheiten und Unkräutern in der modernen Landwirtschaft. Die Verbesserung bestehender Formen des Agrarsystems basiert auf der breiten Anwendung von Pflanzenschutzmitteln und -wirkstoffen, der Wiederherstellung der Bodenfruchtbarkeit sowie der Einführung differenzierter Bodenbearbeitungssysteme unter Berücksichtigung der biologischen Anforderungen der Kulturpflanze.

Die meisten in der modernen landwirtschaftlichen Produktion verwendeten Chemikalien sind synthetisch und werden weder durch pflanzliche Enzymsysteme noch durch physikalische oder chemische Ansätze abgebaut. Dies führt zu einer Anreicherung in den geernteten Produkten und folglich in den Körpern von Menschen und Tieren.

Die Wirksamkeit von Schwefelpräparaten und deren Kombinationen im Weizenanbau wurde durch Informationen aus der Literatur bestätigt, und daher werden sie für den Einsatz in der Landwirtschaft empfohlen.

Pilzpathogene, die Braunrost bei Weizen verursachen, können zu Ertragsverlusten von bis zu 50–60 % führen. Eine der effektivsten Methoden zur Verhinderung dieser Verluste ist die Züchtung resistenter Sorten mit hohem Ertragspotenzial. Daher wird die Hauptkontrollstrategie – genetische Resistenz – zur Bekämpfung von Rostkrankheiten bei Weizen, insbesondere Blattrost, eingesetzt. Bis heute bleibt die genetische Resistenz der Wirtspflanze die wirksamste (El-Orabey et al., 2019).

Es ist bekannt, dass Schwefel dazu beiträgt, oxidative Prozesse in Pflanzen zu verlangsamen, während Reduktionsprozesse zunehmen, wodurch Getreide seine Lebensfähigkeit erhöht und die Kornqualität verbessert.

Es gibt weniger Forschung über die Wirkung von Schwefel auf die Aufnahme von Phosphor und Kalium durch Pflanzen als über Stickstoff, und die Ergebnisse sind oft widersprüchlich (Shekel, 1979, Tisdale, 1974). Eine positive Wirkung von Schwefel auf die Aufnahme von Phosphor und Kalium durch Pflanzen zusammen mit Stickstoff wurde in kalkhaltigen Sod-Podzol-Böden beobachtet (Tserling, 1990, Shevyakova, 1983, Shkel, 1979). Forscher erklären die Verbesserung der Pflanzenernährung mit Phosphor und Kalium unter dem Einfluss von Schwefel-Nanopartikeln in diesen Fällen durch die erhöhte Mobilität der Bodenelemente unter der Wirkung von Schwefelsäure (Svetlov et al., 1987, Archer, 1974). Somit zeigt unsere Forschung, dass der Einfluss schwefelhaltiger Präparate relevant und vielversprechend ist, in der Praxis jedoch in unzureichendem Umfang durchgeführt wurde.

Studien zur Wirkung von Schwefel und Kalzium zeigen die Wirksamkeit der Schwefelanwendung zur Steigerung der Produktivität (Ivanitsky, Ya.V., 2011, Maslova et al., 2008, Maslova, 2008), da Schwefelmangel im Korn den Ertrag und die Qualität der Weizenkörner erheblich beeinflusst (Zhao et al., 1999). **Stickstoff kann ohne Schwefel nicht effizient genutzt werden, und der Proteingehalt kann sein volles Ertragspotenzial nicht erreichen.** Darüber hinaus ist Schwefel ein Bestandteil mehrerer Schlüsselverbindungen in Kulturpflanzen, daher ist Schwefelmangel ein limitierender Faktor nicht nur für Wachstum und Samenertrag, sondern auch für eine schlechte Produktqualität (Singh, 2003). Die Einschränkung der Schwefelverfügbarkeit trägt zur Synthese

von niedrigem Proteingehalt bei (Flaete et al., 2005), verringert die Größe und Qualität von Weizenkörnern aufgrund der Unterbrechung der Disulfidbindungsbildung, die durch die Sulfhydrylgruppen von Cystein gebildet wird (Gyori, 2005, McGrath, 2003). Weizenkorn, das Schwefel enthält, gemessen als Schwefelkonzentration zusätzlich zur Stickstoffkonzentration, ist der Schlüssel zur Saatgutqualität (Karimi und Mohsenzadch, 2015, Geiger, 2009, Whitesides, 2005), und sein Mangel führt zu einem Produktivitätsrückgang. Die Ergebnisse zeigen Ähnlichkeiten zwischen CuO oder ZnO in Weizenpflanzen mit höherer Wurzeltoxizität, die mit der kleineren Größe von Schwefel-Nanopartikeln verbunden ist (Hasan et al., 2018, Dimkra et al., 2013, Tea et al., 2007).

Heutzutage ist der vielversprechendste Bereich die Verwendung von Nanopartikeln zur Saatgutbehandlung vor der Aussaat, was durch das Wachstum der Verkaufsmengen belegt wird. Ein charakteristisches Merkmal der Wirkung der Wirkstoffe ist, dass sie physiologische und biochemische Prozesse in Pflanzen intensivieren und gleichzeitig den Ertrag und die Stressresistenz erhöhen. Zu solchen Regulatoren gehören natürliche und synthetische Substanzen, die in kleinen Dosen aktiv den Pflanzenstoffwechsel beeinflussen (Burkitbayev et al., 2021). Die intensive Anbautechnologie gewährleistet die vollständige Ausschöpfung des Potenzials der Pflanzen zur Bildung hoher Erträge von guter Qualität. Die Resistenz der untersuchten Sorten wird durch Daten zum Ionenhaushalt von  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  und  $\text{Ca}^{2+}$  in den Primärwurzeln von Weizen bestätigt (Terletskaia et al., 2019). In der globalen landwirtschaftlichen Praxis werden neue ertragreiche Sorten, wissenschaftlich fundierte Fruchtfolgen und der rationelle Einsatz von mineralischen Formulierungen und Pflanzenschutzmitteln als Schlüsselfaktoren für die Ertragssteigerung anerkannt. Diese Techniken erfordern hohe Energie- und Materialaufwendungen und sind nicht immer umweltverträglich. Ein akutes Problem des modernen Pflanzenbaus ist derzeit die Produktion umweltfreundlicher landwirtschaftlicher Erzeugnisse und die Verringerung des anthropogenen Drucks auf das Biogeozyklos (Monostori et al., 2017).

Der Indikator für den Schwefelstatus in Pflanzen korreliert signifikant mit dem bioverfügbaren Schwefel im Boden. Der Indikator für Schwefel in der Sprossbiomasse ist wie folgt: Er beeinflusst die Schwefelkonzentration, das Massenverhältnis von Stickstoff zu Schwefel (N/S), das Massenverhältnis von Phosphor zu Schwefel und den Schwefelernährungsindex. Bioverfügbarer Schwefel im Boden korreliert signifikant mit dem Stickstoff-Schwefel-Verhältnis in den Sprossen von Winterweizen und Winterraps.

Kulturpflanzen benötigen Nährstoffe für hohe Erträge; sie können jedoch nur ionische Formen der Elemente aufnehmen. In dieser Phase sind Mikroorganismen vorteilhaft, da sie organisch gebundenen Stickstoff, Phosphor und Schwefel in lösliche Ionen wie  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^+$ ,  $\text{HPO}_4^-$  und  $\text{SO}_4^-$  umwandeln. Mineralisierung ist die Umwandlung organischer Verbindungen in anorganische Verbindungen, ein biologischer

Prozess, der von Temperatur, Niederschlag, Bodeneigenschaften, der chemischen Zusammensetzung von Pflanzenrückständen, der Struktur und Zusammensetzung mikrobieller Gemeinschaften und dem C:N-Verhältnis im Boden nach der Anwendung von Pflanzenmaterial abhängt. Die Anpassung der Werte dieser Faktoren ermöglicht es, die Geschwindigkeit und Richtung der Mineralisierung von Pflanzenrückständen im Boden zu bestimmen.

Empfehlungen für Bodentests auf Schwefelgehalt beim Anbau von Kulturpflanzen in ariden Gebieten sind nicht gut entwickelt. Um die Bedeutung von Schwefel- und Stickstoffgehalt in Boden und Gewebe für die Vorhersage von Schwefelmangel an Standorten zu bewerten, wird offenbar die Morphologie beobachtet, da die beiden Mineralien oft assoziiert sind. Daher besteht eine erhöhte Wahrscheinlichkeit für eine Reaktion auf Schwefelanwendung. Es wird empfohlen, die Verwendung des N:S-Verhältnisses beizubehalten, das sowohl für Gerste als auch für Weizen auf S-Mangel hinweisen kann (Conyers & Holland, 2020).

Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) spielt eine vorteilhafte Rolle beim Schutz von Pflanzen vor Umweltstress. SO<sub>2</sub> erhöht die Trockentoleranz junger Pflanzen durch H<sub>2</sub>S-Signalgebung und bietet eine neue Strategie zur Verbesserung der Pflanzenresistenz gegen Trockenstress (Li et al., 2021).

Der Schlüssel zur Sicherung hoher Bodenfruchtbarkeit und zur Steigerung der Ernteerträge ist eine ausgewogene Mineralernährung für alle Elemente unter Berücksichtigung ihres Gehalts, ihrer Verteilung und Umwandlung im Boden (Kulhanek et al., 2014). Schwefel steht neben Elementen wie Stickstoff, Phosphor und Kalium – das zweitwichtigste proteinogene Element nach Stickstoff. Schwefelmangel sowie Stickstoffmangel reduzieren die Proteinsynthese, während die äußere Manifestation von Schwefelmangel in Pflanzen fast mit den Anzeichen von Stickstoffmangel übereinstimmt. Seine absolute Notwendigkeit für die Prozesse der Atmung, Photosynthese, des Stickstoff- und Kohlenhydratstoffwechsels wurde nachgewiesen (Järvan, Edesi & Adamson, 2011).

Früher wurde der Schwefelbedarf der Pflanzen ohne zusätzlichen Aufwand gedeckt, aber jetzt und in Zukunft nehmen die Ressourcen für seinen Eintrag in den Boden ab und die Nachfrage danach in der Landwirtschaft steigt aufgrund der höheren Nachfrage nach hochwertigen landwirtschaftlichen Erzeugnissen. **Die Hauptgründe für die Zunahme des Schwefelmangels sind der geringere Schwefeldioxidgehalt in der Atmosphäre, der verstärkte Einsatz hochkonzentrierter und ballastfreier Verbindungen ohne Schwefel, höhere Ernteerträge und erhöhte Schwefelentzüge** (Matraszek et al., 2015).

Es wurde festgestellt, dass die Anwendung von Nano-Schwefel auf Böden mit niedrigem Schwefelgehalt die Nährstoffnutzungskoeffizienten aus Düngemitteln erhöht, deren Translokation von vegetativen Organen zum

Korn beschleunigt. Das Schwefelagrochemikal beeinflusst den Stickstoffstoffwechsel in Weizenpflanzen, spielt eine wesentliche Rolle von den frühesten Entwicklungsstadien an im Stoffwechsel der Pflanzenzelle, der eng mit dem Stickstoffkreislauf verbunden ist, da beide Elemente obligatorische Bestandteile von Proteinen sind. Bei einem Mangel an einem der beiden Elemente verlangsamt sich die Proteinsynthese und kann bei Fehlen beider (Stickstoff und Schwefel) verfügbarer Quellen für Pflanzen vollständig zum Stillstand kommen (Maslova, 1993).

In einem im Zeitraum 2023/2024 auf dem Bio-Feld des „IPGR K. Malkov“ in der Stadt Sadovo durchgeführten Versuch wurden vier Sorten und fünf fortgeschrittene Linien von Winterweizen, die am Institut gezüchtet wurden, einbezogen: Sadovo 1, Pobeda, Avenue, Magiji, MH 258/3355, RU 251/268, BA 1325, BA 1378 und BA 1390. Die Wirkung des bulgarischen Flüssigdüngers Sulfeko auf die Produktivität der untersuchten Akzessionen wurde bewertet. Das Produkt wurde in verschiedenen Dosen und Wachstumsstadien der Kultur angewendet.

| СХЕМА НА ОПИТА |                       |             |                   |
|----------------|-----------------------|-------------|-------------------|
| Вариант,<br>№  | Фаза на внасяне, доза |             | Брой<br>пръскания |
|                | Вретенене             | Изкласяване |                   |
| 1.             | 200 ml                | -           | 1                 |
| 2.             | 100 ml                | 100 ml      | 2                 |
| 3.             | 260 ml                | -           | 1                 |
| 4.             | 130 ml                | 130 ml      | 2                 |
| 5. Контрола    | -                     | -           | -                 |

Tabelle 1 Versuchsanlage

Die Ergebnisse sind im Bericht zum Projekt ZFTK 37 der Landwirtschaftlichen Akademie veröffentlicht. Die größte Pflanzenhöhe wurde in Variante Nr. 3 verzeichnet, die die maximale Dosis