

# RessortForschtKlima

Ergebnisse aus drei Jahren Forschung  
für mehr Klimaschutz in  
Landwirtschaft, Wald und Ernährung

Abschlussbericht – Dezember 2025



Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Landwirtschaft, Ernährung  
und Heimat

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## Beteiligte Ressortforschungsinstitute und Herausgeber:



### **Friedrich-Loeffler-Institut (FLI)**

Südufer 10  
17493 Greifswald-Insel Riems  
T: +49 38351 7-0



### **Julius Kühn-Institut (JKI)**

Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen  
Erwin-Baur-Str. 27  
06484 Quedlinburg  
T: +49 3946 47-0



### **Max Rubner-Institut (MRI)**

Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel  
Haid-und-Neu-Str. 9  
76131 Karlsruhe  
T: +49 721 6625 0



### **Thünen-Institut**

Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei  
Bundesallee 50  
38116 Braunschweig  
T: +49 531 596 1003

## **Zitiervorschlag:**

RessortForschtKlima (2025)

Ergebnisse aus drei Jahren Forschung für mehr Klimaschutz in Landwirtschaft, Wald und Ernährung:

Abschlussbericht der RessortForschtKlima-Projekte. <https://doi.org/10.3220/253-2025-220>

## **Bildrechte Titelseite:**

Doreen König, Julius Kühn-Institut

Dirk von Soosten, Friedrich-Loeffler-Institut

Max Rubner-Institut

Tania Runge, Thünen-Institut



© Die Autoren / Die Autorinnen.

Dieses Werk wird unter den Bedingungen der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (CC BY 4.0) zur Verfügung gestellt

(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>).

### Humusaufbau mit mehr Wurzeln

Axel Don und Laura Reinelt (Thünen-Institut); Sigrun Wagner und Lorenz Kottmann (Julius Kühn-Institut)

#### ZIELSETZUNG

Wurzelbiomasse trägt im Vergleich zu oberirdischer Biomasse besonders effektiv zum Humusaufbau und somit zur Kohlenstoffspeicherung in Böden bei. Daher könnte die Wahl von Ackerkulturarten und -sorten mit hoher Wurzelbiomasse eine effektive Klimaschutzoption sein, sowohl bei Hauptkulturen als auch bei Zwischenfrüchten. Außerdem kann sowohl reduzierte Düngung als auch der zukünftig erhöhte atmosphärische Kohlenstoffgehalt das Pflanzenwachstum beeinflussen und neben Auswirkungen auf den Ertrag auch Auswirkungen auf das Wurzelwachstum und die Wurzelbiomasse haben. Stickstoff (N)-düngung ist essenziell für landwirtschaftliche Produktivität, Überschüsse und Verluste bringen aber erhebliche Probleme für die Umwelt mit sich. Die EU „Farm to Fork Strategy“ enthält daher das Ziel, bis 2030 die Stickstoffdüngung um 20 % zu reduzieren.

Bislang gab es jedoch nur wenige Daten dazu, wieviel Wurzelbiomasse die heutzutage angebauten Ackerkulturen ausbilden, wie sich aktuelle Sorten dabei unterscheiden und welche Auswirkungen eine reduzierte N-Düngung und erhöhter CO<sub>2</sub>-Gehalt auf das Wurzelwachstum haben. Ziel des WurCel-Projekts war es deshalb, dies zu untersuchen und die Klimaschutzoption Humusaufbau in Ackerböden durch mehr Wurzeln umfassend zu quantifizieren und zu bewerten.

#### METHODIK

Das WurCel-Projekt umfasst vier Themengebiete: 1) Zwischenfrüchte, 2) Auswirkung von reduzierter N-Düngung, sowie 3) erhöhtem CO<sub>2</sub> auf die Wurzeleistung und 4) Sortenwahl. Sowohl der Methoden- als auch der Ergebnissteil ist in diese Themen gegliedert. Zusätzlich haben wir eine Methode weiterentwickelt, um die Durchwurzelung schneller und effizienter zu quantifizieren.

#### Zwischenfrüchte

Der Anbau von Zwischenfrüchten ist eine vieldiskutierte Maßnahme für den Humusaufbau in der Landwirtschaft, doch für eine genaue Abschätzung der Humusaufbaupotenziale fehlt es an Daten, insbesondere zum Kohlenstoffeintrag durch unterirdische Biomasse über Wurzeln. Anfang November 2021 und 2022 wurden 12 verschiedene Zwischenfruchtarten auf Versuchsflächen des Saatgutherstellers KWS mit Einzelkulturen, Mischungen und unterschiedlichen Aussaatzeitpunkten beprobt, ausgewaschen und ausgewertet.

#### Auswirkung von reduzierter N-Düngung

Wir haben 2023 Bodenkerne aus 20 Düngungsversuchen von unterschiedlichen Hauptkulturen in ganz Deutschland entnommen, jeweils aus einer Variante mit Düngung nach Düngeverordnung und in einer Variante mit einer um 20 % reduzierten Stickstoffdüngung (Abb. 1).

#### HIGHLIGHTS

- Die Wurzelbiomasse von Kulturpflanzen wird stark durch die Wahl der Kultur und Sorte sowie die Bewirtschaftung beeinflusst. Bodeneigenschaften und klimatische Faktoren spielen jedoch auch eine große Rolle.
- Reduzierte N-Düngung reduziert im Getreide die Wurzelbiomasse trotz nur geringer Ertragsrückgänge.
- Zwischenfrüchte lassen sich durch gezielte Sortenwahl und frühe Aussaat hinsichtlich Wurzelbiomasse optimieren.
- Unter guten Bedingungen kann erhöhte atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration zu erhöhter Wurzelbiomasse führen.
- Gezieltes Wurzelmanagement kann Humusaufbau und C-Bindung generieren, ohne tiefgreifende Veränderungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung voraus zu setzen.

#### Auswirkung von Sortenwahl und erhöhtem CO<sub>2</sub>

Der Unterschied verschiedener Weizensorten, sowie den Einfluss von erhöhtem atmosphärischen Kohlenstoffgehalt auf das Wurzelwachstum haben wir mit Hilfe einer FACE (Free Air Carbon Dioxide Enrichment) Anlage untersucht. In zwei Jahren (2023 und 2024) haben wir auf den Versuchsfeldern des Julius Kühn-Instituts in Braunschweig insgesamt 448 Bodenkerne (1 m tief) von sieben verschiedenen Weizensorten unter aktuellen (420 ppm) und zukünftigen erhöhten atmosphärischen CO<sub>2</sub> Bedingungen (600 ppm) gezogen, um die Auswirkung auf die Wurzelbildung zu untersuchen.



Abbildung 1: Feldversuche, in denen im Sommer 2023 Wurzelbeprobungen im Rahmen des WurCel-Projekts durchgeführt wurden.

## KLIMAWIRKUNG

Der Klimaschutzeffekt liegt primär auf der Erhöhung der Kohlenstoffspeicherung in Ackerböden durch Arten und Sortenwahl bzw. Züchtung Richtung mehr Wurzeln. Zusätzlich kann eine bessere Durchwurzelung des Bodens auch eine Klimaanpassung an Trockenheit darstellen. Das managebare Potenzial Wurzelbiomassen im Ackerbau zu erhöhen (oder auch zu reduzieren) liegt kurzfristig bei ca. 10 %. Größere Potenziale könnten nur langfristig realisiert werden.

Eine 10 %ige Erhöhung der durchschnittlichen Wurzelbiomasse in deutschen Ackerböden und der damit einhergehende zusätzliche C-Eintrag in Böden führt zu einem Bodenkohlenstoffaufbau, der einer C-Bindung von 1,3 bis 3,5 Mio. t CO<sub>2</sub> pro Jahr entspricht. Dieses Potenzial bezieht sich auf einen Zeithorizont von 30 Jahren bis ein neues Fließgleichgewicht erreicht ist.

## Methodenentwicklung für Wurzeluntersuchung

Wurzelsysteme sind komplex und sehr variabel, da sie von Umweltfaktoren beeinflusst werden. Erschwerend kommt hinzu, dass Untersuchungen von Wurzeln sehr mühsam, arbeits- und zeitintensiv sind. Meist sind manuelle Verfahren erforderlich, um die Wurzeln vom Boden zu trennen. Eine Erleichterung stellt die Bruchkernmethode dar, bei der die gezogenen Bodenkerne alle 10 cm gebrochen und die Wurzeln auf beiden Bruchflächen gezählt werden. Auf diese Weise muss nur ein Teil der Bruchkerne gewaschen und gescannt werden, da sich dieses Ergebnis mit der Wurzellängendichte korrelieren lässt. Herausforderungen hierbei sind neben der Zeitintensität auch die Variabilität zwischen den Bearbeitern, da die Zählung manuell erfolgt. Hierbei kann die im WurCel-Projekt weiter entwickelte BlueBox mit UV-Licht helfen (Abb. 2). Wir haben den Bau der BlueBox vereinfacht und die Bildbearbeitung verbessert. Starke Korrelationen von den Ergebnissen der BlueBox mit den manuell gezählten Wurzeln, sowie mit der Wurzellängendichte zeigen, dass diese Methode sehr vielversprechend ist und hierdurch Wurzelforschung vereinfacht werden kann.

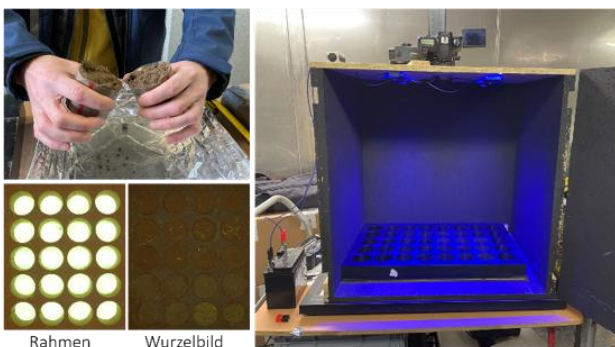


Abbildung 2: Bilderfassung der Wurzeln mit Bruchkernmethode und BlueBox

## ERGEBNISSE

### Zwischenfrüchte

Die Wurzelbiomasse in den Einzelkulturen aus dem Jahr 2021 unterschied sich deutlich zwischen den Arten. Dabei waren Ölrettich, Phacelia und Rauhafer besonders wurzelstark und zeigten damit das höchste Humusaufbaupotenzial (Abb. 3).

Die Mischungen unterschieden sich nicht in ihrer ober- oder unterirdischen Biomasse von den Einzelkulturen. Die Wurzelbiomasse sank bei Aussaat Mitte September um durchschnittlich 66 % im Vergleich zur Aussaat Anfang August, während die oberirdische Biomasse nur um durchschnittlich 40 % sank. Damit sank das Wurzel-zu-Spross-Verhältnis um durchschnittlich 44 %. Dies legt nahe, dass das Humusaufbaupotenzial von Zwischenfrüchten stärker als erwartet durch eine möglichst frühe Aussaat oder Untersaat, z. B. mit Drohnen in die bestehende Hauptkultur, gesteigert werden könnte. Diese Ergebnisse sind auch relevant für die Bodenkohlenstoffmodellierung, für die bislang konstante Wurzel-zu-Spross-Verhältnisse unabhängig vom Aussaatzeitpunkt angenommen wurden. Im trockeneren Jahr 2022 war die Wurzelbiomasse der Zwischenfrüchte deutlich geringer als 2021. Dies verdeutlicht die starke Abhängigkeit der Humuswirkung von Zwischenfrüchten von klimatischen Faktoren.

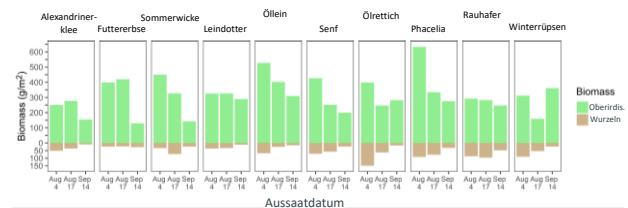


Abbildung 3: Mittelwerte der ober- und unterirdischen Biomasse verschiedener Zwischenfruchtarten in Einzelkulturen mit unterschiedlichen Aussaatzeitpunkten im Jahr 2021.

### Auswirkung von reduzierter N-Düngung

In allen Kulturen gab es nur kleine und nicht statistisch signifikante Auswirkungen der reduzierten Düngungen auf den Ertrag. Im Winterweizen wurde die Wurzelbiomasse in 0–15 cm Tiefe durch die reduzierte Düngung um durchschnittlich 9,1 % ( $p = 0,07$ ) verringert, während der Ertrag nicht statistisch signifikant und im Durchschnitt nur um 3 % verringert war (Abb. 4). In der Wintergerste lag ein ähnlicher Trend vor. Eine verringerte Wurzelbiomasse führt jedoch langfristig zu Humusverlusten.

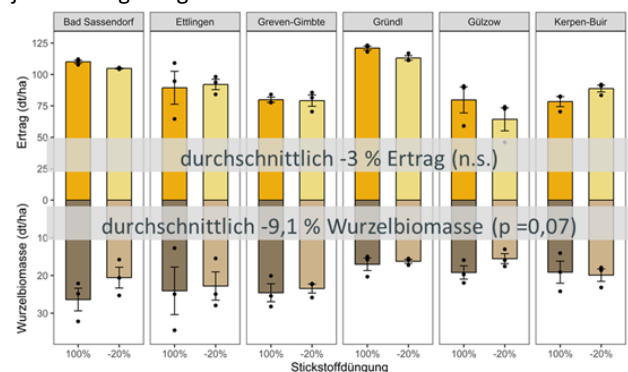


Abbildung 4: Weizenertrag und Wurzelbiomasse bis 1 m Tiefe unter 100 % und -20 % Stickstoffdüngung in den beprobten Düngungsversuchen.

Bei Silomais und Winterraps hatte die reduzierte Düngung keine Auswirkungen auf die Wurzelbiomasse.

### Auswirkung von erhöhtem CO<sub>2</sub>

Klimatische Faktoren hatten einen größeren Einfluss auf die Wurzellänge als erhöhtes CO<sub>2</sub>. In dem sehr trockenen Jahr 2024 war die Wurzellängendichte signifikant geringer als 2023 und die erhöhte CO<sub>2</sub>-Konzentration hatte keinen

positiven Effekt auf das Wurzelwachstum. In 2023 war die Wurzellänge unter erhöhtem CO<sub>2</sub> vor allem im Oberboden signifikant erhöht (Abb. 6). Unter aktuellen Bedingungen fanden wir in den ersten 30 cm eine durchschnittliche Wurzellängendichte von 5,5 cm/cm<sup>3</sup> und 6,0 cm/cm<sup>3</sup> unter erhöhtem CO<sub>2</sub>. In 30-60 cm Tiefe konnten wir keine signifikanten Unterschiede feststellen, aber bei 60-90 cm war die Wurzellängendichte unter erhöhtem CO<sub>2</sub> ebenfalls signifikant erhöht (durchschnittlich 0,6 cm/cm<sup>3</sup> und 0,4 cm/cm<sup>3</sup>).

### Weizensorten

Unsere Ergebnisse zeigen unter aktuellen Bedingungen signifikante Unterschiede im Wurzelsystem verschiedener Weizensorten in verschiedenen Bodentiefenstufen (Abb. 5). Unter erhöhtem CO<sub>2</sub> sahen wir jedoch keine Unterschiede. Auch bei der Wurzelbiomasse von Weizensorten haben klimatische Faktoren eine große Rolle gespielt. 2023 waren Sortenunterschiede in den oberen Bodenschichten signifikant, während sich Sorten in 2024 in tiefere Bodenschichten unterschieden.

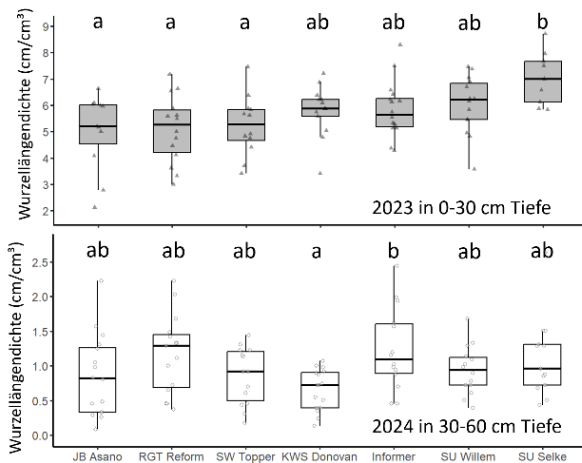


Abbildung 5: Unter aktuellen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen konnten 2023 in den ersten 30 cm und 2024 in der Tiefe von 30-60 cm signifikante Sortenunterschiede identifiziert werden (gekennzeichnet durch die unterschiedlichen Buchstaben).

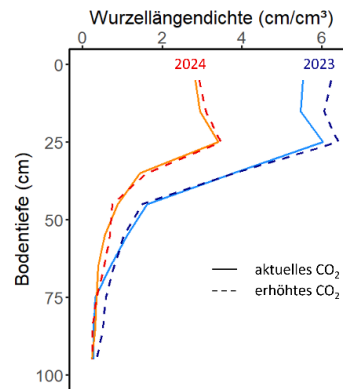


Abbildung 6: Wurzelverteilung im Boden bis 1 m Tiefe in 2023 und 2024 für Weizen unter aktuellen Bedingungen und unter erhöhten atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen.

### SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Wurzelforschung von Kulturpflanzen befindet sich noch am Anfang. Dies hängt u. a. mit dem enormen Aufwand der Wurzelanalytik zusammen. Im WurCel-Projekt konnten wir aber zeigen, dass Wurzeln viel stärker als bisher angenommen durch Bewirtschaftungsentscheidungen beeinflusst werden. Dadurch ergibt sich eine direkte Option über mehr Wurzelbiomasse zum Humusaufbau in Ackerböden beizutragen. Der Humuseffekt variiert aber stark zwischen den Jahren und den Standorten. Die im WurCel-Projekt entwickelten Wurzelanalysemethoden können genutzt werden, um einen systematischen größeren Datensatz zu generieren, der es erlaubt über Standorte und Jahre hinweg Wurzelbiomasse, Spross/Wurzelverhältnisse und Ertrag/Wurzelverhältnisse vorherzusagen. Wurzelstarke Sorten und Anbaumethoden, die die Wurzelbildung fördern, können nicht nur die Bodenkohlenstoffvorräte in Ackerböden erhöhen, sondern auch die Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel verbessern. Nur eine ausreichende und tiefe Durchwurzelung verschafft Kulturpflanzen den Zugang zu den Bodenwasserressourcen in Ober- und Unterböden.

#### Weitere Informationen:

<https://www.thuenen.de/de/fachinstitute/ agrarklimaschutz/projekte/wurcel>

<https://wissen.julius- kuehn.de/klimaschutz/projekte/erhoehung- kohlenstoffspeicherpotentiale/wurcel>

### Handlungsempfehlungen für Politik und Praxis

Pflanzenwurzeln sind sowohl für den Klimaschutz als auch die Klimaanpassung zentral. Sie haben ein hohes Kohlenstoffbindungspotenzial, das nur durch Zusammenwirken verschiedener Akteure gehoben werden kann. Dazu zählen an erster Stelle Züchter und Saatguthersteller, die die Durchwurzelungsintensität als Züchtungsziel aufnehmen müssen. Verbesserte Methoden ermöglichen es die Wurzelanalytik im Freiland in hoher Wiederholung zu untersuchen. Mögliche Zielkonflikte zwischen Wurzelförderung und Ertragssicherung sind zu berücksichtigen. Schon jetzt sollten, auch vor dem Hintergrund des Klimawandels, Förderprogramme zu wurzelstarken Kulturen (z. B. Luzerne, Klee-Gras) oder zusätzlichen und optimierten Zwischenfrüchten für den Humusaufbau auf den Weg gebracht werden.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages