

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## **Schlussbericht zum Thema**

# **“Entwicklung nitrifikationshemmender und klima- resilienter Anbausysteme mit Futterleguminosen“**

**FKZ: 2818EPS016**

**Projektnehmer:**

**Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (HTW Dresden)**

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft auf Grund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Rahmen der BMEL Eiweißpflanzenstrategie.

# Schlussbericht

## zum Vorhaben

Thema:

**Entwicklung nitrifikationshemmender und klimaresilienter Anbausysteme mit Futterleguminosen (NiKliFu)**

Zuwendungsempfänger:

**Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (HTW Dresden)**

Förderkennzeichen:

**2818EPS016**

Laufzeit:

**18.07.2019 bis 30.04.2023**

Monat der Erstellung:

**01/2024**

**Autoren des Berichtes: M.Sc. Florian Tröber und Prof. Dr. Knut Schmidtke**

Kontakt: Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, Fakultät Landbau/Umwelt/Chemie, Fachgebiet Ökologischer Landbau, Pillnitzer Platz 2, 01326 Dresden

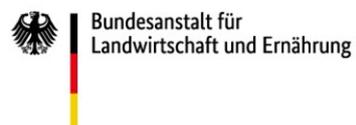
E-Mail: [knut.schmidtke@htw-dresden.de](mailto:knut.schmidtke@htw-dresden.de)

Tel.: 0351-462 3017

Gefördert durch



Projektträger



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) im Rahmen der BMEL-Eiweißpflanzenstrategie gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorenschaft.

# Inhaltsverzeichnis

I.	Kurzfassung .....	3
1	Einführung .....	5
1.1	Gegenstand des Vorhabens.....	5
1.2	Ziele und Aufgabenstellung des Projekts .....	5
1.3	Planung und Ablauf des Projekts .....	6
2	Wissenschaftlicher und technischer Stand.....	8
3	Material und Methoden.....	10
3.1	Witterungsbedingungen im Versuchszeitraum.....	11
3.2	Versuchsaufbau.....	14
3.3	Schätzung der symbiotisch fixierten N-Menge.....	17
3.4	Labor-Bebrütungsversuche .....	18
3.4.1	Versuchsserie 1 (2020) .....	18
3.4.2	Versuchsserie 2 (2020) .....	18
3.4.3	Versuchsserie 3 (2021) .....	19
4.	Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse .....	21
4.1	Schnittguterträge 2020 .....	21
4.1.1	Standort Struppen .....	21
4.1.2	Standort Caßlau 2020 .....	24
4.2	Schnittguterträge im Jahr 2021 .....	27
4.2.1	Standort Struppen .....	27
4.2.2	Standort Caßlau .....	30
4.3	Stickstoffaufnahme der Futterbestände .....	33
4.3.1	N-Aufnahme im Jahr 2020 .....	33
4.3.1.1	Standort Struppen.....	33
4.3.1.2	Standort Caßlau .....	35
4.3.2	N-Aufnahme im Jahr 2021 .....	36
4.3.2.1	Standort Struppen.....	36
4.3.2.2	Standort Caßlau .....	39
4.3	Nmin-Vorrat des Bodens unter den Futterbaubeständen .....	42
4.3.1	Ergebnisse 2020 .....	42
4.3.1.1	Standort Struppen.....	42
4.3.1.2	Standort Caßlau .....	48
4.3.2	Ergebnisse 2021 .....	53
4.3.2.1	Standort Struppen.....	53
4.3.2.2	Standort Caßlau .....	57
4.4	Futterwert des Schnittguts.....	62
4.5	Aucubingehalt in Spross und Wurzel des Spitzwegerichs .....	63
4.6	Kenngößen der Schnittgut-Mulchmasse .....	64
4.7	Nmin-Vorrat im Boden nach Umbruch der Futterbaubestände.....	68
4.7.1	Periode 2020-2021.....	68
4.7.1.1	Standort Struppen.....	68

4.7.1.2 Standort Caßlau .....	75
4.7.2 Periode 2021-2022 .....	83
4.7.2.1 Standort Struppen .....	83
4.7.2.2 Standort Caßlau .....	88
4.8 N-Austräge durch Auswaschung nach Umbruch der Futterbestände .....	93
4.8.1 Sickerperiode 2020/2021 .....	93
4.8.2 Sickerperiode 2021/2022 .....	94
4.9 N-Aufnahme der Folgefrucht Winterweizen.....	95
4.9.1 Jahr 2021.....	95
4.9.1.1 Standort Struppen .....	95
4.9.1.2 Standort Caßlau .....	97
4.9.2 Jahr 2022.....	99
4.9.2.1 Standort Struppen .....	99
4.9.2.2 Standort Caßlau .....	101
4.10 Korntrag Winterweizen und Kornproteingehalt .....	103
4.10.1 Ernte 2021 .....	103
4.10.2 Ernte 2022 .....	105
4.11 Ergebnisse Inkubationversuche .....	107
4.11.1 Versuchsserie 1 .....	107
4.11.2 Versuchsserie 2 .....	110
4.11.3 Versuchsserie 3.....	116
6 Angaben zum Voraussichtlichen Nutzen und zur Verwertung der Ergebnisse.....	123
7 Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Ziele sowie Hinweise auf weiterführende Fragestellungen .....	123
8 Zusammenfassung .....	124
9 Literaturverzeichnis.....	125
10 Übersicht Veröffentlichungen zum Projekt .....	127
11 Anhang.....	128
1.    Schnitttermin Futterbestände am 02.06.2021 am Standort Struppen .....	128
1.    Schnitttermin Futterbestände am 30.05.2021 am Standort Caßlau .....	131
2.    Schnitttermin Futtebestände am 08.07.2021 am Standort Struppen.....	133
2.    Schnitttermin Futterbestände am 06.07.2021 am Standort Caßau .....	136
3.    Schnitttermin Futterbestände am 19.08.2021 am Standort Struppen.....	138
Futterbestände vor Umbruch am 29.11.2021 am Standort Caßau .....	141
Winterweizenbestand am 10.07.2021 am Standort Struppen.....	143
Winterweizenbestand am 03.03.2022 am Standort Struppen.....	146
Winterweizenbestand am 12.04.2022 am Standort Struppen.....	149
Winterweizenbestand am 03.05.2022 am Standort Struppen.....	151
Winterweizenbestand am 28.07.2022 am Standort Struppen.....	154

## I. Kurzfassung

In den Jahren 2019 bis 2022 wurden an zwei Standorten in Sachsen, Struppen mit lehmig schluffigen Boden und Caßlau mit sandigem Boden, Untersuchungen zur Ertragsbildung, symbiotischen N<sub>2</sub>-Fixierleistung, Vorrat an pflanzenverfügbarem Nitrat- und Ammoniumstickstoff im Boden von Reinsaat und Gemengen aus Rotklee, Welschem Weidelgras und Spitzwegerich durchgeführt. Die überjährig angebauten Futterbestände wurden an beiden Standorten in einer Verdrängungsserie nach de Wit in Form von Gemengen aus zwei Arten und relativen Saatanteilen zur jeweiligen Reinsaat von 25% zu 75%, 50% zu 50% sowie 75% zu 25% im Vergleich zu den jeweiligen Reinsaat in einer faktoriellen, randomisierten Feldversuchsanlage mit 4 Wiederholungen geprüft. Erfasst wurde auch der Aucubingehalt in Spross und Wurzel des Spitzwegerichs aus Rein- und Gemengesaat. Die Futterbestände wurden nach 14-monatiger Wachstumsdauer im Oktober mit dem Pflug umgebrochen und Winterweizen als Folgekultur nachgebaut. Unter Winterweizen wurde der Vorrat an pflanzenverfügbarem Nitrat- und Ammoniumstickstoff im Boden sowie die Ertragsbildung und N-Aufnahme des Winterweizens zu mehreren Terminen in der Vegetationsperiode erfasst. Vor Umbruch der Futterbestände wurden zum letzten Schnittermin die Bestände, wie zu den vorherigen Nutzungsterminen, beerntet und das Schnittgut abgefahren oder das Schnittgut auf der Fläche als Mulchmaterial belassen und eingearbeitet. Die Untersuchungen wurden ergänzt durch die Nitrat- und Ammoniumfreisetzung im Boden im Verlauf einer Inkubation bei 20°C über 112 Tage ohne und nach Zugabe von unterschiedlich hohen N-Mengen in Form von Spross- und Wurzelmasse der drei im Feld gewachsenen Pflanzenarten. Übergeordnetes Ziel war es zu prüfen, inwieweit Spitzwegerich eine höhere Resilienz gegenüber trockenen Phasen im Sommer als Welsches Weidelgras im Gemenge mit Rotklee aufweist und Spitzwegerich auch im Feld zu einer Hemmung der Nitrifikation im Boden führt, so dass Nitratstickstoff in geringerem Maße bzw. verzögert im Boden freigesetzt wird, um die Auswaschung an Nitratstickstoff im Vergleich zu einem Gemenge mit Welschem Weidelgras und Rotklee nach Umbruch der Bestände zu verringern.

Auf tiefgründig durchwurzelbarem Boden erwies sich der Spitzwegerich aufgrund seines tiefer in den Boden reichenden Wurzelsystems als trockenresilienter als das Welsche Weidelgras im Gemenge mit Rotklee. Dieses führte dann zu entsprechend höheren Ertragsleistungen des Rotklee-Spitzwegerichgemenges im Vergleich zum Gemenge aus Rotklee mit Welschem Weidelgras. Welsches Weidelgras zeigte sich allerdings unter diesen Standortbedingungen als ertragsstärker im ersten Aufwuchs im Frühjahr, so dass die Jahresschnittguterträge der entsprechenden Gemenge sich nicht wesentlich unterschieden. Optimale Gesamtertragsleistungen ließen sich mit relativen Saatanteilen des Spitzwegerich von etwa 30% der Reinsaatstärke im Gemenge mit Rotklee erzielen. Beim Gemengepartner Welsches Weidelgras waren ebenfalls Höchsterträge mit realiven Saatanteilen von etwa 30% gegeben. Auf dem Standort Caßlau mit sandigen Bodenbedingungen und einer maximalen Durchwurzelbarkeit des Boden von 60 bis 80 cm (bedingt durch eine Schicht aus Grobsand und Kies), waren in vielen Fällen die Gemenge aus Rotklee mit Welschem Weidelgras ertragstärker als die entsprechenden Gemenge mit Spitzwegerich. In der Tendenz konnten im Gemenge mit Spitzwegerich aber höhere symbiotische N<sub>2</sub>-Fixierleistungen der Gemenge mit Rotklee ermittelt werden. Während im Laborbebrütungsversuch deutlich nachgewiesen werden konnte, dass insbesondere die in der Sprossmasse des Spitzwegerichs enthaltenen Mengen an Aucubin zu einer Hemmung der Nitrifikation führte, konnte dieses im Feld nur in der Tendenz nachgewiesen werden. Spitzwegerich im Gemenge mit Rotklee stellte sich als nicht nachteilig im Vergleich zu Welschem Weidelgras hinsichtlich des Vorfruchtwertes zu Winterweizen heraus, in einigen Fällen war auch ein höherer Vorfruchtwert der Gemenge mit Spitzwegerich festzustellen. Spitzwegerich führte im Gemenge, vor allem aber in Reinsaat nach 14-monatiger Wachstumszeit zu geringeren Restnitratgehalten im Boden. Nach Umbruch von Beständen mit Spitzwegerich (Reinsaat sowie Gemenge mit Rotklee) waren zudem unter der Folgefucht Winterweizen geringere Nitratsträge durch Auswaschung festzustellen als nach Umbruch entsprechender Bestände mit Welschem Weidelgras. Spitzwegerich erwies sich auf tiefgründig durchwurzelbarem Boden somit als klimaresilienter als Welsches Weidelgras und trug gleichzeitig auf allen geprüften Standorten zu einer Verminderung der Nitratsträge durch Auswaschung bei.

In the years 2019 to 2022, studies on yield formation, symbiotic N<sub>2</sub> fixation performance, stocks of plant-available nitrate and ammonium nitrogen in the soil of pure seeds and mixtures of red clover, italian ryegrass and ribwort plantain were carried out at two locations in Saxony, Struppen with loamy silty soil and Caßlau with sandy soil. The perennial forage crops were tested at both sites in a replacement series according to de Wit in the form of mixtures of two species and relative seed proportions to the respective pure seeds of 25% to 75%, 50% to 50% and 75% to 25% in comparison to the respective pure seeds in a factorial, randomized field trial with 4 replicates. The aucubin content in the shoots and roots of ribwort plantain from pure and mixed seed was also recorded. After 14 months of growth, the forage crops were plowed in October and winter wheat was grown as a subsequent crop. Under winter wheat, the supply of plant-available nitrate and ammonium nitrogen in the soil as well as the yield formation and N uptake of the winter wheat were recorded at several dates during the vegetation period.

Before plowing the forage stands, the stands were harvested on the last cutting date, as on the previous utilization dates, and the cuttings were removed or left on the field as mulch and worked in. The investigations were supplemented by the release of nitrate and ammonium in the soil in the course of incubation at 20°C for 112 days without and after the addition of different amounts of N in the form of shoot and root mass of the three plant species grown in the field. The overall objective was to test the extent to which ribwort plantain has a higher resilience to dry phases in summer than italian ryegrass in a mixture with red clover and to what extent ribwort plantain also leads to an inhibition of nitrification in the soil in the field, so that nitrate nitrogen is released to a lesser extent or with a delay in the soil in order to reduce the leaching of nitrate nitrogen compared to a mixture with italian ryegrass and red clover after ploughing up the crops.

On deep-rooted soil, ribwort plantain proved to be more drought-resistant than italian ryegrass in a mixture with red clover due to its root system reaching deeper into the soil. This then led to correspondingly higher yields of the red clover and ribwort plantain mixture compared to the mixture of red clover with italian ryegrass. However, italian ryegrass proved to be higher-yielding in the first spring growth under these site conditions, so that the annual yields of the corresponding mixtures did not differ significantly. Optimum overall yields were achieved with relative seed proportions of ribwort plantain of around 30% of the pure seed rate in the mixture with red clover. The mixture partner italian ryegrass also achieved maximum yields with real seed proportions of around 30%. At the Caßlau site with sandy soil conditions and a maximum rootability of the soil of 60 to 80 cm (due to a layer of coarse sand and gravel), the mixtures of red clover with italian ryegrass were in many cases higher yielding than the corresponding mixtures with ribwort plantain. In general, however, higher symbiotic N<sub>2</sub>-fixing performance was determined in the mixtures with ribwort plantain than in the mixtures with red clover. While it was clearly demonstrated in the laboratory incubation experiment that the quantities of aucubin contained in the shoot mass of ribwort plantain in particular led to an inhibition of nitrification, this could only be demonstrated as a tendency in the field. Ribwort plantain in mixtures with red clover did not prove to be disadvantageous in comparison with italian ryegrass with regard to the preceding crop value for winter wheat, and in some cases a higher preceding crop value of the mixtures with ribwort plantain was also observed. Ribwort plantain led to lower residual nitrate levels in the soil after 14 months of growth in mixtures, but especially in pure seed. After ploughing up stands with ribwort plantain (pure sowing as well as mixtures with red clover), lower nitrate losses due to leaching were also observed under the following crop winter wheat than after ploughing up corresponding stands with italian ryegrass. Ribwort plantain thus proved to be more climate-resilient than italian ryegrass on deep-rooted soil and at the same time contributed to a reduction in nitrate leaching on all tested sites.

## **1 Einführung**

### **1.1 Gegenstand des Vorhabens**

Gegenstand des Vorhabens war die Erprobung von Spitzwegerich im Gemengebau mit Rotklee als neue Kulturpflanze in faktoriell angelegten Feldversuchen auf zwei Standorten mit unterschiedlichen Bodeneigenschaften – lössbürtiger Boden bzw. sandiger Boden. Dabei sollte geprüft werden, inwieweit sich der Spitzwegerich trockenoleranter in Phasen begrenzten Niederschlages im Sommer und damit ertragsstärker als Welsches Weidelgras, ein bisher breit genutzter Gemengepartner zu Rotklee, erwies. Gleichzeitig sollte geprüft werden, inwieweit die Höhe der symbiotisch fixierten N-Menge und residuale Nmin-Menge im Boden durch Spitzwegerich im Vergleich zu Welschem Weidelgras als Gemengepartner zu Rotklee beeinflusst wird. Es wurde ferner die N-Freisetzung im Boden und Ertragsbildung und N-Aufnahme von Winterweizen nach Umbruch der geprüften Futterleguminosenbestände im Feld geprüft. Ergänzt wurden die Untersuchungen durch Bebrütungsversuche im Labor bei denen die N-Mineralisation aus eingearbeiteter Spross- und Wurzelmasse von Spitzwegerich, Welschem Weidelgras sowie Rotklee, die als einzelne Komponente, aber auch in Mischungen der Pflanzenarten ermittelt wurde.

### **1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projekts**

Ziel des Vorhabens "Entwicklung nitrifikationshemmender und klimaresilienter Anbausysteme mit Futterleguminosen (NiKliFu)" war es, durch Integration von Spitzwegerich in Futterleguminosen ein für Deutschland neuartiges Feldfutterleguminosen-Gemenge zu entwickeln, das

- a. aufgrund einer nitrifikationshemmenden Wirkung des Spitzwegerichs zu geringeren Verlusten an Nitratstickstoff unter und insbesondere nach Umbruch von Futterleguminosenbeständen führt und
- b. zugleich in Trockenperioden aufgrund des tiefreichenden Durchwurzelungsvermögens des Spitzwegerichs höhere Schnittgutertragsleistungen im Vergleich zu einem entsprechenden Futterleguminosen-Gemenge mit Gräsern realisiert.

### 1.3 Planung und Ablauf des Projekts

Die Durchführung des Projektes erfolgte in drei übergeordneten und zeitlich gestaffelten Arbeitspaketen:

Arbeitspaket 1: Anbau von Rotklee im Gemenge mit Welschem Weidelgras versus im Gemenge mit Spitzwegerich

Hierzu sollten zunächst Gemenge aus Rotklee mit Welschem Weidelgras sowie Rotklee mit Spitzwegerich im Feld hinsichtlich Ertragsleistung an Schnittgut und symbiotischer N<sub>2</sub>-Fixierleistung sowie der Entwicklung des Ammonium- und Nitratvorrates im Boden und der Qualität des erzeugten Futtermittels an zwei Standorten mit ausgeprägten Trockenphasen in der Vegetationszeit untersucht werden. Im Anschluss sollten diese Bestände umgebrochen, im Labor-Bebrütungsversuch sowie im Feld die Freisetzung pflanzenverfügbarer Mengen an Ammonium- und Nitratstickstoff im Boden ermittelt und im Feld Winterweizen angebaut sowie dessen Ertragsbildung und Stickstoffaufnahme untersucht werden. Übergeordnetes Ziel der Untersuchungen war es, am Beispiel des Rotklee ein neues Anbausystem von Futterleguminosen mit Spitzwegerich als Gemengepartner zu entwickeln, welches eine höhere Resilienz gegenüber Trockenphasen und eine geringere Gefahr des Verlustes von Nitratstickstoff vor und nach Umbruch des Futterleguminosen-Gemenges durch Auswaschung aufweisen sollte.

Durch die Untersuchungen in der Phase des Anbaus der Rotklee-Gemenge sollen nachstehende Hypothesen im AP 1 bearbeitet werden:

1. Gemengebau von Rotklee mit Spitzwegerich führt zu einem rascheren Absinken und anhaltend niedrigeren Nitratvorrat im Boden als das Gemenge mit Welschem Weidelgras und ist eine Funktion des Ertragsanteiles des Spitzwegerichs im Gemenge.
2. Die Gemenge aus Spitzwegerich mit Rotklee sind mit zunehmender Wasserknappheit am Standort (in der Regel zum zweiten und dritten Schnitttermin) ertragsstärker als die Gemenge mit Welschem Weidelgras.
3. Die Ertragsvorteile im Gemenge mit Spitzwegerich sind auf dem Sandboden größer als auf lehmigem Boden.
4. Die symbiotische N<sub>2</sub>-Fixierleistung des Rotklee im Gemenge mit Spitzwegerich übertrifft aufgrund der Nitrifikationshemmung des Spitzwegerichs im Boden die entsprechende N<sub>2</sub>-Fixierleistung des Rotklee im Gemenge mit Welschem Weidelgras.

Arbeitspaket 2: N-Mineralisation im Laborbebrütungsversuch

Anfang Oktober 2020 bzw. Anfang Oktober 2021 sollten aus 0 bis 20 cm Bodentiefe Bodenproben aus jeder Parzelle der Feldversuche entnommen und die N-Mineralisation im Boden ohne und mit Zufuhr von zerkleinerter Spross- bzw. Wurzelbestandteile der im Feld beprobten Reinsaat der Pflanzenbestände unter kontrollierten Bedingungen (80 % nutzbarer Wasserkapazität des Bodens, 20 °C) im Laborbebrütungsversuch über 0, 7, 14, 28, 56 und 112 Tage bebrütet werden (Bebrütungsversuch analog Vorgehensweise nach Dietz et al. 2013). Anschließend sollte der Ammonium- und der Nitratstickstoffgehalt im Boden ermittelt werden. Ziel der Untersuchungen war es zu klären, inwieweit die während des Wachstums des Spitzwegerichs in den Boden abgegebenen Stoffe eine die Nitrifikation hemmende Wirkung entfalten und ob durch die Zugabe von Ernteresten des Spitzwegerichs in den Boden die Wirkungen verstärkt wurden. Analog sollte dieses auch für das Welsche Weidelgras und den Rotklee geprüft werden, wobei für alle drei Pflanzenarten drei Stufen der entsprechenden Biomassezugabe sowie in drei Kombinationsstufen aus Spitzwegerich bzw. Welschem Weidelgras mit Rotklee geprüft werden sollten. In der Biomasse des Spitzwegerichs sollte zuvor der Gehalt an Aucubin, für die Nitrifikationshemmung ursächliche Substanz, ermittelt werden (Methodik: siehe Dietz et al. 2013). Die Zugabe an pflanzlicher Biomasse zum Boden sollte auf der Basis gleicher N-Mengen durchgeführt werden, so dass zuvor in der pflanzlichen Biomasse der N- und C-Gehalt bestimmt werden musste.

Durch die Laborbebrütungsversuche sollten insbesondere nachstehende Hypothesen im AP 2 bearbeitet werden:

1. Während mit Zunahme des Ertrages an Welschem Weidelgras im Gemenge mit Rotklee keine nitrifikationshemmende Wirkung im Boden zu verzeichnen ist, steigt diese mit Zunahme des Spitzwegerichertrages im Pflanzenbestand signifikant an.
2. Die nitrifikationshemmende Wirkung des Spitzwegerichs im Boden ist im Sandboden deutlich größer als im lehmigen Boden.

3. Eine durch Zugabe von Rotkleebiomasse im Boden induzierte erhöhte Freisetzung von Nitrat im Boden wird durch Zugabe von Spitzwegerichbiomasse überproportional gesenkt.
4. Mit Steigerung der Zufuhr von Spitzwegerichbiomasse zum Boden hält die nitrifikationshemmende Wirkung länger im Boden an.

Arbeitspaket 3: N-Mineralisation im Boden nach Umbruch unter Winterweizen sowie Ertragsbildung und N-Aufnahme des Winterweizens

Anfang Oktober 2020 bzw. Anfang Oktober 2021 sollten die Parzellen geteilt weitergeführt werden. Auf einer Hälfte sollte das Schnittgut wie zum ersten und zweiten Schnitttermin abgefahren, auf der anderen Hälfte soll der dritte Aufwuchs als Mulchmaterial auf den Parzellen belassen werden. Durch den Vergleich der N-Mineralisation im Boden der Varianten Schnitt und Mulch sollte im Feld geprüft werden, ob eine hinreichend große und über Winter anhaltende nitrifikationshemmende Wirkung alleinig durch die Einarbeitung der Stoppel- und Wurzelrückstände des Spitzwegerichs erzielt werden kann oder es zusätzlich der Einarbeitung der Spitzwegerichblattmasse des dritten Aufwuchses bedarf, um den Nitratvorrat im Boden über Winter auf einem sehr geringen Niveau zu halten. Durch die Teilung der Großparzellen zum letzten Schnitttermin verdoppelte sich die Anzahl Parzellen je Standort auf 72. Nach Einarbeitung der Ernterückstände und Umbruch der Bestände mit dem Pflug sollte auf allen Parzellen Winterweizen als Folgefrucht angebaut werden. Erfasst werden sollte der Vorrat an Ammonium- und Nitratstickstoffvorrat im Boden unter Winterweizen im Abstand von 2, 4, 8 und 12 Wochen nach der Aussaat sowie zu Vegetationsbeginn, im Schossen und zur Druschreife des Weizens. Hierdurch sollte im Feld der Grad und die Dauer der nitrifikationshemmenden Wirkung des Spitzwegerichs im Boden im Vergleich zum Welschen Weidelgras und Rotklee erfasst werden sowie durch die Erfassung des Nitratvorrates im Unterboden (30 bis 120 cm Tiefe) zugleich die Gefahr des Nitrataustrages quantifiziert werden. Soweit möglich sollte unter Nutzung des Bodenwasserhaushaltsmodells METVER des Deutschen Wetterdienstes und in Kooperation mit dem Deutschen Wetterdienst auch die Sickerwasserbildung kalkuliert und die Nitratausträge quantifiziert werden. Zu Vegetationsbeginn, zum Schossen und zur physiologischen Reife des Weizens sollte durch Ertragserfassung auf Kleinteilflächen die N-Aufnahme des Winterweizens bestimmt werden. Zusätzlich sollte in den Kernparzellen des Weizens der Kornertrag mit einem Parzellenmähdescher zur Totreife des Weizens ermittelt werden.

Durch die Feldversuche sollen nachstehende Hypothesen im AP 3 bearbeitet werden:

1. Durch den Gemengepartner Spitzwegerich in Rotklee kann anders als mit Welschem Weidelgras auch unter Feldbedingungen eine deutliche Hemmung der Nitrifikation im Boden nach Umbruch der Bestände erreicht werden.
2. Die Einarbeitung des letzten Aufwuchses des Spitzwegerichs in den Boden erhöht und verlängert die nitrifikationshemmende Wirkung im Boden.
3. Die Integration von Spitzwegerich führt auf dem Sandboden zu einer stärkeren Reduktion der Nitrataustragsgefahr als auf dem lehmigen Boden.
4. Die durch Spitzwegerich bewirkte Hemmung der Nitrifikation im Boden führt auch zu einer Steigerung der N-Versorgung und der Ertragsleistung des Winterweizens.

## 2 Wissenschaftlicher und technischer Stand

Die herausragenden Leistungen im Ackerbau, die mit dem Anbau von Futterleguminosen verbunden sind, sind vor allem durch die hohe symbiotische N<sub>2</sub>-Fixierung von zum Teil über 400 kg/ha und Jahr (Anthes 2005, Jung 2003, Reiter et al. 2002), die ausgesprochen hohe Humusproduktion (Leithold et al. 2015) sowie hohe Schnittguterträge von bis zu 180 dt TM/ha und Jahr begründet. Deshalb sind Futterleguminosen nahezu unverzichtbarer Bestandteil im Ackerbau des ökologischen Landbaus, wobei sie hier in der Regel im Gemenge mit Gräsern angebaut werden. Hierbei werden durch komplementäre Ressourcennutzung der Gemengepartner zumeist höhere Schnittgutertragsleistungen, eine geringere Verunkrautung, vor allem jedoch für die futterbauliche Verwertung energie- und phosphorreichere Grundfuttermittel im Vergleich zu den Reinsaaten der Leguminosen gewonnen (Schmidtke 1997, Loges 1998).

Im Hinblick auf den Schutz des Grundwassers wird der Anbau von Futterleguminosen allerdings häufig als problematisch erachtet, da infolge des Eintrages hoher und leicht mineralisierbarer organisch gebundener Stickstoffmengen über N-Rhizodeposition sowie Wurzel- und Stoppelmasse der Futterleguminosen nach deren Umbruch sehr rasch hohe Mengen an Nitratstickstoff im Boden von zum Teil über 150 kg/ha akkumuliert werden (Heß 1989, Heß 1995), die Gefahr laufen, ausgewaschen (Stopes et al. 2002) oder zu Lachgas reduziert zu werden. Bisher entwickelte ackerbauliche Strategien zur Reduktion der Nitratauswaschung nach Umbruch von Futterleguminosenbeständen wie der Anbau von Zwischen- oder Hauptfrüchten mit hoher N-Aufnahme, die Verschiebung des Umbruchtermins und Reduktion der Bodenbearbeitungsintensität haben die Nitratausträge nach Umbruch von Futterleguminosen mindern (u.a. Heß 1989, Heß 1995, Dreymann 2005), jedoch nicht zu einer nachhaltigen Lösung des Problems geführt.

Nitratverluste durch Auswaschung sind in natürlichen, stabilen Ökosystemen äußerst gering, nicht nur wegen einer kontinuierlichen Aufnahme an im Boden mineralisiertem Stickstoff durch die vorhandene Vegetation, sondern vor allem weil über eine Hemmung der Nitrifikation durch verschiedene Pflanzenarten die Oxidation des gebildeten Ammoniums spezifisch unterbunden wird (Subbarao et al. 2006). So wird einer Reihe Pflanzenarten eine zentrale Rolle in der Kontrolle der Nitrifikation im Boden zuerkannt (Skiba et al. 2011), die es zur nachhaltigen Reduktion der Nitratauswaschung im Ackerbau gezielt zu nutzen gilt. Die durch Pflanzen induzierte Nitrifikationshemmung im Boden unterbricht die Oxidation des Ammoniumstickstoffs zu auswaschungsgefährdetem Nitrat. Hierdurch wird vermehrt Ammoniumstickstoff im Boden akkumuliert, der in den meisten Böden an Tonmineralen bzw. Ton-Humus-Komplexen fixiert und so, im Gegensatz zu Nitratstickstoff, vor Auswaschung bewahrt wird. Gleichzeitig jedoch bleibt der Ammoniumstickstoff in hohem Maße pflanzenverfügbar. Die Nitrifikationshemmung verschiebt so das Verhältnis von Ammonium zu Nitratstickstoff im Boden deutlich zugunsten des Ammoniums.

So verfügt Spitzwegerich (*Plantago lanceolata* L.), eine mehrschnittig nutzbare zweikeimblättrige Pflanze, nicht nur über die Fähigkeit Nitratstickstoff aus dem Boden tiefreichend und in hohem Maße zu entnehmen (Schmidtke 2001, Reiter et al. 2002, Rauber et al. 2008), sondern er ist auch in der Lage, über die Abscheidung von nitrifikationshemmenden Substanzen in den Boden die Nitratbildung im Boden deutlich zu hemmen. So konnten Dietz et al. (2013) in Inkubationsversuchen zeigen, dass die Zugabe von aus der Sprossmasse von Spitzwegerich gewonnenen Presssäften sowie in den Boden eingearbeitete Blattmasse des Spitzwegerichs über mehr als 8 Wochen zu einer signifikant geminderten Nitratfreisetzung im Boden führt. Dieses wird durch die im Spitzwegerich enthaltenen Iridoidglycoside (vor allem Aucubin) verursacht, wie Dietz et al. (2013) zeigen konnten. Die nitrifikationshemmenden Substanzen werden vom Spitzwegerich offenbar über Rhizodeposition, Wurzeln und Sprossbestandteile während des Wachstums in den Boden abgegeben und tragen so zu einem kontinuierlich sehr niedrigen Gehalt an Nitratstickstoff im Boden bei. Schmidtke (2001) sowie Reiter (2001) nutzten Spitzwegerich in Reinsaat als Referenzpflanze zur Ermittlung der symbiotischen N<sub>2</sub>-Fixierung von mehrschnittig genutzten Futterleguminosen und beobachteten hier sehr niedrige Nitratvorräte im Boden bereits im ersten Jahr des Anbaus. Die Wirkungen waren sowohl auf ackerbaulich genutzten lössbürtigen Böden als auf Sandböden zu verzeichnen (Schmidtke 2001). Untersuchungen zur Wirkung von Spitzwegerich-Untersaaten in Kartoffeln haben das hohe Vermögen des Spitzwegerichs zur anhaltenden Senkung des Nitratvorrates im Boden auch unter Feldbedingungen zusätzlich belegt (Rauber et al. 2008). Im hier durchgeführten Vorhaben sollte deshalb diese Wirkung des Spitzwegerichs auf die Reduktion der Nitratvorräte im Boden unter und vor allem nach Umbruch von Futterleguminosen geprüft werden.

Spitzwegerich weist zudem gute agronomische Eigenschaften auf. Es ist entsprechend hoch keimfähiges Saatgut verfügbar. Es lassen sich auch sehr leicht erfolgreich Spitzwegerichbestände aus Saatgut im Acker etablieren, wie Erfahrungen aus verschiedenen Versuchen gezeigt haben (Schmidtke 2001,

Reiter 2001, Rauber et al. 2008, Dietz et al. 2013). In australischen Arbeiten zeigte er sehr hohe Ertragsleistungen, die teilweise auch über denen von Deutschem Weidelgras lagen. Schnittgut des Spitzwegerichs ist zudem sehr gut im Pansen abbaubar, was zu einer gesteigerten Futteraufnahme bei Wiederkäuern führte. Bei Schafen wurden durch eine Beimengung von Spitzwegerich eine deutlich geringere Anzahl Parasiten im Kot festgestellt, als es bei einer ausschließlichen Fütterung mit Deutschem Weidelgras der Fall war (Lodge et al. 2011), Wirkungen, die auf antimikrobielle Eigenschaften der Inhaltsstoffe des Spitzwegerichs zurückgeführt wurden. Im Rahmen einer Untersuchung zum Einsatz von Gemengen aus Rot- bzw. Weißklee mit Deutschem Weidelgras, Spitzwegerich und Zichorie in der Aufzucht von Lämmern zeigte sich, dass die mit Spitzwegerich-Rotklee-Gemenge gefütterten Lämmer, schneller an Gewicht zunahmten, über ein höheres Schlachtgewicht verfügten als Lämmer, welche ausschließlich ein Gemenge aus Deutschem Weidelgras und Rotklee zur Verfügung stand (Somasiri et al. 2015). Zu analogen Ergebnissen kamen auch Kenyon et al. (2017), die ebenfalls feststellten, dass bei einer Fütterung von einem Spitzwegerich-Rotklee-Gemenge sowohl das Lebendgewicht als auch das Schlachtgewicht höher ausfiel als bei ausschließlicher Fütterung mit einem Deutschen Weidelgras-Rotklee-Gemenge. In Deutschland wies auch Isselstein (1994) auf den hohen Futterwert von Spitzwegerich im Vergleich zu Weidelgräsern hin.

Das schnell wachsende und tief in den Boden reichende Wurzelsystem des Spitzwegerichs ist eine zweite besondere Eigenschaft des Spitzwegerichs (Reiter 2001), die ihn nicht nur befähigt Nitrat und andere Nährstoffe aus tiefer gelegenen Bodenschichten effektiv aufzunehmen, sondern ihm offenbar in Trockenperioden eine bessere Aneignung von Wasser ermöglicht, als dieses bei den flacher wurzelnden Weidelgräsern der Fall ist. Dieses lässt sich nicht nur auf sandigen Standorten im Sommer an Wegrändern beobachten, in der der Spitzwegerich in Trockenzeiten im Gegensatz zu Gräsern anhaltend hohen Zuwachs und turgeszente Blätter zeigt. Auch in zwei an der Professur Ökologischer Landbau der HTW Dresden im Rahmen von Bachelor- und Masterarbeiten durchgeführten Untersuchungen zeigte sich, dass Spitzwegerich im Gemenge mit Rotklee insbesondere zum zweiten Schnitttermin im Sommer einen deutlich höheren Ertragszuwachs zu realisieren vermochte als Deutsches Weidelgras (Tab. 1). Dieses wird auf die wurzelbedingt bessere Wasseraneignung des Spitzwegerichs im Vergleich zu Gräsern zurückgeführt und dürfte in Trockenperioden die Klimaresilienz im Futterleguminosenanbau erhöhen.

Tab. 1: Frisch- bzw. Trockenmasseertragsleistung von Gemengen aus Rotklee und Deutschem Weidelgras bzw. Spitzwegerich auf einem Mittelgebirgsstandort im Erzgebirge (Hartmannsdorf) (Müller 2015, Lorenz 2017)

	<b>1. Schnitt</b>	<b>2. Schnitt</b>	<b>Summe</b>
Rotklee/Deutsches Weidelgras 2014	306 dt FM/ha	310 dt FM/ha	616 dt FM/ha
Rotklee/Spitzwegerich 2014	363 dt FM/ha	388 dt FM/ha	751 dt FM/ha
Rotklee/Deutsches Weidelgras 2016	22,1 dt TM/ha	35,8 dt TM/ha	57,9 dt TM/ha
Rotklee/Spitzwegerich 2016	22,5 dt TM/ha	39,7 dt TM/ha	62,3 dt TM/ha

### 3 Material und Methoden

Die Feldversuche wurden in den Jahren 2019 und 2020 an zwei Standorten mit unterschiedlichen Bodeneigenschaften in Sachsen angelegt (Tab. 2). Der Standort Struppen ist nahe Pirna gelegen, weist eine tiefgründige Parabraunerde (2019) bzw. Fahlerde-Pseudogley aus Löß (Bodenart: lehmig-sandiger Schluff) auf, während in beiden Jahren am Standort Casslau ein erodierter Brauneisengley aus periglazialen Kies führendem Sand (Bodenart: lehmiger Sand) als Versuchsstandort genutzt wurde. In Tab. 3 sind nähere Angaben zum Gesamtgehalt an C und N, dem pH-Wert sowie zum Vorrat an pflanzenverfügbaren Grundnährstoffen im Oberboden der Versuchsstandorte wiedergegeben. Die zur Bodenanalytik eingesetzten Methoden sind in Tab. 4 zusammengestellt.

Tab. 2: Angaben zur Lage und Untersuchungsstandorte sowie deren Bodenart und Bodentyp

Standort	Struppen 2019	Struppen 2020	Casslau 2019 und 2020
Koordinaten	<u>50.917311, 14.001420</u>	<u>50.917311, 14.001420</u>	<u>51.286594, 14.275820</u>
Bodenart	Uls	Uls	SI3
Bodentyp	Parabraunerde aus periglazialerem Grus führendem Schluff über periglazialerem Grus führendem Lehm (LLn 504)	Fahlerde-Pseudogley aus periglazialerem Kies führendem Schluff (LF-SS 771)	erodierter Gley aus periglazialerem Kies führendem Sand über fluvialimogenem Kies führendem Sand (GGe 1031)

Tab. 3: PH-Wert, C- und N-Gehalt der Böden sowie deren Gehalt an pflanzenverfügbaren Nährstoffen an den Untersuchungsstandorten

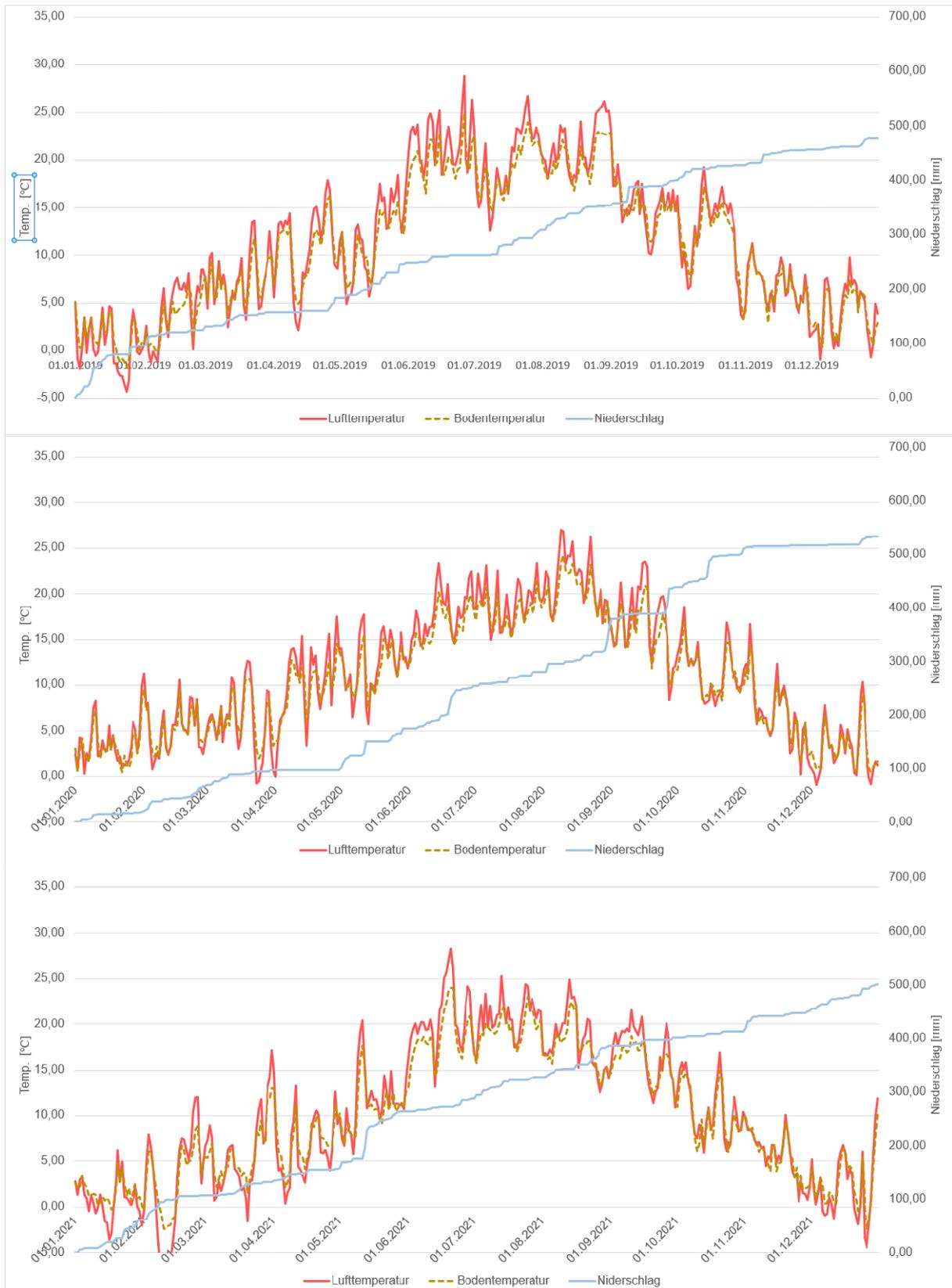
Standort	Jahr	Tiefe in cm	Ct	Nt	pH-Wert	P (CAL)	K (CAL)	Mg
			in % der TM			mg/100 g		
Struppen	2019	0 bis 30	1,2	0,1	6,8	4,0	6,2	16,7
Struppen	2020	0 bis 30	1,4	0,1	6,8	6,4	11,5	8,5
Casslau	2019 & 2020	0 bis 30	1,7	0,2	6,4	3,4	4,0	10,0

Tab. 4: Methoden zur Bestimmung der Gehalte an Grundnährstoffen (pH, Phosphor, Kalium, Magnesium) und zur Ermittlung des Nitrat- und Ammoniumstickstoffs im Boden

Parameter	Einheit	Methode <sup>[1]</sup> <sup>[2]</sup>
pH-Wert <sup>[1]</sup>	-	VDLUFA I, A 5.1.1, 7 Teilffg. 2016
Phosphor (P) <sup>[1]</sup>	mg/100 g	CAL-Methode nach VDLUFA I, A 6.2.1.1, 6. Teilffg 2012
Kalium (K) <sup>[1]</sup>		
Magnesium (Mg) <sup>[1]</sup>		LKS BUAA 005:2019-06 Bestimmung mittels Fließinjektionsanalyse nach Walinga et al. (1995)
Nitrat (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) <sup>[2,3]</sup>	mg/l	Photometrische Bestimmung nach Nitratreduktion mit Diazokopplung
Ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) <sup>[1,3]</sup>		Photometrische Bestimmung mit Indophenolfarbstoff nach Huy et al. (2016)

<sup>[1]</sup>Suspendiermittel pH, P, K, Mg: 0,0125 M CaCl<sub>2</sub>, <sup>[2]</sup>Suspendiermittel NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: 0,01 M CaCl<sub>2</sub>, <sup>[3]</sup>DIN 19746:2005-06, Bodenbeschaffenheit - Bestimmung von mineralischem Stickstoff (Nitrat und Ammonium) in Bodenprofilen (N<sub>min</sub>-Laborverfahren).

### 3.1 Witterungsbedingungen im Versuchszeitraum



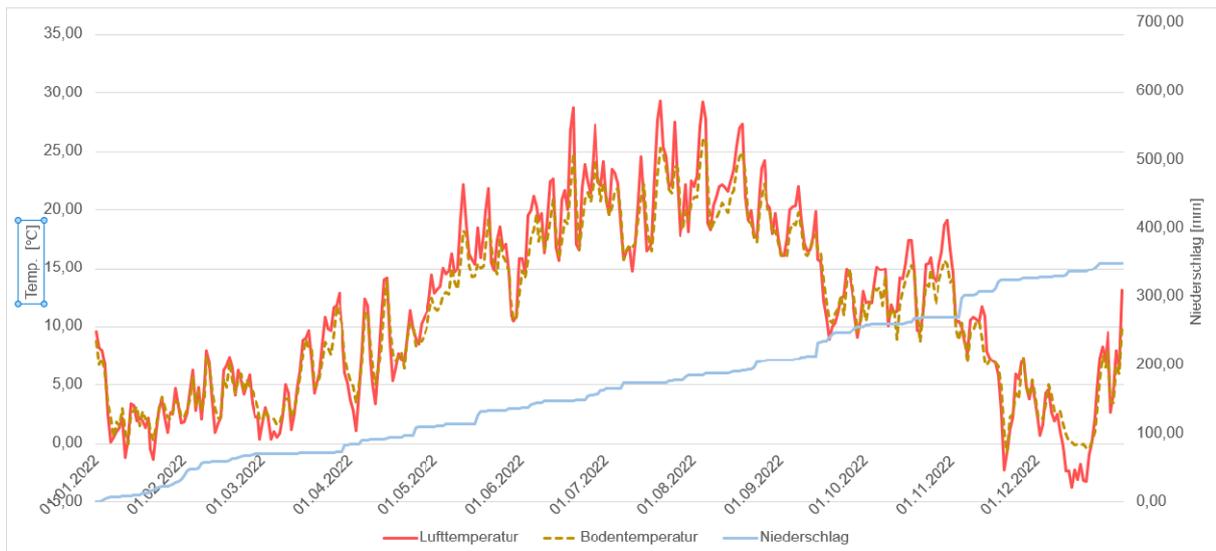
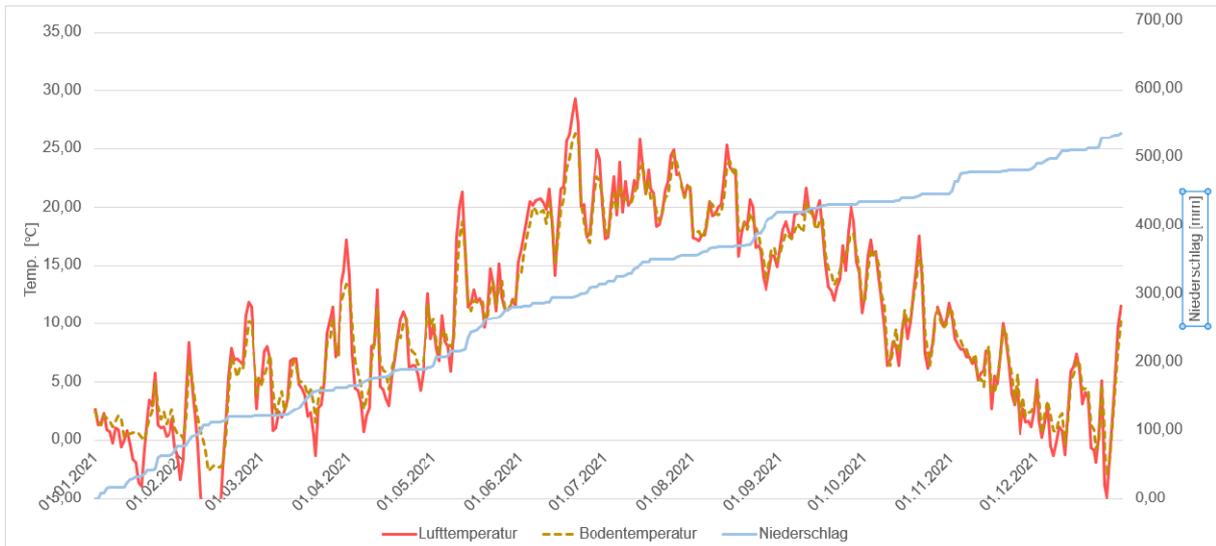
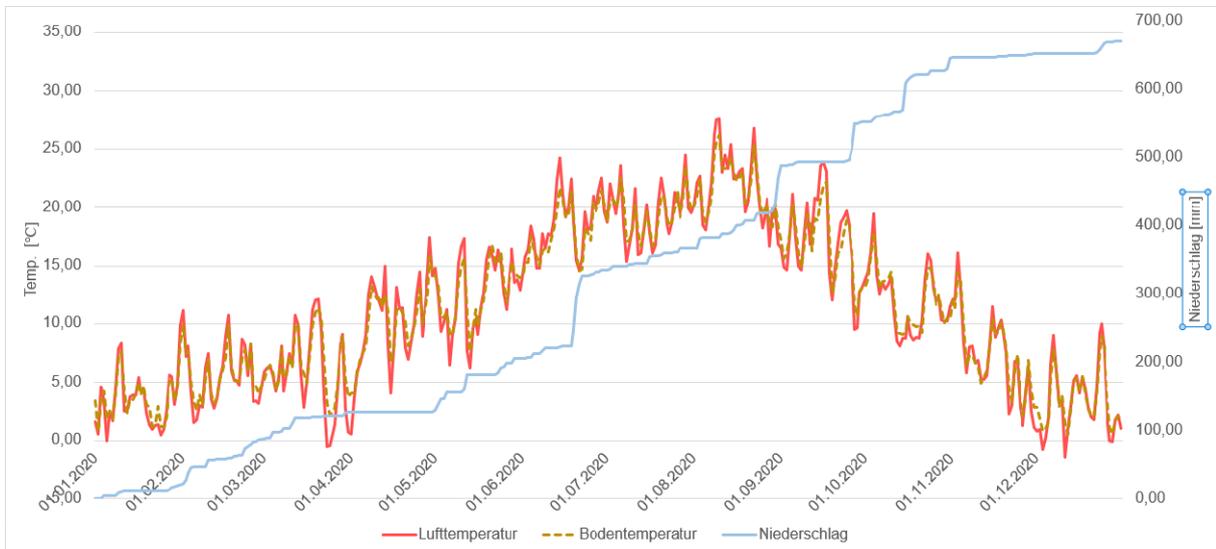
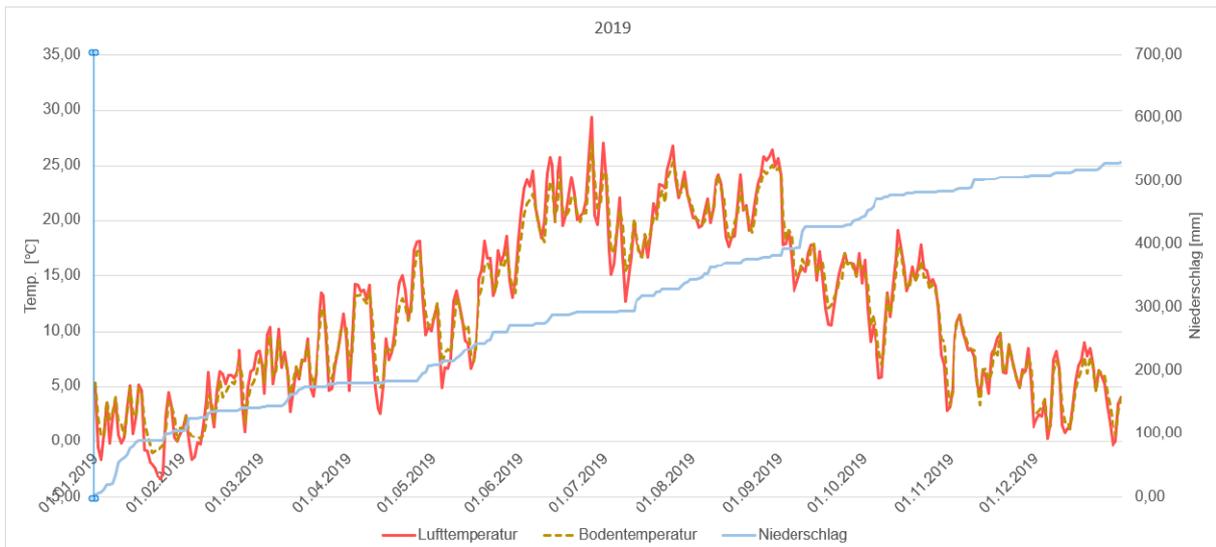


Abb. 1: Luft- und Bodentemperaturverläufe sowie Niederschlagsverteilung im Versuchszeitraum am Standort Struppen

Tab. 5: Mittlere Jahresmitteltemperatur und Niederschlagssumme im Versuchszeitraum an den Untersuchungsstandorten

Jahr	Lufttemperatur (°C)	Jahres-Niederschlagssumme (mm)
Struppen		
2019	11,5	478
2020	11,2	534
2021	10,2	502
2022	11,7	350
Caßlau		
2019	11,7	530
2020	11,6	669
2021	10,4	536
2022	11,9	410

In Abb. 1 und Abb. 2 sind die Winterungsbedingungen hinsichtlich Niederschläge sowie Boden- und Lufttemperatur verzeichnet. An beiden Standorten waren mit Ausnahme des Jahres 2021 relativ warme Bedingungen gegeben. In den Jahren 2019, 2021 sowie 2022 Jahre waren nur unterdurchschnittliche Niederschlagsmengen an den Standorten zu verzeichnen. Nur am Standort Caßlau fielen mit 669 mm im Jahr 2020 im Vergleich zum langjährigen Mittel durchschnittlich hohe Niederschläge (Tab. 5).



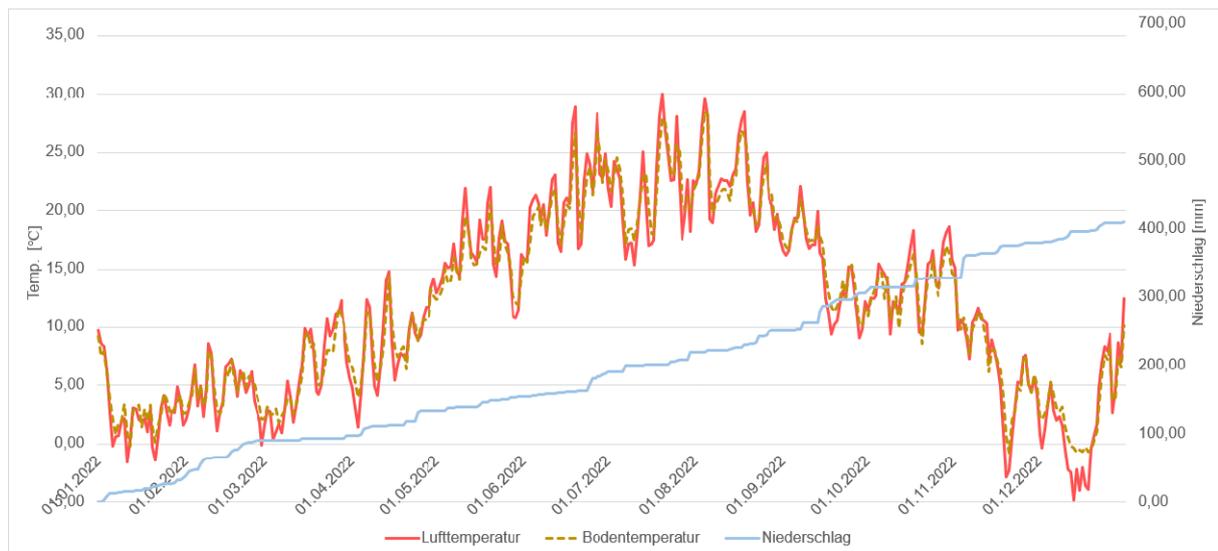


Abb. 2: Luft- und Bodentemperaturverläufe sowie Niederschlagsverteilung im Versuchszeitraum am Standort Caßlau

### 3.2 Versuchsaufbau

An den Standorten Struppen und Caßlau (Tab. 1) wurden im August 2019 und 2020 Reisaaten des Rotklee (*Trifolium pratense* L.), des Spitzwegerichs (*Plantago lanceolata* L.) sowie des Welschen Weidelgrases (*Lolium multiflorum* var. *westerwoldicum* L.) und unterschiedlich zusammengesetzte Gemenge aus Spitzwegerich mit Rotklee sowie Welschem Weidelgras mit Rotklee in einer Verdrängungsserie nach de Wit (1966) mit 4 Feldwiederholung als randomisierte Blockanlage etabliert. Die Saatstärken der Reisaatstärken und die relativen Saatstärken der Gemenge sind in Tab. 6 zusammengestellt.

Im August 2019 und 2020 wurden neun Gemenge aus Spitzwegerich mit Rotklee, Welschem Weidelgras mit Rotklee und die jeweiligen Reisaaten nach Getreidevorfrucht ausgesät (siehe Termine in Tab. 7). Die Vorbereitung des Saatbettes erfolgte durch ein ca. 25 cm tiefes Pflügen, den Einsatz einer Kreiselegge (ca. 5 cm Arbeitstiefe). Direkt vor der Saat wurde eine Rückverfestigung des Bodens mit einer Sternwalze im Frontanbau des Schleppers durchgeführt. Das Saatgut wurde mit einer Parzellendrillmaschine "Hege 80" auf einer Tiefe von ca. 1 cm mit einer Saatstärke von 300 Körner/m<sup>2</sup> (in Rein- und Gemengesaat). Es wurden die Sorten Taifun für Rotklee, Mustala für Welsches Weidelgras und Libor für Spitzwegerich an beiden Standorten und in beiden Jahren ausgesät.

Tab. 6: Geprüfte Pflanzenbestände mit entsprechenden Saatanteilen (in % der Reinsaatstärke) der Gemengepartner (Reinsaatstärke der Pflanzenarten: jeweils 300 keimfähige Körner/m<sup>2</sup>)

Prüfglied	Anteil Rotklee (R)	Anteil Welsches Weidelgras (W)	Anteil Spitzwegerich (S)
<b>W100</b>	0	100	0
<b>R33/W67</b>	33	67	0
<b>R50/W50</b>	50	50	0
<b>R67/W33</b>	66	33	0
<b>R100</b>	100	0	0
<b>R67/S33</b>	66	0	33
<b>R50/S50</b>	50	0	50
<b>R33/S75</b>	33	0	67
<b>S100</b>	0	0	100

Im Jahr 2019 gab es am Standort Struppen kurz nach der Aussaat einen Starkregen, wodurch Teile des Oberbodens erodiert wurden mit der Folge eines verringerten Feldaufganges. Deshalb wurde eine Nachsaat mit gleicher Saatstärke am 28.09.2019 durchgeführt. Im Jahr nach der Aussaat wurden die Schnittguterträge der Bestände erfasst. Hierzu wurden in jeder Parzelle Kleinteilflächen mit einer Größe von 1 m<sup>2</sup> von Hand unter zur Hilfenahme von Hand- bzw. elektrisch angetriebener Heckenscheren beprobt. Im Anschluss wurden die Schnittgutproben in die Bestandteile Unkräuter, Rotklee, Welsches Weidelgras bzw. Spitzwegerich im Feldlabor von Hand separiert. Zusätzlich wurde eine Kernparzellenernte auf einer Fläche von 8 m<sup>2</sup> mit einem Balkenmäher durchgeführt, um für die Ermittlung der Gesamterträge an Schnittgut eine repräsentative Fläche beprobt zu haben. Die Schnitthöhe betrug jeweils ca. 5 bis 7 cm über der Bodenoberfläche. Nach Wägung der Gesamtmasse der Proben bzw. Teilprobe wurden die Proben mit einem Probenhäcksler auf 1 bis 2 cm Länge zerkleinert, anschließend das jeweilige Probenmaterial von Hand gemischt und eine repräsentative Teilprobe von 100 bis 150 g Frischmasse für eine Trocknung bei 105°C (zur Trockenmassebestimmung) bzw. 55°C (zur C- und N-Analyse) in Trockenschränken bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und rückgewogen. In der Versuchsserie I mit Start im Jahr 2019 wurden drei Schnitte in 2020 durchgeführt, während die Versuchsserie II mit Start im Jahr 2020 aufgrund Anpassung an die höheren Niederschläge vier Schnitte im Jahr 2021 durchgeführt. Die Bearbeitungstermine sind in den Tab. 7 und Tab. 8 aufgeführt.

Anfang Oktober 2020 bzw. Anfang Oktober 2021 wurden die Parzellen geteilt: Auf einer Hälfte wurde das Schnittgut wie zu allen vorangegangenen Schnittterminen abgefahren (Variante Ernte), auf der anderen Hälfte wurde der letzte Aufwuchs als Mulchmaterial auf den Parzellen belassen werden (Variante Mulch). Durch den Vergleich der N-Mineralisation im Boden der Varianten Ernte und Mulch sollte unter Feldbedingungen geprüft werden, ob eine hinreichend große und über Winter anhaltende nitrifikationshemmende Wirkung des Spitzwegerichs alleinig durch die Einarbeitung dessen Stoppel- und Wurzelrückstände erzielt werden kann oder es zusätzlich der Einarbeitung der Spitzwegerichblattmasse des letzten Aufwuchses bedurfte, um den Nitratvorrat im Boden über Winter auf einem sehr geringen Niveau halten zu können. Durch die Teilung der Großparzellen zum letzten Schnitttermin verdoppelte sich die Anzahl Parzellen je Standort auf 72. Nach Einarbeitung der Ernterückstände mit einem flach in den Boden greifenden Mulcher und anschließendem Pflugeinsatz (2020) bzw. Scheibenegge (5 cm tief, 2021) und Pflug (max. 25 cm) wurde auf allen Parzellen Winterweizen als Folgefrucht angebaut. Erfasst wurde der Vorrat an Ammonium- und Nitratstickstoffvorrat im Boden unter Winterweizen im Abstand von ca. 2, 4, 8 und 12 Wochen nach der Aussaat sowie zu Vegetationsbeginn, im Schossen und zur Druschreife des Weizens. Hierdurch sollte im Feld der Grad und die Dauer der nitrifikationshemmenden Wirkung des Spitzwegerichs im Boden im Vergleich zum Welschen Weidelgras und Rotklee erfasst werden sowie durch die Erfassung des Nitratvorrates im Unterboden (30 bis 120 cm Tiefe) zugleich die Gefahr des Nitrataustrages quantifiziert werden. Unter Nutzung des Bodenwasserhaushaltsmodells METVER des Deutschen Wetterdienstes und in Kooperation mit dem Deutschen Wetterdienst wurde die Sickerwasserbildung berechnet und die Nitratausträge quantifiziert. Zu Vegetationsbeginn, zum Schossen und zur physiologischen Reife des Weizens wurde durch Ertragserfassung auf Kleinteilflächen die N-Aufnahme des Winterweizens bestimmt. Zusätzlich wurde in den Kernparzellen des Weizens der Kornertrag mit einem Parzellenmähdescher zur Totreife des Weizens ermittelt.

Tab. 7: Termine der Maßnahmen zur Bewirtschaftung der Versuchsanlagen sowie Probenahmen der Versuchsanlage I (2019 bis 2021)

<b>Maßnahme</b>	<b>Struppen</b>	<b>Caßlau</b>	<b>Erläuterungen</b>
Pflügen	16.08.2019	15.08.2019	25 cm
Nmin-Probenahme	16.08.2019	17.08.2019	0 bis 120 cm
Saatbettbereitung	17.08.2019	17.08.2019	Kreiselege und Walze
Aussaat	18.08.2019	17.08.2019	Hege 80
Nachsaat	28.09.2019	-	Hege 80
Nmin-Probenahme	14.12.2019	21.12.2019	0 bis 120 cm
<sup>15</sup> N-Applikation	18.03.2020	15.03.2020	
Nmin-Probenahme	22.04.2020	21.04.2020	0 bis 120 cm
<b>1. Schnitt</b>			
Ernte Kleinteilfläche	26.05.2020	01.06.2020	
Ernte Kernparzelle	27.05.2020	03.06.2020	
Ernte Versuchsfläche	27.05.2020	03.06.2020	
Nmin-Probenahme	08.06.2020	04.06.2020	0 bis 30 cm
<b>2. Schnitt</b>			
Ernte Kleinteilfläche	05.08.2020	06.08.2020	
Ernte Kernparzelle	05.08.2020	06.08.2020	
Ernte Versuchsfläche	11.08.2020	07.08.2020	
Nmin-Probenahme	19.08.2020	13.08.2020	0 bis 30 cm
<b>3. Ernte</b>			
Ernte Kleinteilfläche	15.10.2020	08.10.2020	
Ernte Kernparzelle	16.10.2020	08.10.2020	
Ernte Versuchsfläche	16.10.2020	08.10.2020	
Nmin-Probenahme	28.10.2020	23.10.2020	0 bis 120 cm
<b>Winterweizen</b>			
Pflügen	05.11.2020	24.10.2020	
Saatbettbereitung	07.11.2020	25.10.2020	
Aussaat	07.11.2020	26.10.2020	
Nmin-Probenahme	24.11.2020	11.11.2020	ca. 2 Wochen n.A., 0 bis 120 cm
Nmin-Probenahme	08.12.2020	26.11.2020	ca. 4 Wochen n.A., 0 bis 120 cm
Nmin-Probenahme	11.01.2021	21.12.2020	ca. 8 Wochen n.A., 0 bis 120 cm
Nmin-Probenahme	02.03.2021	23.02.2020	ca. 12 Wochen n.A., 0 bis 120 cm
Nmin-Probenahme	07.04.2021	01.04.2021	Wachstumsbeginn, 0 bis 120 cm
<b>Ernte zur Bestockung</b>			
Ernte Kleinteilfläche	06.05.2021	04.05.2021	Bestockung
<b>Ernte zum Schossen</b>			
Nmin-Probenahme	07.06.2021	08.06.2021	0 bis 120 cm
<b>Ernte zur Druschreife</b>			
Ernte Kleinteilfläche	13.08.2021	15.08.2021	
Ernte Kernparzelle	13.08.2021	15.08.2021	Parzellenmähdrescher
Nmin-Probenahme	30.08.2021	06.09.2021	nach Ernte

n.A.: nach Aussaat

Tab. 8: Termine der Maßnahmen zur Bewirtschaftung der Versuchsanlagen sowie Probenahmen der Versuchsanlage II (2020 bis 2022)

Maßnahme	Struppen	Caßlau	Erläuterungen
<b>Feldfutterbestände</b>			
Pflügen	07.08.2020	09.08.2020	25 cm
Nmin-Probenahme	07.08.2020	09.08.2020	0 bis 120 cm
Saatbettbereitung	07.08.2020	09.08.2020	Kreiselegge und Walze
Aussaat	07.08.2020	09.08.2020	Hege 80
Nmin-Probenahme	15.12.2020	12.11.2020	0 bis 120 cm
<sup>15</sup> N-Applikation	09.03.2021	09.03.2021	
Nmin-Probenahme	19.04.2021	21.04.2021	0 bis 120 cm
<b>1. Schnitt</b>			
Ernte Kleinteilfläche	02.06.2021	30.05.2021	
Ernte Kernparzelle	02.06.2021	30.05.2021	
Nmin-Probenahme	05.06.2021	05.06.2021	0 bis 30 cm
<b>2. Schnitt</b>			
Ernte Kleinparzelle	08.07.2021	06.07.2021	
Ernte Großparzelle	08.07.2021	06.07.2021	
Nmin-Probenahme	09.07.2021	09.07.2021	0 bis 30 cm
<b>3. Schnitt</b>			
Ernte Kleinteilfläche	19.08.2021	17.08.2021	
Ernte Kernparzelle	19.08.2021	17.08.2021	
<b>4. Schnitt</b>			
Ernte Kleinteilfläche	11.10.2021	05.10.2021	
Ernte Kernparzelle	11.10.2021	07.10.2021	
Nmin-Probenahme	22.10.2021	21.10.2021	0 bis 120 cm
<b>Winterweizen</b>			
Pflügen	26.10.2021	29.10.2021	
Saatbettbereitung	26.10.2021	30.10.2021	
Aussaat	27.10.2021	31.10.2021	
Nmin-Probenahme	09.11.2021	16.11.2021	ca. 2 Wochen n.A., 0 bis 120 cm
Nmin-Probenahme	23.11.2021	30.11.2021	ca. 4 Wochen n.A., 0 bis 120 cm
Nmin-Probenahme	20.12.2021	05.01.2022	ca. 8 Wochen n.A., 0 bis 120 cm
Nmin-Probenahme	15.02.2022	16.02.2022	ca. 12 Wochen n.A., 0 bis 120 cm
Nmin-Probenahme	20.04.2022	25.04.2022	Wachstumsbeginn, 0 bis 120 cm
<b>Ernte zur Bestockung</b>			
Ernte Kleinteilfläche	29.04.2022	02.05.2022	Bestockung
<b>Ernte zum Schossen</b>			
Ernte Kleinteilfläche	04.06.2022	01.06.2022	
Nmin-Probenahme	07.06.2022	02.06.2022	0 bis 120 cm
<b>Ernte zur Druschreife</b>			
Ernte Kleinteilfläche	25.07.2022	18.07.2022	
Ernte Kernparzelle	29.07.2022	22.07.2022	Parzellenmähdrescher
Nmin-Probenahme	02.08.2022	14.08.2022	nach Ernte, 0 bis 120 cm

n.A.: nach Aussaat

### 3.3 Schätzung der symbiotisch fixierten N-Menge

Im gewonnenen Schnittgut der Kleinteilflächen wurden getrennt nach den drei Pflanzenarten Rotklee, Welsches Weidelgras und Spitzwegerich die N-Gehalte und das <sup>15</sup>N/<sup>14</sup>N-Isotopenverhältnis bestimmt und daraus der boden- bzw. luftbürtige Anteil an Stickstoff im Schnittgut der Bestandekomponenten quantifiziert. Zuvor waren jeweils im Frühjahr mittels einer Spurenanreicherung (umgerechnet 75,6 g N je Hektar als 10 atom% <sup>15</sup>N KNO<sub>3</sub>) mit <sup>15</sup>N-markiertem Mineralstickstoff schwach angereichert (nach Reiter et al. 2001). Die <sup>15</sup>N-Markierung erfolgte dabei nur in einer von vier Drillspuren einer Parzelle auf 6m<sup>2</sup>. Zusätzlich wurde der N-Gehalt in den drei Bestandekomponenten sowie in den Unkräutern mittels Elementaranalyse bestimmt. Mittels der ermittelten Schnittgutrockenmasseerträge wurde anschließend die N-Menge berechnet, die aus boden- bzw. luftbürtiger Quelle von den Pflanzen aufgenommen und

sich im Schnittgut befand analog der Vorgehensweise, die in Reiter et al. (2002) detailliert beschrieben ist. Über dieses Verfahren konnten an beiden Standorten und zu allen Schnittterminen die N-Mengen im Schnittgut getrennt nach Bestandekomponenten sowie boden- und luftbürtiger Quelle bestimmt werden.

### **3.4 Labor-Bebrütungsversuche**

Anfang Oktober 2020 bzw. Anfang Oktober 2021 wurden aus 0 bis 20 cm Bodentiefe Bodenproben entnommen und die N-Mineralisation im Boden ohne und mit Zufuhr von zerkleinerter Spross- bzw. Wurzelbestandteile der im Feld beprobten Reinsaat der Pflanzenbestände unter kontrollierten Bedingungen (80 % nutzbarer Wasserkapazität des Bodens) bei 20 °C im Laborbebrütungsversuch über 0, 7, 14, 28, 56 und 112 Tage bebrütet. Anschließend wurde der Gehalt an Ammonium- und der Nitratstickstoff im Boden ermittelt. Ziel der Untersuchungen war es zu klären, inwieweit die während des Wachstums des Spitzwegerichs in den Boden abgegebenen Stoffe eine die Nitrifikation hemmende Wirkung entfaltet haben und ob durch die Zugabe von Ernteresten des Spitzwegerichs in den Boden die Wirkungen erhöht werden konnten. Analog wurde dieses auch für das Welsche Weidelgras und den Rotklee geprüft werden, wobei für alle drei Pflanzenarten drei Stufen der entsprechenden Biomassezugabe sowie in drei Kombinationsstufen aus Spitzwegerich bzw. Welschem Weidelgras mit Rotklee geprüft wurden. In der Biomasse des Spitzwegerichs wurde zuvor der Gehalt an Aucubin, für die Nitrifikationshemmung ursächliche Substanz, ermittelt (Methodik: siehe Dietz et al. 2013). Die Zugabe an pflanzlicher Biomasse zum Boden wurde auf der Basis gleicher N-Mengen durchgeführt, so dass zuvor in der pflanzlichen Biomasse der N- und C-Gehalt bestimmt wurde.

Durch die Laborbebrütungsversuche sollten insbesondere nachstehende Hypothesen im AP 2 bearbeitet werden:

1. Während mit Zunahme des Ertrages an Welschem Weidelgras im Gemenge mit Rotklee keine nitrifikationshemmende Wirkung im Boden zu verzeichnen ist, steigt diese mit Zunahme des Spitzwegerichertrages im Pflanzenbestand signifikant an.
2. Die nitrifikationshemmende Wirkung des Spitzwegerichs im Boden ist im Sandboden deutlich größer als im lehmigen Boden.
3. Eine durch Zugabe von Rotkleebiomasse im Boden induzierte erhöhte Freisetzung von Nitrat im Boden wird durch Zugabe von Spitzwegerichbiomasse überproportional gesenkt.
4. Mit Steigerung der Zufuhr von Spitzwegerichbiomasse zum Boden hält die nitrifikationshemmende Wirkung länger im Boden an.

Es wurden insgesamt 3 Versuchsserien zur Bebrütung im Labor durchgeführt, deren Durchführung im Weiteren beschrieben ist.

#### **3.4.1 Versuchsserie 1 (2020)**

Nach dem dritten Schnitt wurden an beiden Versuchsstandorten aus den Parzellen der Reinsaat mit Hilfe eines Bohrstockes (Innendurchmesser: 2,5 cm, 10 Einstiche je Parzelle) Boden entnommen, das entnommene Bodenmaterial gut durchmischt und der Restfeuchtegehalt der Bodenprobe durch Trocknung einer Teilprobe bis zur Gewichtskonstanz bei 105°C getrocknet. Die Proben wurden nach der Entnahme bei +2°C im Kühlraum kühl gelagert. Entsprechend 20 g Bodentrockenmasse wurden in 50 ml Kautex-Fläschchen eingewogen und auf 80% Wasserkapazität durch Zugabe von destilliertem Wasser aufgesättigt. Es wurden jeweils 5 Wiederholungen je Probenahmetermin und Variante angelegt und 0, 7, 14, 28, 56 bzw. 112 Tage bei 20°C in einer Klimakammer bebrütet. Zwischenzeitlich wurden nachwägung der Proben mit den Gefäßen Wasserverluste während der Bebrütung durch Zugabe von entsprechenden Mengen an destilliertem Wasser ausgeglichen, so dass die Bebrütung kontinuierlich bei 80% der maximalen Wasserkapazität des Bodens erfolgte. Die entnommenen Proben wurden direkt nach der Entnahme aus der Klimakammer bei -18°C tiefgefroren gelagert und anschließend zur Extraktion der Nitrat- und Ammoniummengen mit 100 ml 0.01 M CaCl<sub>2</sub> versetzt und über die Dauer einer Stunde im Überkopfschüttler geschüttelt. Die Extraktionslösungen wurden nach Filtration über Faltenfilter gewonnen und anschließend auf den Gehalt an Nitrat- und Ammoniumstickstoff untersucht.

#### **3.4.2 Versuchsserie 2 (2020)**

In der Versuchsserie 2 wurde in Anlehnung zur Vorgehensweise in der Versuchsserie 1 methodisch vorgegangen. Zur Prüfung des Mineralisationsverhaltens der unterschiedlichen Pflanzenmaterialien aus

Spross- und Wurzelmasse wurde feldfrisches Pflanzenmaterial in unterschiedlicher Menge einem Kontrollboden zugegeben. Der Kontrollboden entstammte der Probenahme aus 0 bis 20 cm Tiefe im Oktober 2020 aus den Parzellen, die mit Rotklee in Reinsaat am Standort Struppen bewachsen waren. Geprüft wurde die Zugabe von Spross- bzw. Wurzelmasse des Rotklees, des Welschen Weidelgrases und Spitzwegerichs, die aus den entsprechenden Reinsaatbeständen am Standort Struppen im Oktober 2020 entnommen wurden. Die feldfrische Pflanzenmasse wurde bis zum Ansatz des Mineralisationsversuches bei 2°C in einer Kühlkammer zwischengelagert, eine Teilprobe auf 55°C getrocknet und feinvermahlen (< 0,2 mm) und an einem Elementaranalysator der C- und N-Gehalt der Pflanzenmasse bestimmt. Mit Kenntnis des N- und C-Gehaltes sowie des TM-Anteil in der Biomasse der Pflanzen wurden unterschiedlich hohe N-Mengen über das Pflanzenmaterial dem Boden (20 g TM/Gefäß) zugegeben (Angaben in mg N): 0,0; 2,5; 5,0; 7,5; 10,0 und 15,0. Zusätzlich wurde geprüft, wie sich eine Mischung zu je 50% Zugabe der gesamten N-Zugabe je Gefäß aus Rotklee und Spitzwegerich verhielt. Die Pflanzenmischungen wurden in den Stufen 5, 10 und 15 mg N/Gefäß Gesamtzugabe aus beiden Pflanzen geprüft. Die Prüfung fand analog zu Versuchsserie I bei 20°C und bei einer Bodenfeuchte von 80% Wasserkapazität des Bodens statt. Bebrütet wurde über folgende Zeiträume: 0, 7, 14, 28, 56 und 112 Tage. In einem Rhythmus von 14 Tagen wurde verdunstetes Wasser aus den Gefäßen mit einer Zugabe von destilliertem Wasser ausgeglichen. Der Versuch wurde mit 5 Wiederholungen je Variante und Beprobungstermin durchgeführt. Als Kontrolle wurde der Kontrollboden ohne Zugabe von Pflanzenmaterial genutzt.

Die im Inkubationsversuch eingesetzten pflanzlichen Materialien waren durch die in Tab. 9 verzeichneten N- und C-Gehalte charakterisiert. Spross und Wurzelmasse des Rotklees wiesen einen deutlich höheren N-Gehalt und engeres C/N-Verhältnis auf als die Nichtleguminosen Welsches Weidelgras und Spitzwegerich. Zugleich unterschieden sich die Werte in der Sprossmasse von Welschem Weidelgras und Spitzwegerich nur geringfügig. Die Wurzelmasse des Spitzwegerichs war hingegen deutlich ärmer an Stickstoff und wies zugleich ein deutlich weiteres C/N-Verhältnis als die des Welschen Weidelgrases auf (Tab. 9).

Tab. 9: N- und C-Gehalt sowie C/N-Verhältnis sowie Anteil Trockenmasse (TM) der für die Inkubationsversuch der Versuchsserie 2 eingesetzten pflanzlichen Materialien (Angaben in % der TM)

		<b>TM</b>	<b>C</b>	<b>N</b>	<b>C/N</b>
<b>Rotklee</b>	Spross	12.6	43.66	3.15	13.86
<b>Welsches Weidelgras</b>	Spross	26.9	40.69	1.65	24.63
<b>Spitzwegerich</b>	Spross	15.9	42.29	1.77	23.96
<b>Rotklee</b>	Wurzel	30.2	42.48	1.95	21.75
<b>Welsches Weidelgras</b>	Wurzel	21.1	39.72	0.78	51.10
<b>Spitzwegerich</b>	Wurzel	20.4	43.99	0.33	135.36

### 3.4.3 Versuchsserie 3 (2021)

Die Versuchsserie 2 wurde im Jahr 2021 nochmals wiederholt, allerdings um die Variante einer Mischung (50%/50%) aus Welschem Weidelgras und Rotklee ergänzt. Die methodische Vorgehensweise in der Versuchsserie 3 entsprach der der Versuchsserie 2 (2020). Die im Inkubationsversuch 3 eingesetzten pflanzlichen Materialien waren, wie in Tab. 10 wiedergegeben, zusammengesetzt.

Die im Inkubationsversuch 3 zugeführte Sprossmasse des Rotklees wies analog zum Versuch 2 einen deutlich höheren N-Gehalt und engeres C/N-Verhältnis auf als die Nichtleguminosen Welsches Weidelgras und Spitzwegerich (Tab. 10). Gleichzeitig war im Rotklee ein um 2 bis 3 Prozentpunkte höherer C-Gehalt zu verzeichnen. Die Werte in der Sprossmasse von Welschem Weidelgras und Spitzwegerich unterschieden sich hingegen im Inkubationsversuch 3 leicht: Die eingesetzte Sprossmasse des Spitzwegerichs wies ein um 4 Einheiten geringeres C/N-Verhältnis und um 0,4 Prozentpunkte höheren N-Gehalt auf.

Tab. 10: N- und C-Gehalt sowie C/N-Verhältnis sowie Anteil Trockenmasse (TM) der für die Inkubationsversuch der Versuchsserie 3 eingesetzten pflanzlichen Materialien (Angaben in % der TM)

		<b>TM</b>	<b>C</b>	<b>N</b>	<b>C/N</b>
<b>Rotklee</b>	Spross	14.8	41.87	3.86	10.84
<b>Welsches Weidelgras</b>	Spross	23.8	39.44	1.83	21.60
<b>Spitzwegerich</b>	Spross	15.9	38.85	2.21	17.57

## 4. Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse

### 4.1 Schnittguterträge 2020

#### 4.1.1 Standort Struppen

Die Abbildungen zu den Ergebnissen des Feldversuches sind zum besseren Verständnis der Zusammenhänge stets mit der Darstellung der Werte des Rotkleees in Reinsaat (R 100) in der Mitte, links davon stehend mit zunehmenden Saatanteilen des Welschen Weidelgrases die Rotklee-Grasgemenge (R75/W25, R50/W50 und R25/W25), rechts davon stehend jeweils die entsprechenden Gemenge mit dem Spitzwegerich (R75/S25, R50/S50, R25/S75) dargestellt. Jeweils ganz links (W100) und rechts (S100) angeordnet finden sich die Ergebnisse der jeweiligen Reinsaaten des Welschen Weidelgrases bzw. des Spitzwegerichs.

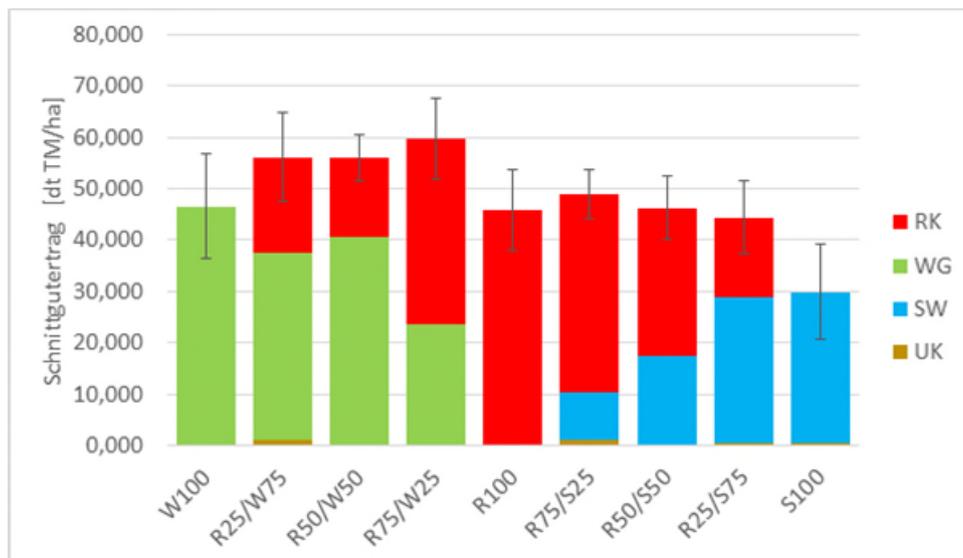


Abb. 3: Schnittgutertrag der Komponenten der Futterbestände zum ersten Schnitt am 26.05.2020 Standort Struppen (Summe der Erträge der Bestandeskomponenten  $\pm$  Standardabweichung, RK = Rotklee, SW= Spitzwegerich, WG = Welsches Weidelgras, UK = Unkräuter)

Erfasst wurden die Schnittguterträge am Standort Struppen im Jahr 2020 zu drei Schnittterminen (Abb. 3 bis 5) sowie in der Summe von drei Schnitten als Jahresschnittgutertrag (Abb. 6). Die Bestände waren nahezu frei von Unkräutern, so dass die erfassten Wirkungen hinsichtlich der Ertragsleistung der Bestände auf die angesäten Arten zurückzuführen sind. Der Jahresschnittgutertrag der Bestände aus Rotklee in Reinsaat sowie den Gemengen mit mit Welschem Weidelgras und Spitzwegerich unterschied sich mit Werten zwischen 94,1 (R50/W50) und 112,2 dt TM/ha (R75/W25) nicht signifikant voneinander, war allerdings jeweils signifikant verschieden vom Ertrag der Reinsaat des Welschen Weidelgrases (69,3 dt TM/ha) und des Spitzwegerichs (68,2 dt TM/ha, Abb. 6). Während zum ersten Schnitt das Welsche Weidelgras sich sowohl in Reinsaat als auch im Gemenge mit Rotklee als ertrags- und konkurrenzstärker gegenüber dem Rotklee als der Spitzwegerich erwies (Abb. 3), dominierte im Sommer 2020 zum zweiten Schnitttermin der Spitzwegerich entsprechend mit deutlich höheren Leistungen als das Welsche Weidelgras (Abb. 4). So bildete der Spitzwegerich in Reinsaat mit 28,0 dt TM/ha einen dreifach höheren Ertrag als das Welsche Weidelgras in Reinsaat (9,5 dt TM/ha, signifikant verschieden). Im Herbst 2020 lag der Ertragszuwachs bei Spitzwegerich und Welschem Weidelgras sowohl in Rein- wie auch Gemengesaat ähnlich hoch und zwischen den Arten und war nicht signifikant verschieden (Abb. 5).

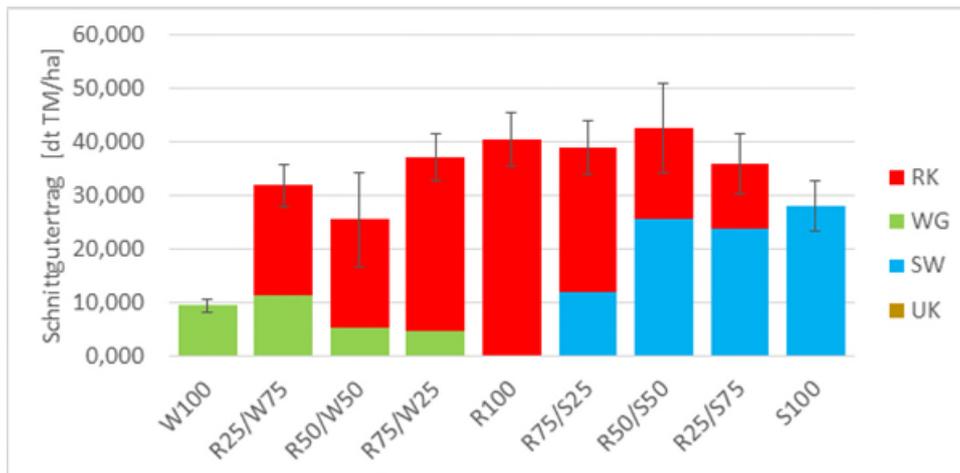


Abb. 4: Schnittgutertrag der Komponenten der Futterbestände zum zweiten Schnitt am 05.08.2020 Standort Struppen (Summe der Erträge der Bestandekomponenten  $\pm$  Standardabweichung, RK = Rotklee, SW= Spitzwegerich, WG = Welsches Weidelgras, UK = Unkräuter)

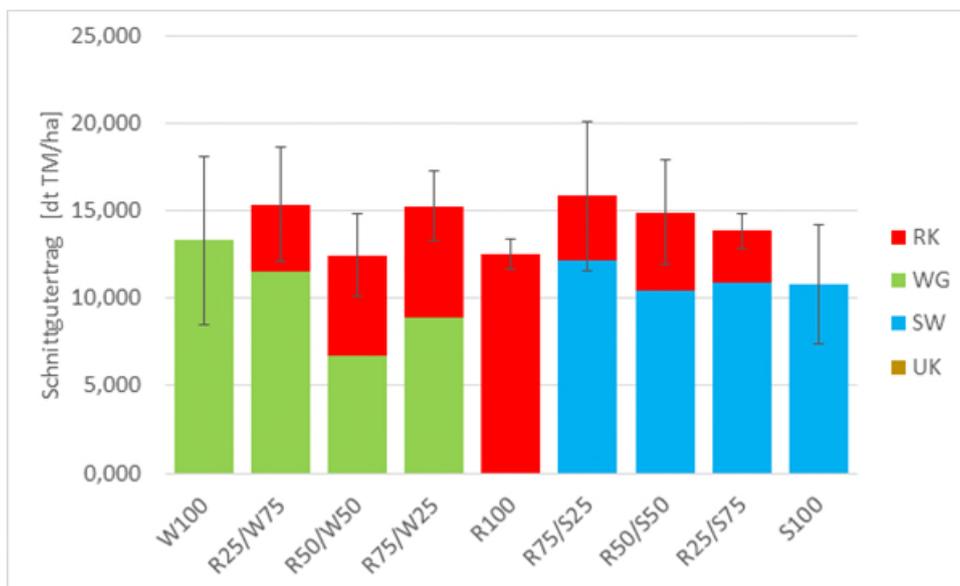


Abb. 5: Schnittgutertrag der Komponenten der Futterbestände zum dritten Schnitt am 15.10.2020 Standort Struppen (Summe der Erträge der Bestandekomponenten  $\pm$  Standardabweichung, RK = Rotklee, SW= Spitzwegerich, WG = Welsches Weidelgras, UK = Unkräuter)

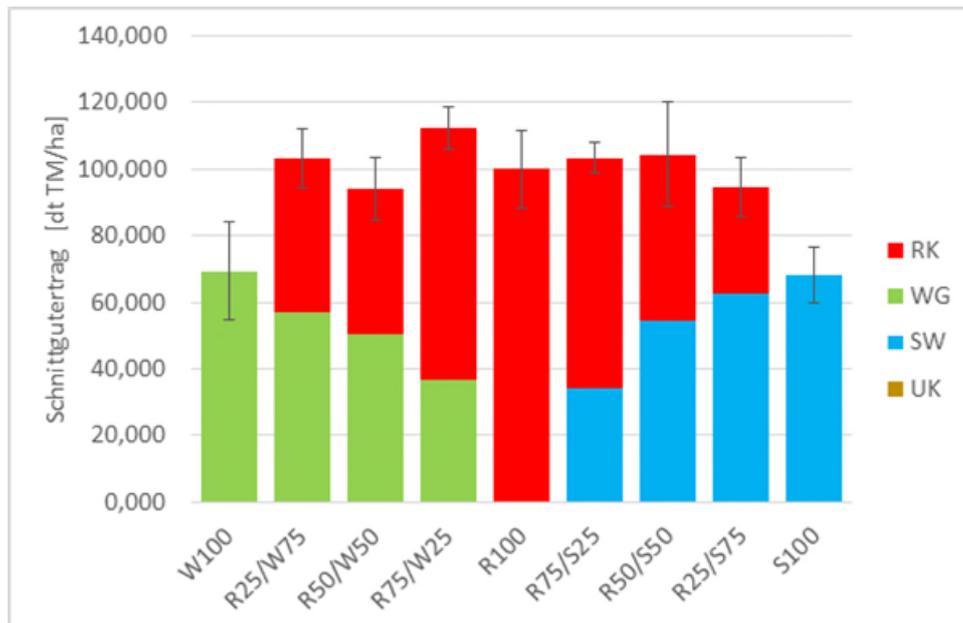


Abb. 6: Jahresschnittgutertrag der Komponenten der Futterbestände im Jahr 2020 Standort Struppen (Summe der Erträge der Bestandekomponenten  $\pm$  Standardabweichung, RK = Rotklee, SW= Spitzwegerich, WG = Welsches Weidelgras, UK = Unkräuter)

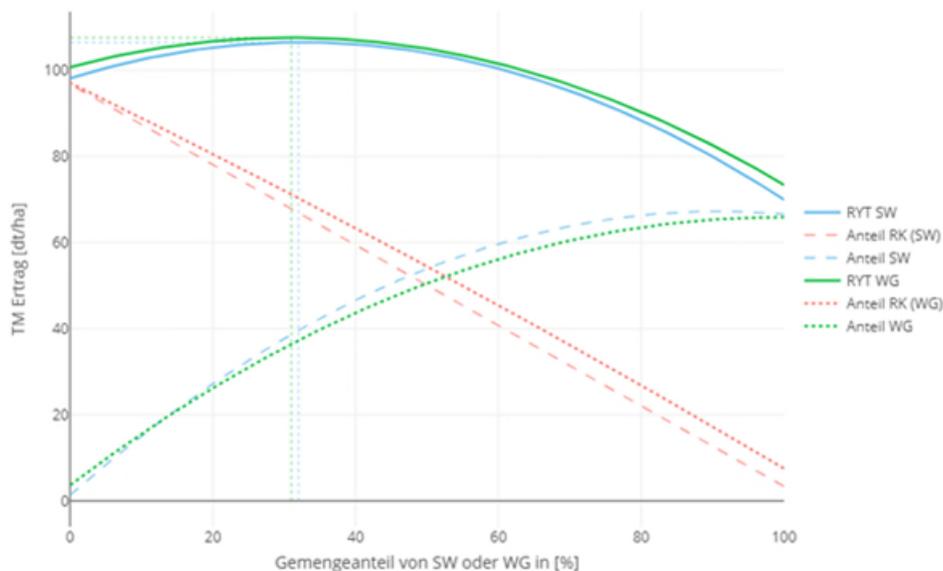


Abb. 7: Kalkulation des relativen Gesamtertrages an Jahresschnittgutertrag als Funktion des Saatanteils Spitzwegerichs (SW) bzw. Welschen Weidelgrases (WG) im Gemenge mit Rotklee (RK; berechnet nach deWit 1966) am Standort Struppen 2020

Der Spitzwegerich konnte im Hinblick auf den Jahresschnittgutertrag eine leicht höhere Konkurrenzkraft im Vergleich zum Welschen Weidelgras gegenüber dem Rotklee entfalten (Abb. 7). Ansaaten mit einem höheren relativen Anteil Rotklee im Gemenge spiegelten sich im Jahr 2020 auch in höheren Rotkleeanteilen und Rotkleeerträgen im Jahresschnittgutertrag wider. Die höchsten Gesamterträge an Schnittgut ließen sich im Jahr 2020 am Standort Struppen jeweils durch Gemengeanbau erzielen mit einem rechnerisch relativen Saatanteil von Welschem Weidelgras in Höhe von 32%, bei Spitzwegerich von 31% im Gemenge mit Rotklee erzielen (Abb. 7).

#### 4.2.2 Standort Caßlau 2020

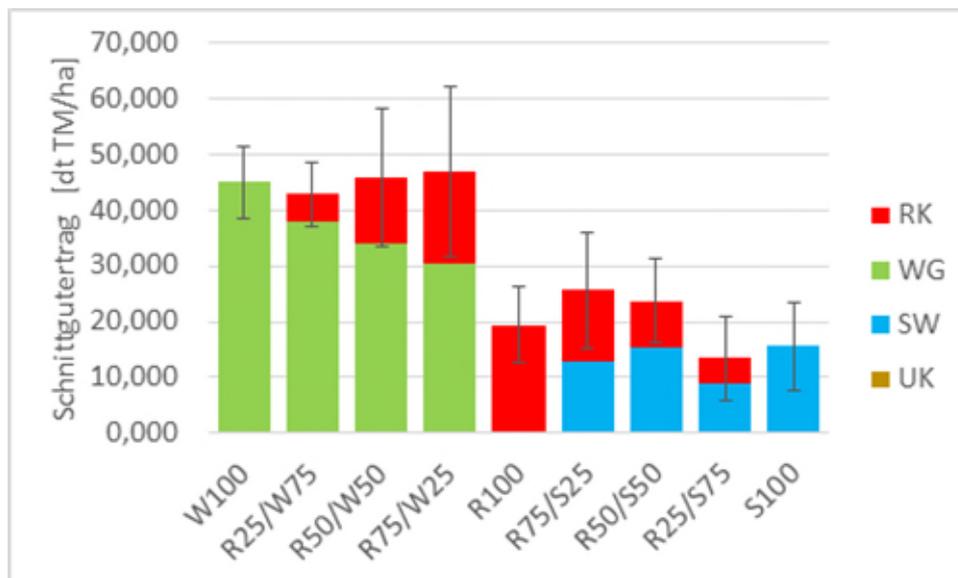


Abb. 8: Schnittgutertrag der Komponenten der Futterbestände zum ersten Schnitt am 01.06.2020 Standort Caßlau (Summe der Erträge der Bestandekomponenten  $\pm$  Standardabweichung, RK = Rotklee, SW= Spitzwegerich, WG = Welsches Weidelgras, UK = Unkräuter)

Am Standort Caßlau herrschten vor allem im Sommer sehr trocken-heiße Bedingungen vor, die die Ertragsbildung des Spitzwegerichs in Reinsaat und dessen Gemenge mit Rotklee sehr nachteilig beeinflussen (Abb. 8 und Abb. 9 sowie Abb. 11 und Abb. 12). Mit 23,0 dt TM/ha (R25/S75), 32,5 dt TM/ha (S100) und 37,1 dt TM/ha (R50/S50) waren in den durch Spitzwegerich dominierten Bestände signifikant geringere Jahresschnittguterträge erreicht worden als in allen Gemengen aus Rotklee und Welschem Weidelgras (R50/W50: 58,3 dt TM/ha bis 59,9 dt TM/ha in R75/W25, Abb. 12). Spitzwegerich erwies sich vor allem zum ersten Schnitttermin (Abb. 8) ertraglich unterlegen gegenüber dem Welschem Weidelgras. In Reinsaat war dieses jeweils zu allen Schnitterminen gegenüber der Reinsaat Welsches Weidelgras gegeben. Zum zweiten Schnitttermin wurde in allen Beständen nur geringe Erträge erreicht (Abb. 9). Es bot sich ein ausgeprägtes Bild der Trockenheit (Abb. 10) mit Wasserstress bei allen Pflanzenbeständen. Mit Einsetzen der Niederschläge konnte hingegen der Spitzwegerich im Gemenge mit Rotklee ähnlich hohe Schnittguterträge realisieren wie das Welsche Weidelgras (Abb. 11).

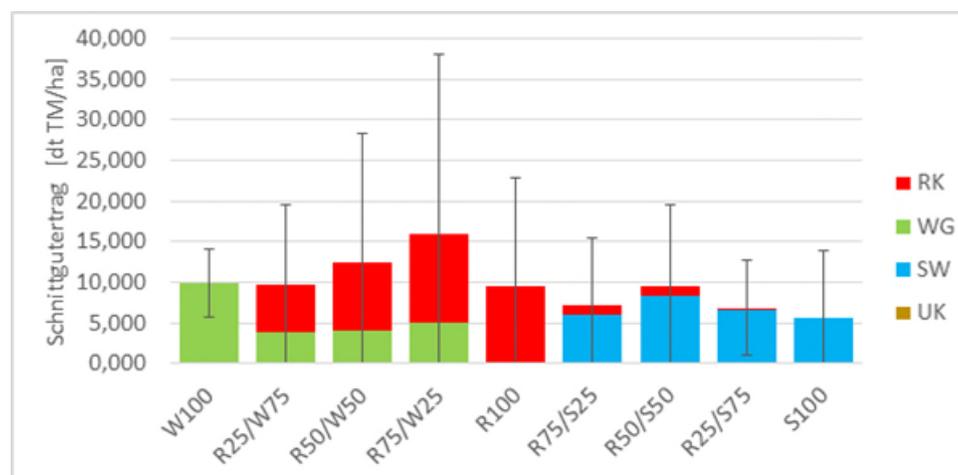


Abb. 9: Schnittgutertrag der Komponenten der Futterbestände zum zweiten Schnitt am 06.08.2020 Standort Caßlau (Summe der Erträge der Bestandekomponenten  $\pm$  Standardabweichung, RK = Rotklee, SW= Spitzwegerich, WG = Welsches Weidelgras, UK = Unkräuter)



Abb. 10: Pflanzenbestände direkt vor dem 2. Schnitttermin am Standort Caßlau am 05. August 2020

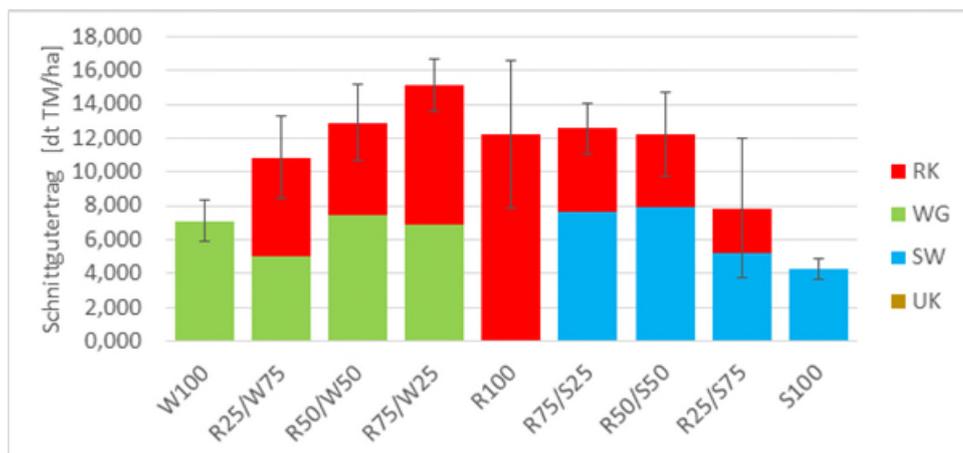


Abb. 11: Schnittgutertrag der Komponenten der Futterbestände zum dritten Schnitt am 08.10.2020 Standort Caßlau (Summe der Erträge der Bestandeskomponenten  $\pm$  Standardabweichung, RK = Rotklee, SW= Spitzwegerich, WG = Welsches Weidelgras, UK = Unkräuter)

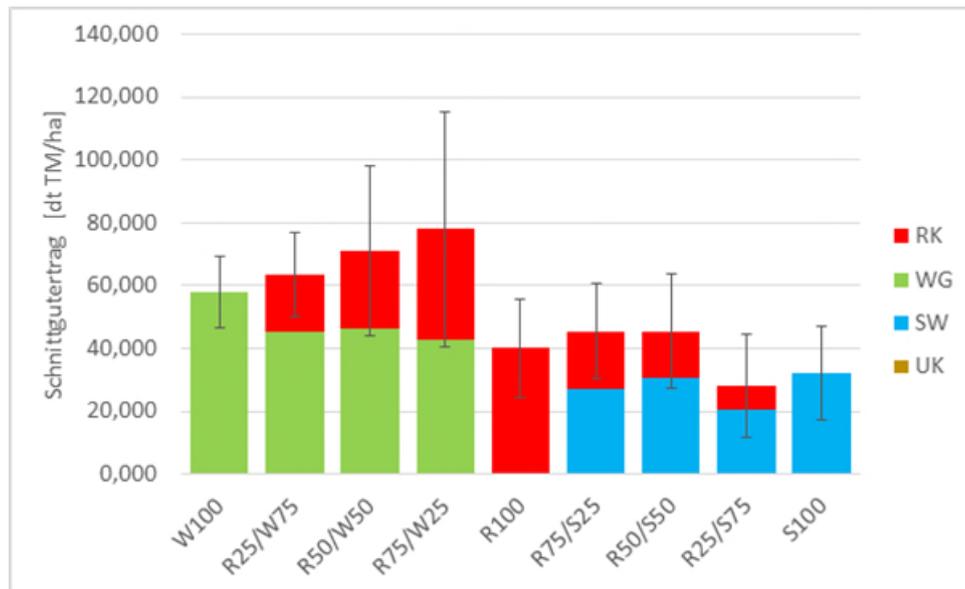


Abb. 12: Jahresschnittgutertrag der Komponenten der Futterbestände im Jahr 2020 am Standort Caßlau (Summe der Erträge der Bestandekomponenten  $\pm$  Standardabweichung, RK = Rotklee, SW= Spitzwegerich, WG = Welsches Weidelgras, UK = Unkräuter)

Spitzwegerich zeigte sich am Standort Caßlau im Jahr 2020 im Vergleich zum Welschem Weidelgras in der Konkurrenz mit Rotklee ertraglich unterlegen und konkurrenzierte die Etablierung und das Wachstum des Rotklees deutlich wie anhand der geringeren Erträge des Rotklees im Gemenge mit Spitzwegerich zu erkennen ist (Abb. 12). Deshalb war auch rechnerisch kein relativer Mehrertrag des Gemenges aus Rotklee und Spitzwegerich im Vergleich zu den Reinsaaten zu ermitteln (Abb. 13). Hingegen führte ein Gemenge aus Welschem Weidelgras und Rotklee im Vergleich zu den jeweiligen Reinsaaten zu einem deutlichen Mehrertrag, dessen Optimum bei einem relativen Saatanteil des Welsches Weidelgrases von 61% lag (Abb. 11). Mit einer Erhöhung des Saatanteils des Welschen Weidelgrases oder des Spitzwegerichs im Gemenge mit Rotklee ließen sich im Jahr 2020 am Standort Caßlau die absoluten Ertragsleistungen der nichtlegumenen Gemengepartner nicht steigern (Abb. 12), jedoch gleichzeitig die Ertragsleistung des Rotklees verringern.

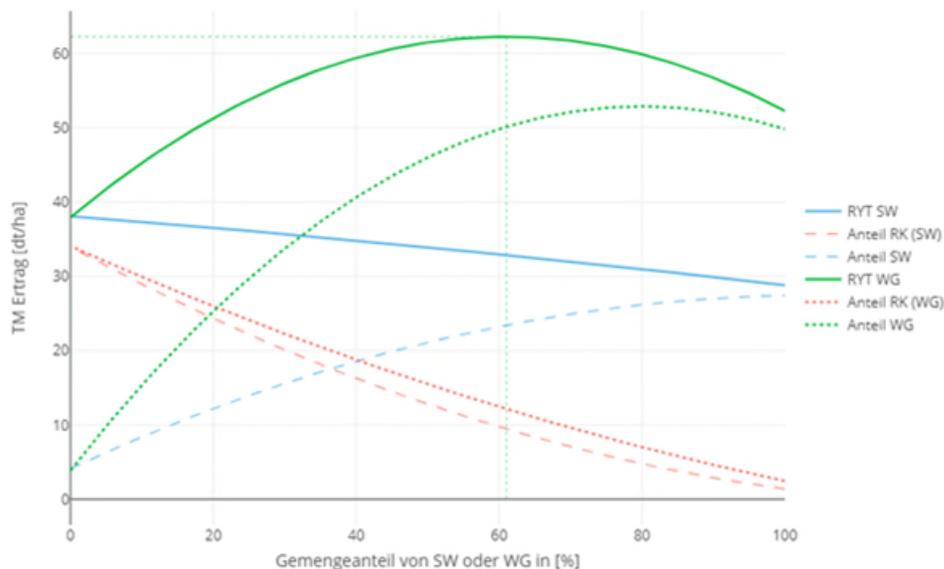


Abb. 13: Kalkulation des relativen Gesamtertrages an Jahresschnittgutertrag als Funktion des Saatanteils Spitzwegerichs (SW) bzw. Welschen Weidelgrases im Gemenge mit Rotklee (RK, berechnet nach deWit 1966) Standort Caßlau 2020

## 4.2 Schnittguterträge im Jahr 2021

### 4.2.1 Standort Struppen

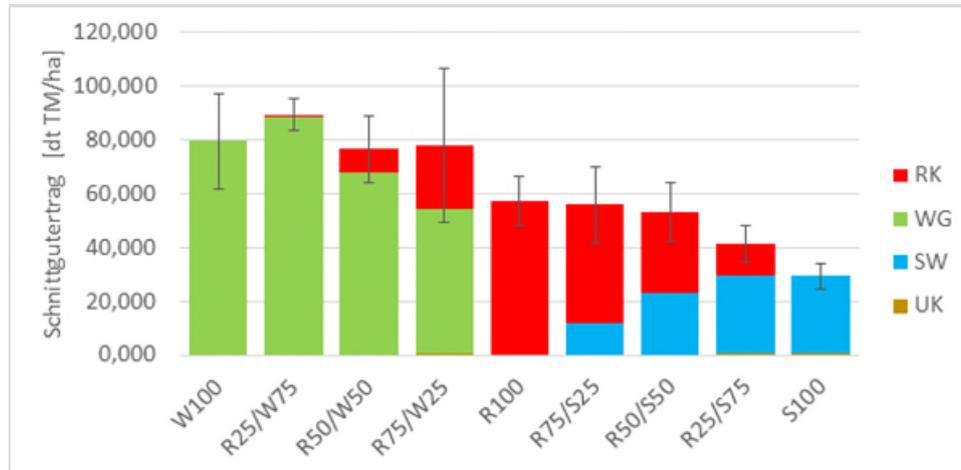


Abb. 14: Schnittgutertrag der Komponenten der Futterbestände zum ersten Schnitt am 02.06.2021 Standort Struppen (Summe der Erträge der Bestandeskomponenten  $\pm$  Standardabweichung, RK = Rotklee, SW= Spitzwegerich, WG = Welsches Weidelgras, UK = Unkräuter)

Im Jahr 2021 waren am Standort Struppen insgesamt feuchtere Bedingungen als im Jahr 2020 gegeben, die für alle geprüften Futterpflanzen von Vorteil war wie an den jeweiligen Ertragsleistungen der insgesamt vier Schnitte (Abb. 14 bis Abb. 17), vor allem aber an der Summe der Ertragsleistungen an Schnittgut im Jahr 2021 zu erkennen ist (Abb. 18). Beide rotklee-dominierte Ansaaten erreichten Schnittgut-Trockenmasseerträge von knapp 200 dt/ha (R75/S25: 195,6 dt TM/ha, R75/W25: 196,8 dt TM/ha), die in der Summe zugleich nur gegenüber den jeweiligen Reinsaaten der Nichtleguminosen signifikant höher ausfielen (S100: 100,0 dt TM/ha, W100: 141,1 dt TM/ha, Abb. 18). Während zum ersten Schnitttermin das Welsche Weidelgras sowohl in Reinsaat wie auch im Gemenge sehr hohe Erträge realisieren konnte, in Reinsaat 79,3 dt TM/ha und hierdurch im Gemenge den Rotklee stärker unterdrückte, zeigte der Spitzwegerich in Rein- und Gemengesaat deutlich geringere Erträge (Abb. 14). Hierdurch konnte der Rotklee im Gemenge mit Spitzwegerich deutlich stärker wachsen als im Gemenge mit Welschem Weidelgras. Die Bestände mit Welschem Weidelgras übertrafen zugleich zum ersten Schnitt die Erträge der Bestände mit Rotklee und/oder Spitzwegerich (Abb. 14). Unkräuter waren in den Beständen auch im Jahr 2021 am Standort Struppen nahezu nicht vorhanden. Zum zweiten (Abb. 15) und dritten (Abb. 16) Schnitttermin erreichten alle Gemenge mit Spitzwegerich höhere Schnittguterträge als die Gemenge mit Welschem Weidelgras, da nicht nur der Spitzwegerich in der Schnittgutertragsleistung dem Welschen Weidelgras entsprechend überlegen war, sondern zugleich das gute Wachstum des Spitzwegerichs, im Gegensatz zum Welschen Weidelgras, auch eine hohe Ertragsleistung des Rotklees im Gemenge zuließ.

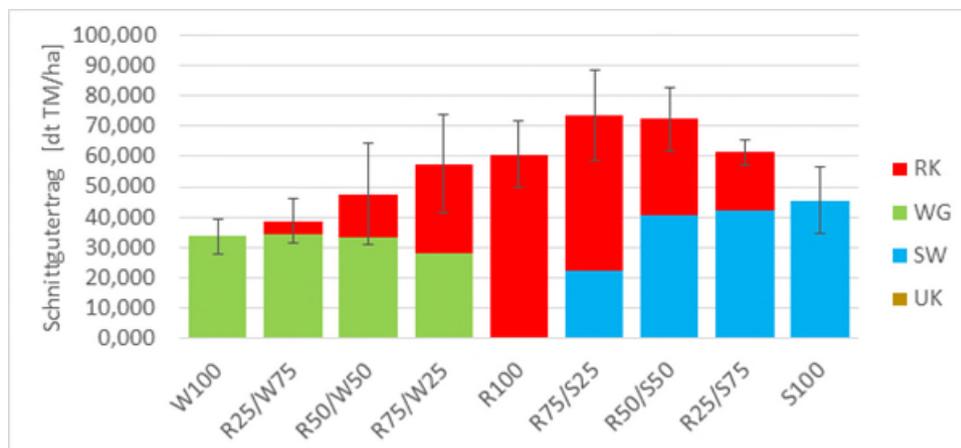


Abb. 15: Schnittgutertrag der Komponenten der Futterbestände zum zweiten Schnitt am 08.07.2021 Standort Struppen (Summe der Erträge der Bestandeskomponenten  $\pm$  Standardabweichung, RK = Rotklee, SW= Spitzwegerich, WG = Welsches Weidelgras, UK = Unkräuter)

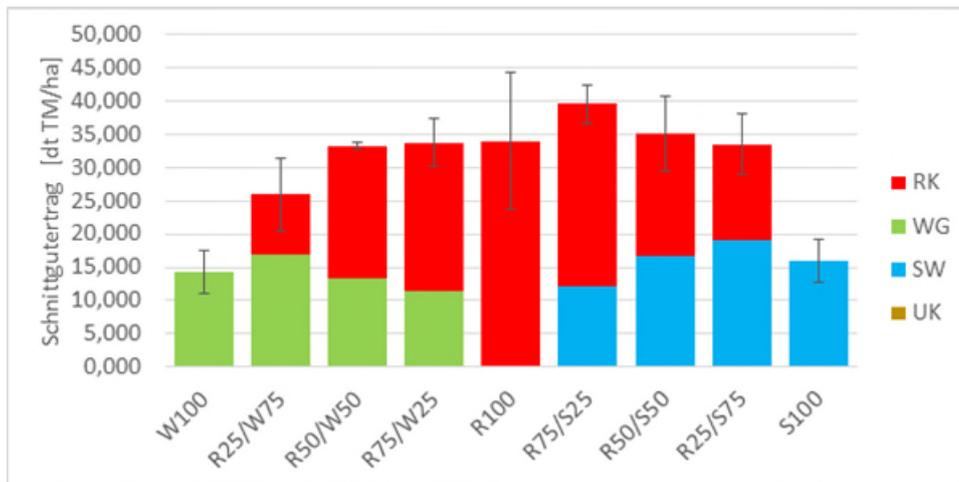


Abb. 16: Schnittgutertrag der Komponenten der Futterbestände zum dritten Schnitt am 19.08.2021 Standort Struppen (Summe der Erträge der Bestandeskomponenten  $\pm$  Standardabweichung, RK = Rotklee, SW= Spitzwegerich, WG = Welsches Weidelgras, UK = Unkräuter)

Zum vierten Schnitttermin im Herbst 2021 hielt das Welsche Weidelgras im Zuwachs sowohl in Reinsaat als auch in Gemengesaat mit dem Spitzwegerich Schritt, so dass keine signifikanten Unterschiede mehr im Gesamtertrag zwischen Rotklee in Reinsaat und allen Gemengen mit Rotklee mehr zu verzeichnen waren (Abb. 17). Lediglich die beiden Reinsaaten der Nichtleguminosen wiesen signifikant geringere Schnittguterträge im Vergleich zu den Ansaaten mit Rotklee auf.

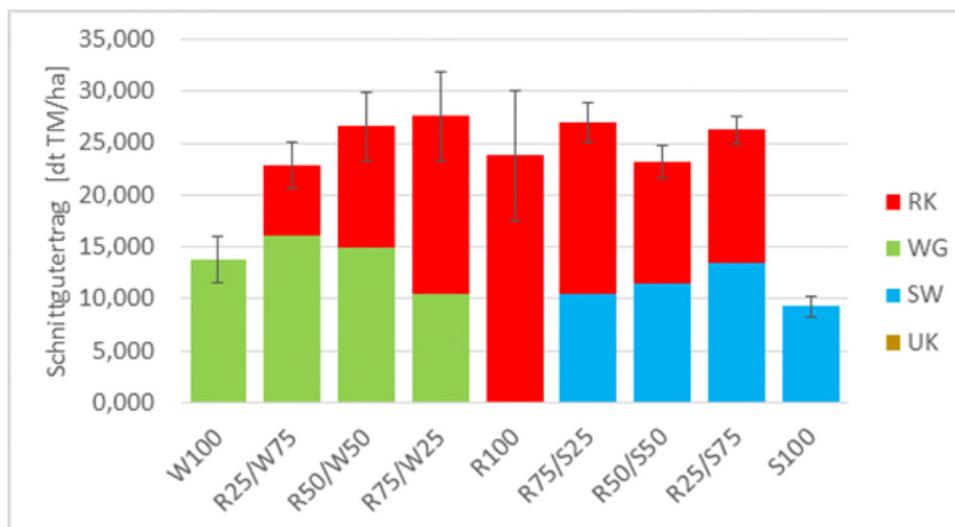


Abb. 17: Schnittgutertrag der Komponenten der Futterbestände zum vierten Schnitt am 11.10.2021 Standort Struppen (Summe der Erträge der Bestandeskomponenten  $\pm$  Standardabweichung, RK = Rotklee, SW= Spitzwegerich, WG = Welsches Weidelgras, UK = Unkräuter)

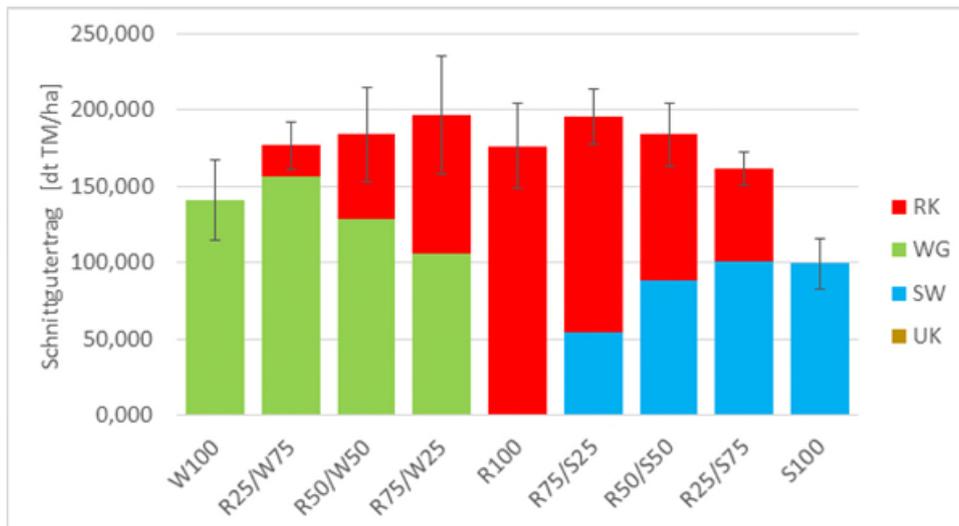


Abb. 18: Jahresschnittgutertrag der Komponenten der Futterbestände im Jahr 2021 Standort Struppen (Summe der Erträge der Bestandeskomponenten  $\pm$  Standardabweichung, RK = Rotklee, SW= Spitzwegerich, WG = Welsches Weidelgras, UK = Unkräuter)

Zunehmende Saatanteile der Nichtleguminosen spiegeln sich in einer Erhöhung der Anteile an deren Schnittguterträgen am Gesamtjahresertrag wider (Abb. 18), so dass über die Bemessung des Ansaatverhältnis Einfluss auf die Zusammensetzung des Erntegutes sowohl bei Welschem Weidelgras als auch bei Spitzwegerich genommen werden konnte.

Die Berechnungen zur Identifizierung optimaler relativer Saatanteile im Gemenge mit Rotklee haben für das Jahr 2021 in Struppen sowohl für Welsches Weidelgras mit 34 % als auch für Spitzwegerich mit 31 % einen hinsichtlich Maximalertrag optimalen Saatanteil ausweisen können (Abb. 19).

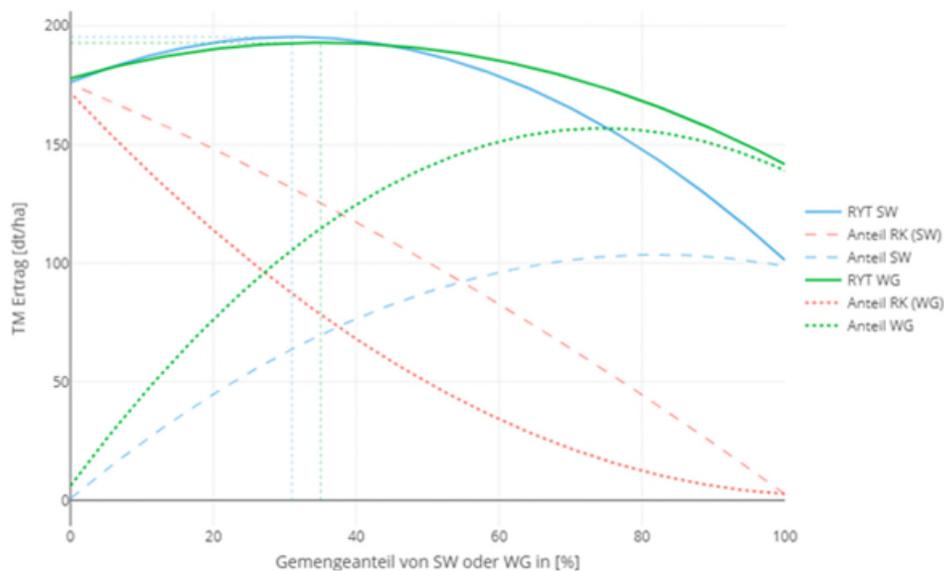


Abb. 19: Kalkulation des relativen Gesamtertrages an Jahresschnittgutertrag als Funktion des Saatanteils Spitzwegerichs (SW) bzw. Welschen Weidelgrases im Gemenge mit Rotklee (RK, berechnet nach deWit 1966) Standort Struppen 2021

#### 4.4.2 Standort Caßlau

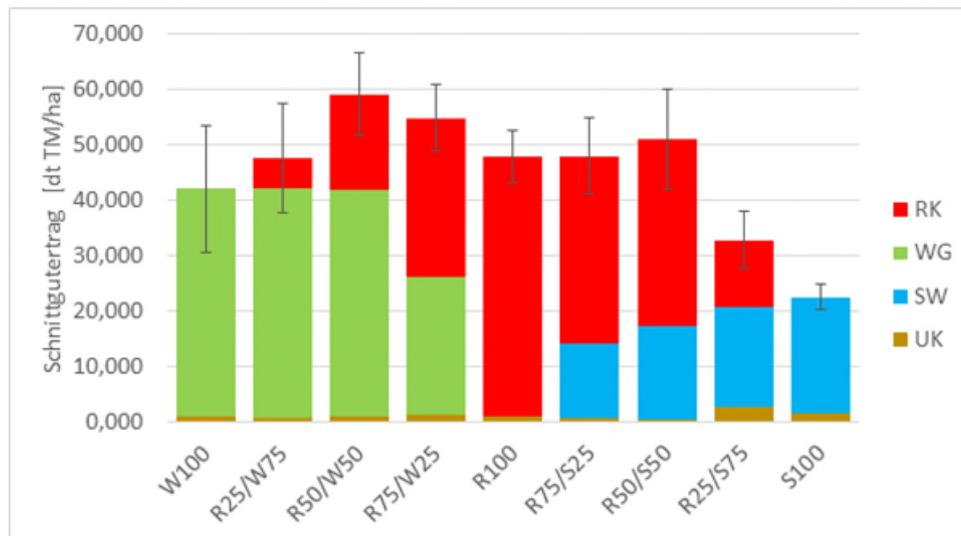


Abb. 20: Schnittgutertrag der Komponenten der Futterbestände zum ersten Schnitt am 30.05.2021 Standort Caßlau (Summe der Erträge der Bestandeskomponenten  $\pm$  Standardabweichung, RK = Rotklee, SW= Spitzwegerich, WG = Welsches Weidelgras, UK = Unkräuter)

Höhere Niederschläge im Jahr 2021 ließen auch am Standort Caßlau höhere Schnittguterträge der Bestände zu allen Schnitten (Abb. 20 bis Abb. 23) und in der Summe der vier Schnitte (Abb. 24) deutlich im Vergleich zu 2020 ansteigen. Höchste Gesamtjahres-Schnittguterträge wiesen hier die drei Rotklee-Gemenge mit Welschem Weidelgras auf (zwischen 130,9 und 144,8 dt TM/ha), die zugleich signifikant über denen des durch Spitzwegerich dominierten Gemenges mit Rotklee (R25/S75: 80,9 dt TM/ha) und der Reinsaat des Spitzwegerichs (S100: 57,1 dt TM/ha) lagen (Abb. 24).

Welsches Weidelgras konnte zu den ersten beiden Schnittterminen (Abb. 20 und Abb. 21) und zum vierten Schnitt (Abb. 23) in Rein- und in Gemengesaat die entsprechenden Schnittguterträge des Spitzwegerichs übertreffen, so dass nur zum Schnitttermin im August 2021 leichte Vorteile in der Ertragsbildung durch den Spitzwegerich zum Tragen kamen (Abb. 23).

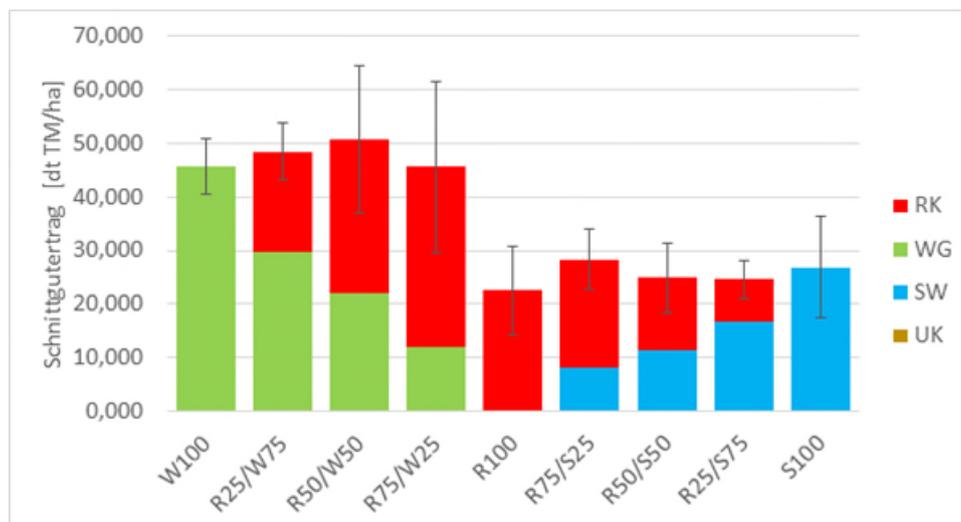


Abb. 21: Schnittgutertrag der Komponenten der Futterbestände zum zweiten Schnitt am 06.07.2021 Standort Struppen (Summe der Erträge der Bestandeskomponenten  $\pm$  Standardabweichung, RK = Rotklee, SW= Spitzwegerich, WG = Welsches Weidelgras, UK = Unkräuter)

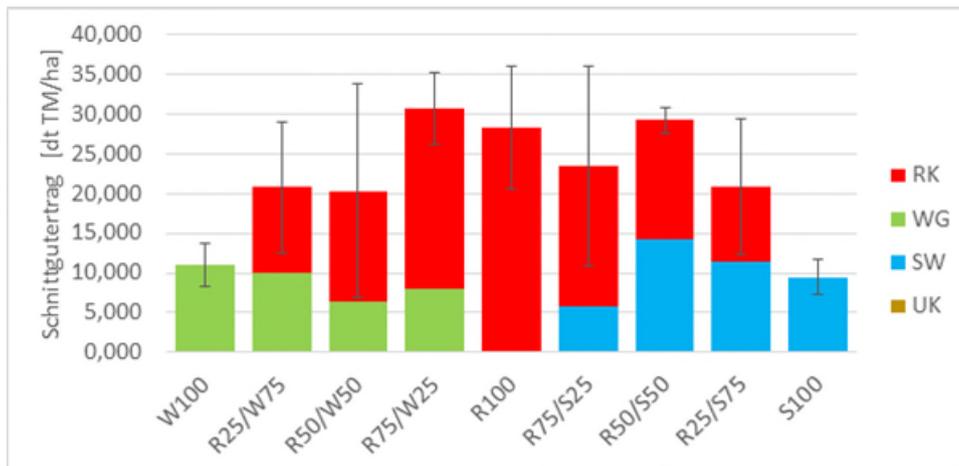


Abb. 22: Schnittgutertrag der Komponenten der Futterbestände zum dritten Schnitt am 17.08.2021 Standort Struppen (Summe der Erträge der Bestandekomponenten  $\pm$  Standardabweichung, RK = Rotklee, SW= Spitzwegerich, WG = Welsches Weidelgras, UK = Unkräuter)

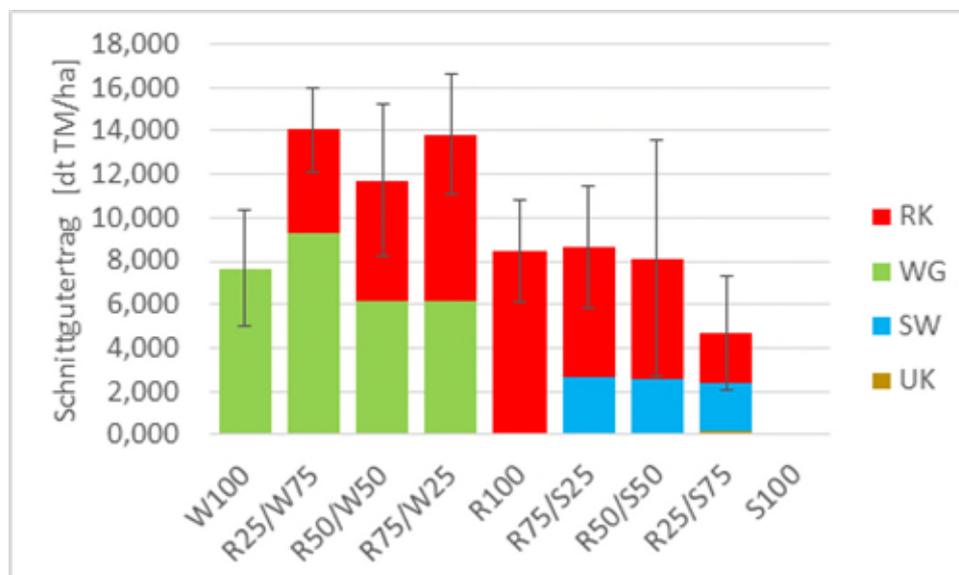


Abb. 23: Schnittgutertrag der Komponenten der Futterbestände zum vierten Schnitt am 05.10.2021 Standort Struppen (Summe der Erträge der Bestandekomponenten  $\pm$  Standardabweichung, RK = Rotklee, SW= Spitzwegerich, WG = Welsches Weidelgras, UK = Unkräuter)

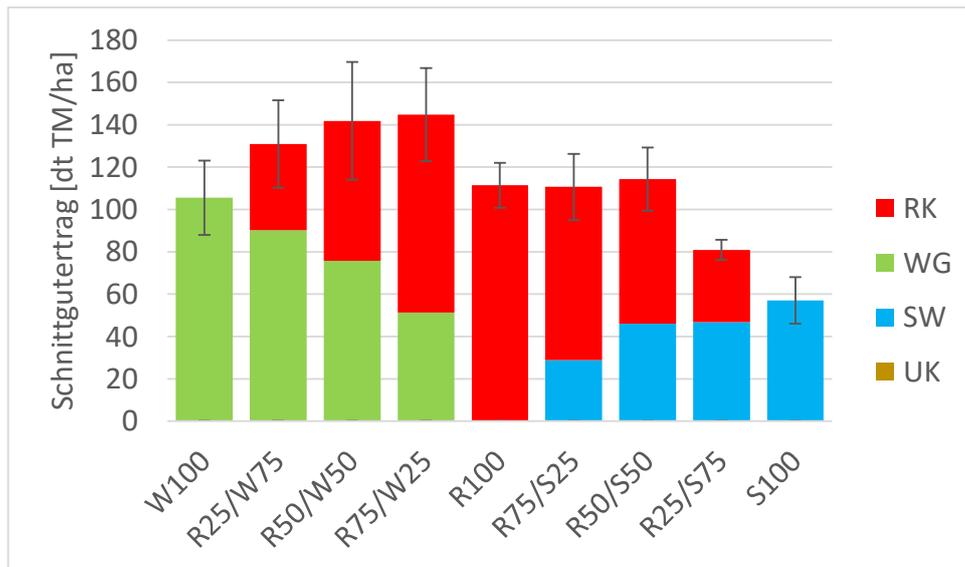


Abb. 24: Jahresschnittgutertrag der Komponenten der Futterbestände im Jahr 2021 Standort Caßlau (Summe der Erträge der Bestandekomponenten  $\pm$  Standardabweichung, RK = Rotklee, SW= Spitzwegerich, WG = Welsches Weidelgras, UK = Unkräuter)

Höhere relative Saatgutanteile der Nichtleguminosen im Gemenge mit Rotklee führten im Jahr 2021 am Standort Caßlau im Gegensatz zu 2020 zu höheren absoluten Schnittgut-Ertragsleistungen der Nichtleguminosen Welsches Weidelgras und Spitzwegerich bei gleichzeitiger Senkung der Ertragsbildung des Gemengepartners Rotklee (Abb. 24). Allerdings war das Welsche Weidelgras in allen Prüfgliedern im Schnittgutjahresertrag dem Spitzwegerich überlegen.

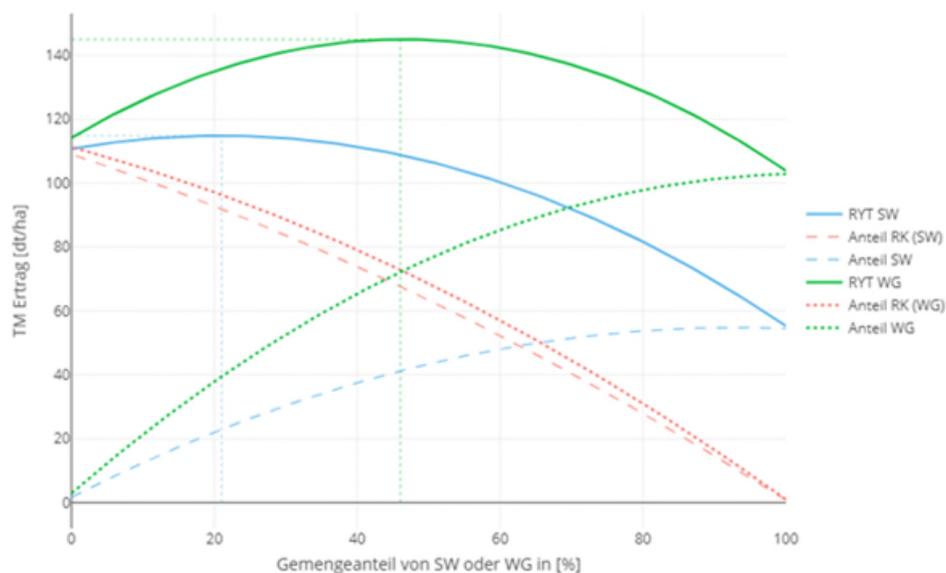


Abb. 25: Kalkulation des relativen Gesamtertrages an Jahresschnittgutertrag als Funktion des Saatanteils Spitzwegerichs (SW) bzw. Welschen Weidelgrases im Gemenge mit Rotklee (RK, berechnet nach deWit 1966) Standort Caßlau 2021

Die rechnerisch höchsten Gesamtjahres-Ertragsleistungen resultieren im Gemenge mit Welschem Weidelgras aus einem relativen Saatanteil von 43% im Gemenge mit Rotklee. Bei Spitzwegerich lag dieser mit nur 21% Saatanteil deutlich darunter (Abb. 25).

## 4.3 Stickstoffaufnahme der Futterbestände

### 4.3.1 N-Aufnahme im Jahr 2020

#### 4.3.1.1 Standort Struppen

Über das Verfahren der  $^{15}\text{N}$ -Spurenanreicherung konnten an beiden Standorten und zu allen Schnittterminen die N-Mengen im Schnittgut getrennt nach Bestandeskomponenten sowie boden- und luftbürtiger Quelle bestimmt werden (Abb. 26 bis Abb. 43). Die zu den drei (2020) bzw. vier Schnittterminen (2021) jeweils quantifizierten N-Mengen wurden im Anschluss für ein Jahr addiert und gesondert ausgewiesen (Abb. 29, Abb. 33, Abb. 38 und Abb. 43). So waren insgesamt im Jahr 2020 am Standort Struppen im Schnittgut des Rotklee-Reinsaat 154 kg N/ha aus der Luft enthalten. Im Gemenge mit Welschen Weidelgras waren im Schnittgut des Rotkleees zwischen 80 und 135 kg N/ha, im Gemenge mit Spitzwegerich zwischen 61 und 129 kg N/ha aus der symbiotischen  $\text{N}_2$ -Fixierung stammend enthalten (Abb. 29). Zusätzlich waren im Welschen Weidelgras zwischen 5,4 und 7,6 kg N/ha und im Spitzwegerich zwischen 5,3 und 10,3 kg N/ha als Transferstickstoff aus der symbiotischen  $\text{N}_2$ -Fixierleistung des Rotkleees nachzuweisen. Mit zunehmendem Saatanteil der Nichtleguminosen sank bei beiden Gemengepartnern die symbiotisch fixierte N-Menge kontinuierlich ab. Hierbei waren zwischen Welschem Weidelgras und Spitzwegerich keine markanten Unterschiede festzustellen.

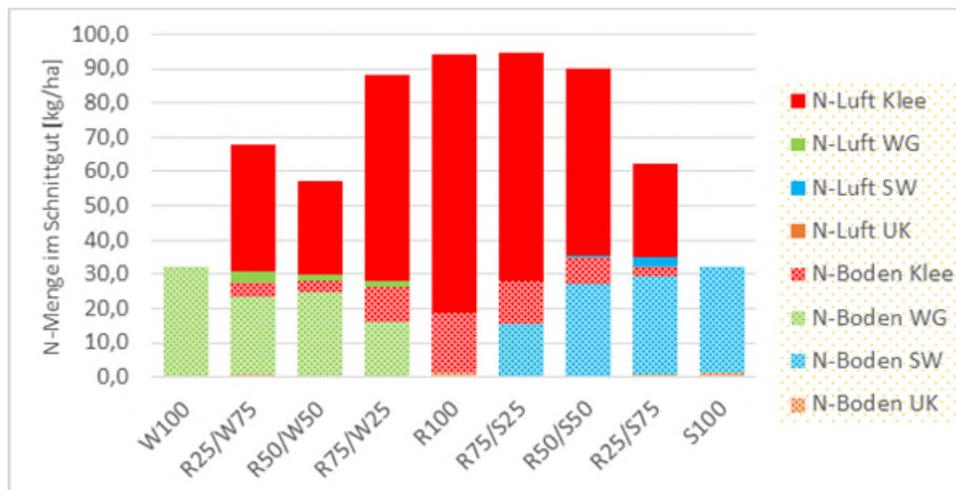


Abb. 26: N-Menge aus boden- und luftbürtiger N-Aufnahme im Schnittgut der Reinsaat- und Gemenge aus Rotklee (Klee), Welschem Weidelgras (WG), Spitzwegerich (SW) und Unkräutern (UK) am Standort Struppen zum ersten Schnitttermin am 26.05.2020

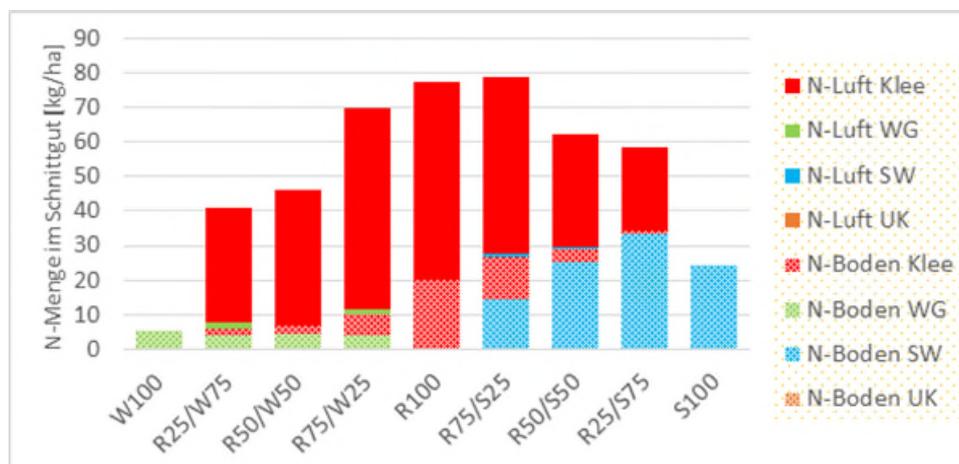


Abb. 27: N-Menge aus boden- und luftbürtiger N-Aufnahme im Schnittgut der Reinsaat- und Gemenge aus Rotklee (Klee), Welschem Weidelgras (WG), Spitzwegerich (SW) und Unkräutern (UK) am Standort Struppen zum zweiten Schnitttermin am 05.08.2020

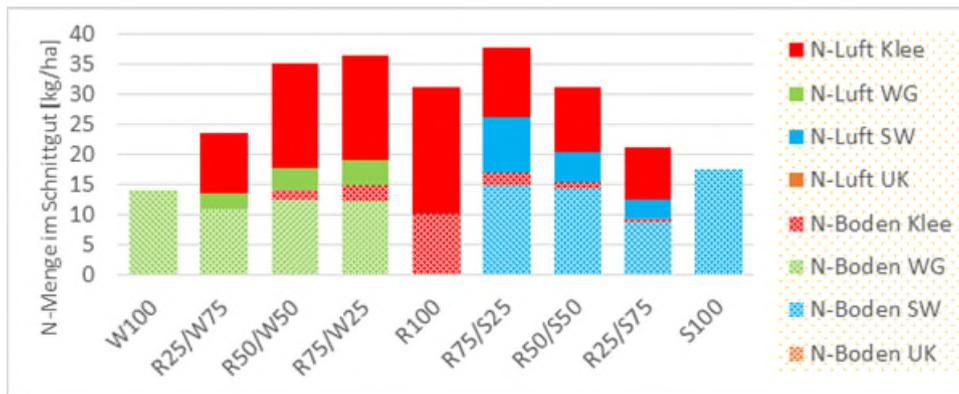


Abb. 28: N-Menge aus boden- und luftbürtiger N-Aufnahme im Schnittgut der Reinsaaten- und Gemenge aus Rotklee (Klee), Welschem Weidelgras (WG), Spitzwegerich (SW) und Unkräutern (UK) am Standort Struppen zum zweiten Schnitttermin am 15.10.2020

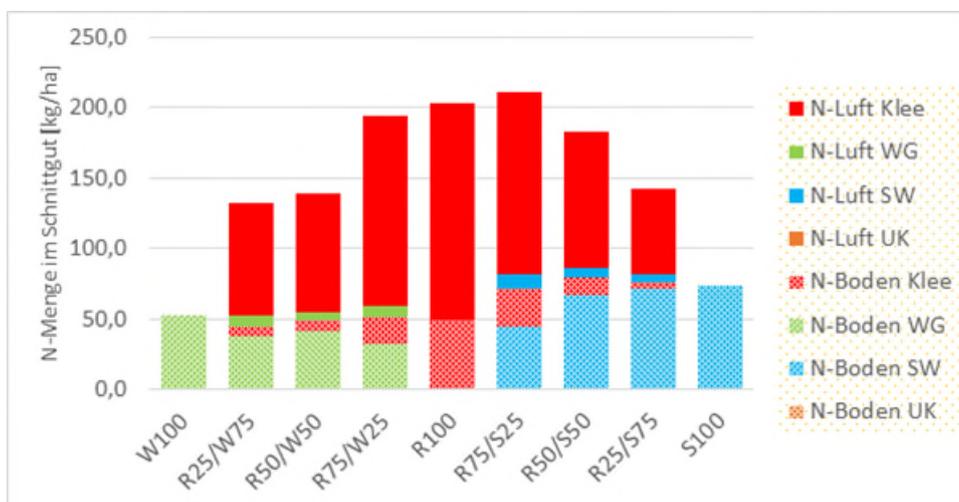


Abb. 29: Summe der N-Menge aus boden- und luftbürtiger N-Aufnahme im Schnittgut der Reinsaaten- und Gemenge aus Rotklee (Klee), Welschem Weidelgras (WG), Spitzwegerich (SW) und Unkräutern (UK) am Standort Struppen zu drei Schnitten im Jahr 2020

Markante Unterschiede waren hingegen zwischen Welschem Weidelgras und Spitzwegerich sowohl in Reinsaat und in den Gemengen hinsichtlich der insgesamt aus dem Boden aufgenommenen N-Menge zu verzeichnen. Während des Welschen Weidelgrases in Reinsaat und die Gemenge aus Rotklee und Welschem Weidelgras insgesamt nur zwischen 43,9 und 52,0 kg N/ha aus dem Boden aufgenommen hatten, waren dieses in den Beständen mit Spitzwegerich stets etwa 20 kg/ha mehr (zwischen 70,3 und 79,2 kg N/ha). Diese Unterschiede waren vor allem durch die unterschiedlichen N-Aufnahmen zum zweiten und dritten Schnitttermin hervorgerufen worden (Abb. 27 und Abb. 28) zu denen der Spitzwegerich jeweils deutlich mehr bodenbürtigen Stickstoff im Schnittgut akkumulierte. Die im Vergleich zu Welschem Weidelgras deutlich höhere Fähigkeit zur Aneignung bodenbürtigen Stickstoffs des Spitzwegerichs spiegelte sich insbesondere im Vergleich der Reinsaaten wider: 52,0 versus 73,2 kg N/ha (Abb. 29).

#### 4.3.1.2 Standort Caßlau

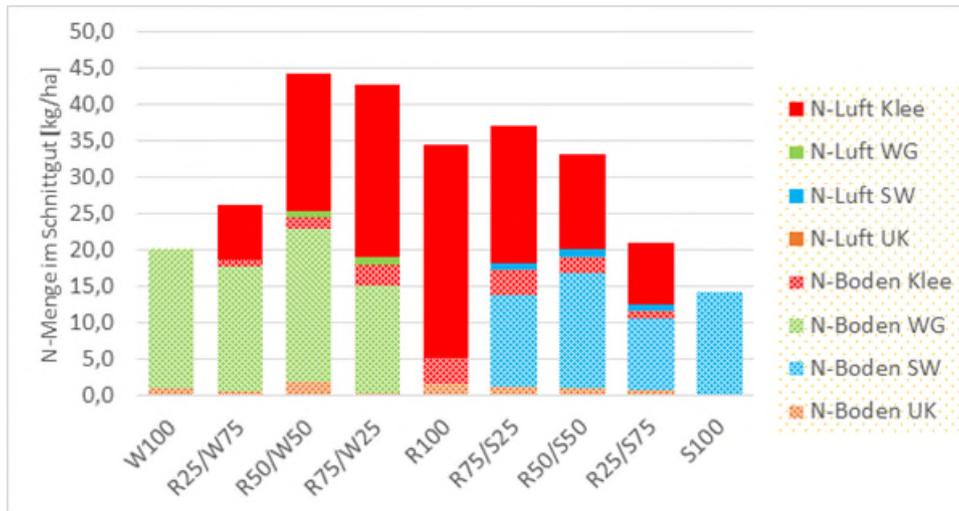


Abb. 30: N-Menge aus boden- und luftbürtiger N-Aufnahme im Schnittgut der Reinsaat- und Gemenge aus Rotklee (Klee), Welschem Weidelgras (WG), Spitzwegerich (SW) und Unkräutern (UK) am Standort Caßlau zum ersten Schnitttermin am 01.06.2020

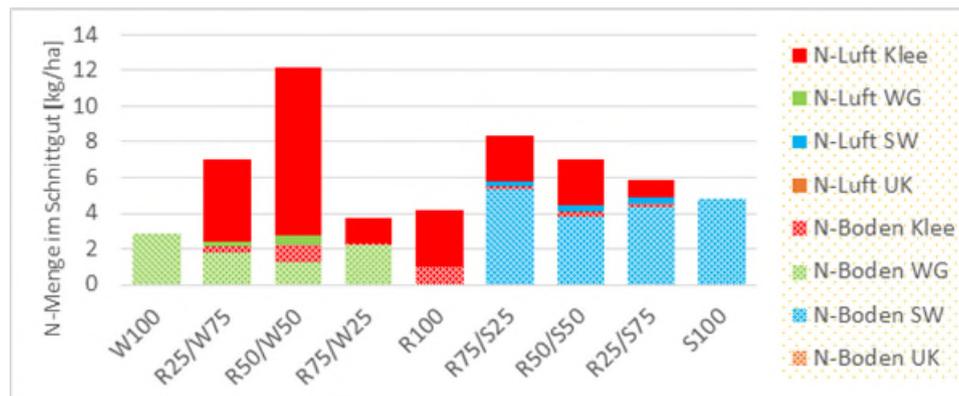


Abb. 31: N-Menge aus boden- und luftbürtiger N-Aufnahme im Schnittgut der Reinsaat- und Gemenge aus Rotklee (Klee), Welschem Weidelgras (WG), Spitzwegerich (SW) und Unkräutern (UK) am Standort Caßlau zum zweiten Schnitttermin am 06.08.2020

Am Standort Caßlau war im Jahr 2020 bedingt durch die sandigen Bodenbedingungen und die Trockenheit nur eine vergleichsweise geringe Menge an Stickstoff in den Beständen mit maximal 86,5 kg N/ha akkumuliert worden (Abb. 33). Rotklee in Reinsaat konnte mit 57,7 kg/ha die insgesamt höchsten Mengen Stickstoff aus der Luft assimilieren, gefolgt von den Gemengen mit Welschem Weidelgras, die zwischen 34,7 und 53,8 kg N/ha im Rotklee und Welschen Weidelgras enthielten. In den Gemengen mit Spitzwegerich waren es im Vergleich zu den Gemengen mit Welschem Weidelgras im Mittel knapp 14 kg N/ha weniger (Abb. 33). Anders als am Standort Struppen waren zwischen den Beständen von Welschem Weidelgras und den Beständen mit Spitzwegerich keine Unterschiede in der N-Akkumulation aus bodenbürtiger Quelle zu verzeichnen. Lediglich der Rotklee in Reinsaat wies mit insgesamt knapp 23 kg/ha eine geringere N-Menge aus dem Boden stammend im Schnittgut auf. Die sehr trockenen Bedingungen bis zum zweiten Aufwuchs ließen nur eine sehr geringe N-Akkumulation aller Bestände zu (Abb. 31). Dieses betraf sowohl die luft- als auch die bodenbürtige N-Aufnahme.

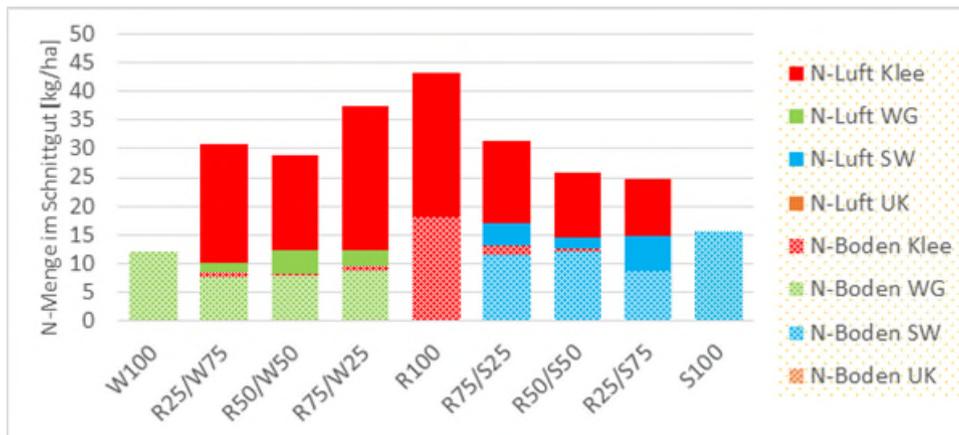


Abb. 32: N-Menge aus boden- und luftbürtiger N-Aufnahme im Schnittgut der Reinsaaten- und Gemenge aus Rotklee (Klee), Welschem Weidelgras (WG), Spitzwegerich (SW) und Unkräutern (UK) am Standort Caßlau zum dritten Schnitttermin am 08.10.2020

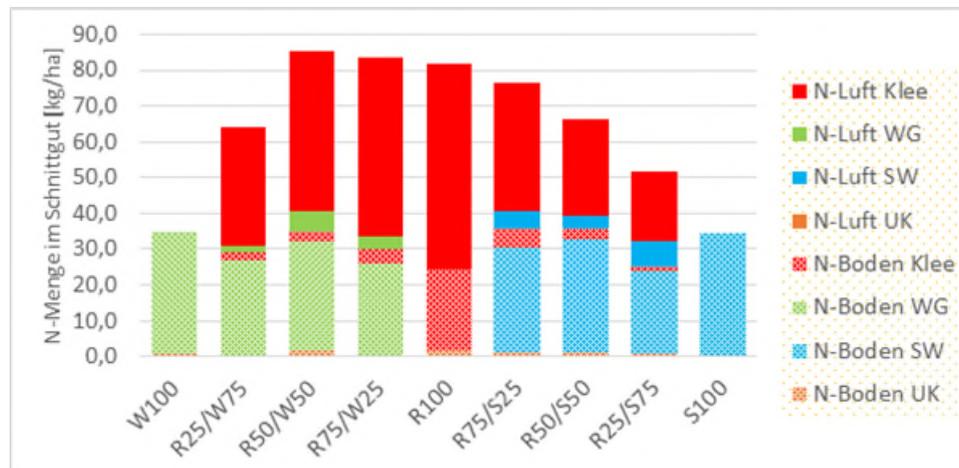


Abb. 33: Summe der N-Menge aus boden- und luftbürtiger N-Aufnahme im Schnittgut der Reinsaaten und Gemenge aus Rotklee (Klee), Welschem Weidelgras (WG), Spitzwegerich (SW) und Unkräutern (UK) am Standort Caßlau zu drei Schnitten im Jahr 2020

#### 4.3.2 N-Aufnahme im Jahr 2021

##### 4.3.2.1 Standort Struppen

Im Jahr 2021 waren aufgrund erhöhter Niederschläge deutlich bessere Bedingungen zur N-Akkumulation im Schnittgut der Bestände gegeben, so dass in der Rotklee-Reinsaat und im durch Rotklee dominierten Gemenge mit Spitzwegerich rund 500 kg N/ha akkumuliert wurden (Abb. 38). Zum ersten und dritten Schnitttermin (Abb. 34 und Abb. 36) wurden die höchsten N-Mengen je Schnitt mit bis zu 142 und 165 kg N/ha akkumuliert, während sich zum zweiten und vierten Schnitttermin maximal 102 bzw. 97 kg N/ha sich im Schnittgut befanden (Abb. 35 und Abb. 37).

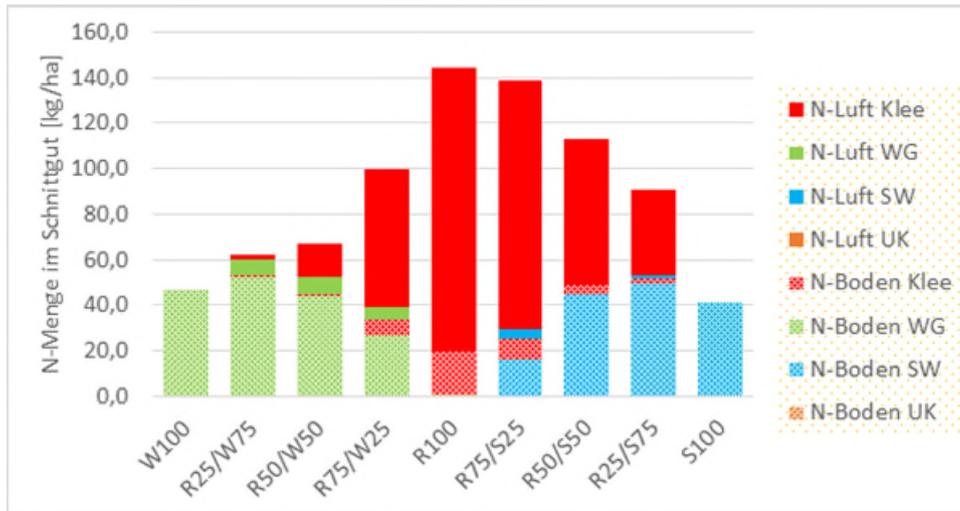


Abb. 34: N-Menge aus boden- und luftbürtiger N-Aufnahme im Schnittgut der Reinsaaten- und Gemenge aus Rotklee (Klee), Welschem Weidelgras (WG), Spitzwegerich (SW) und Unkräutern (UK) am Standort Struppen zum ersten Schnitftermin am 02.06.2021

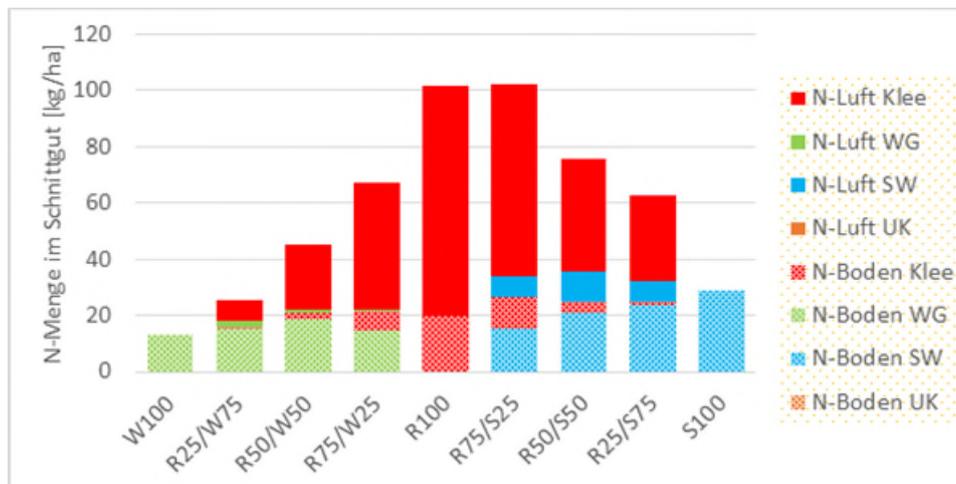


Abb. 35: N-Menge aus boden- und luftbürtiger N-Aufnahme im Schnittgut der Reinsaaten- und Gemenge aus Rotklee (Klee), Welschem Weidelgras (WG), Spitzwegerich (SW) und Unkräutern (UK) am Standort Struppen zum zweiten Schnitftermin am 08.07.2021

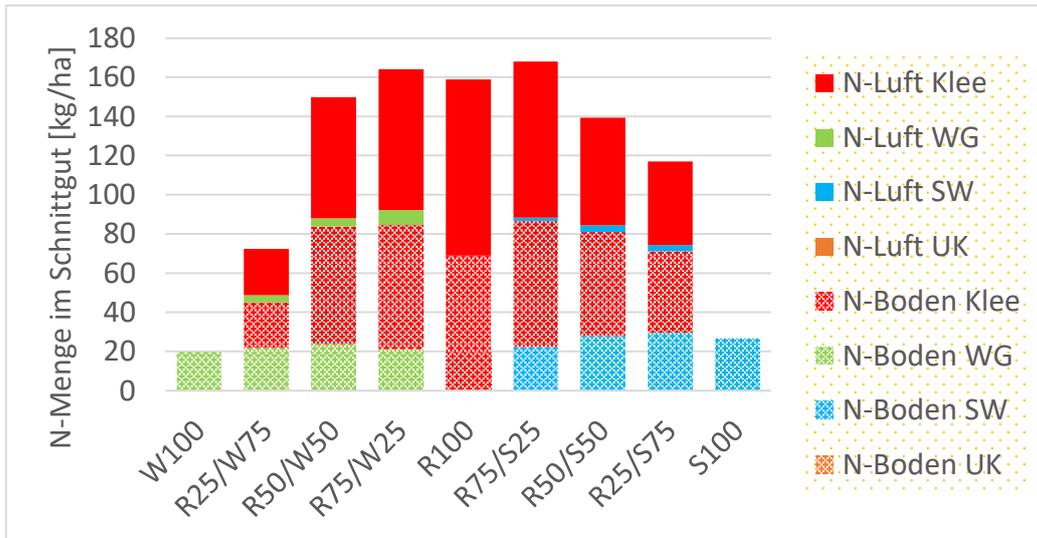


Abb. 36: N-Menge aus boden- und luftbürtiger N-Aufnahme im Schnittgut der Reinsaaten- und Gemenge aus Rotklee (Klee), Welschem Weidelgras (WG), Spitzwegerich (SW) und Unkräutern (UK) am Standort Struppen zum dritten Schnitttermin am 19.08.2021

Rotklee in Reinsaat erreichte im Jahr 2021 insgesamt eine symbiotisch fixierte N-Menge im Schnittgut von 330,5 kg/ha. In den Gemengen mit Spitzwegerich befanden sich im Schnittgut mit 326,9, 228,8 und 183,1 K kg/ha deutlich höhere N-Mengen aus der Symbiose im Rotklee und der Nichtleguminose (Transfer-N) als im Gemenge mit Welschem Weidelgras (210,8, 141,6 und 64,1 kg N/ha, Abb. 38). Wie im Jahr 2020 wies der Spitzwegerich in Reinsaat eine um 24 kg/ha höhere Fähigkeit zur Akkumulation von bodenbürtigem Stickstoff auf als das Welsche Weidelgras. Mit zunehmendem Saatanteil Nichtleguminose sank in beiden Fällen die symbiotisch fixierte N-Menge ab, wobei die Abnahme im Gemenge mit Welschem Weidelgras deutlicher ausgeprägt war als im Gemenge mit Spitzwegerich. Zugleich unterschied sich die Höhe der N-Aufnahme aus dem Boden in der Summe aus Rotklee und Nichtleguminosen im Jahr 2021 am Standort Struppen nicht wesentlich zwischen den Gemengen mit Welschem Weidelgras und Spitzwegerich (Abb. 38).

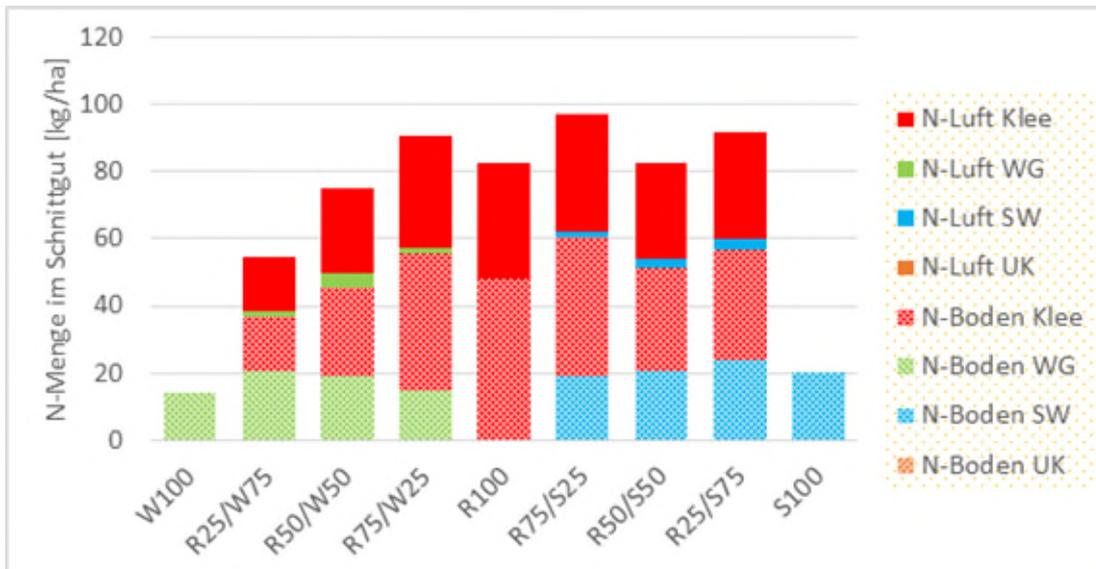


Abb. 37: N-Menge aus boden- und luftbürtiger N-Aufnahme im Schnittgut der Reinsaaten- und Gemenge aus Rotklee (Klee), Welschem Weidelgras (WG), Spitzwegerich (SW) und Unkräutern (UK) am Standort Struppen zum vierten Schnitttermin am 11.10.2021

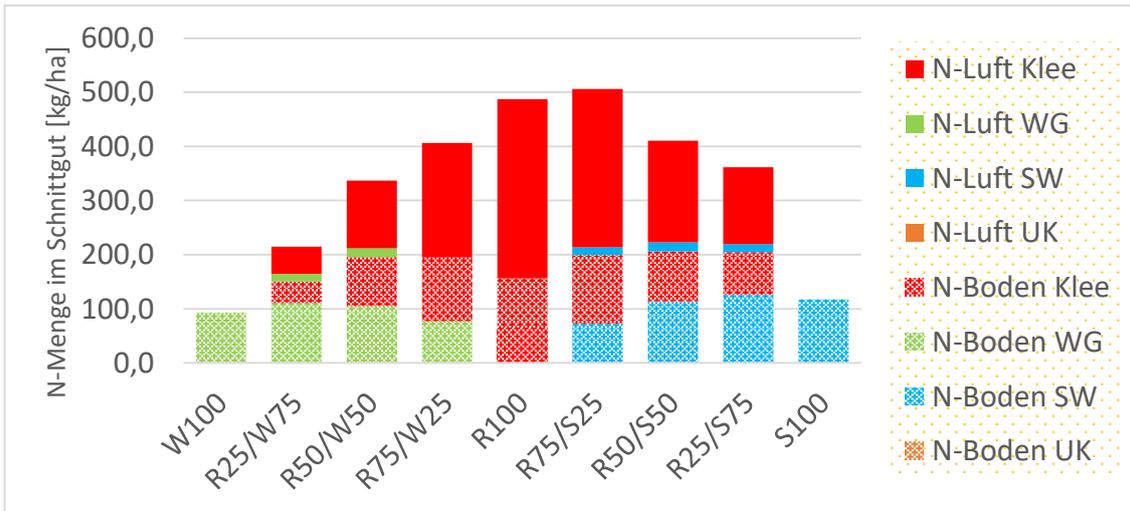


Abb. 38: Summe der N-Menge aus boden- und luftbürtiger N-Aufnahme im Schnittgut der Reinsaaten- und Gemenge aus Rotklee (Klee), Welschem Weidelgras (WG), Spitzwegerich (SW) und Unkräutern (UK) am Standort Struppen zu vier Schnitten im Jahr 2021

#### 4.3.2.2 Standort Caßlau

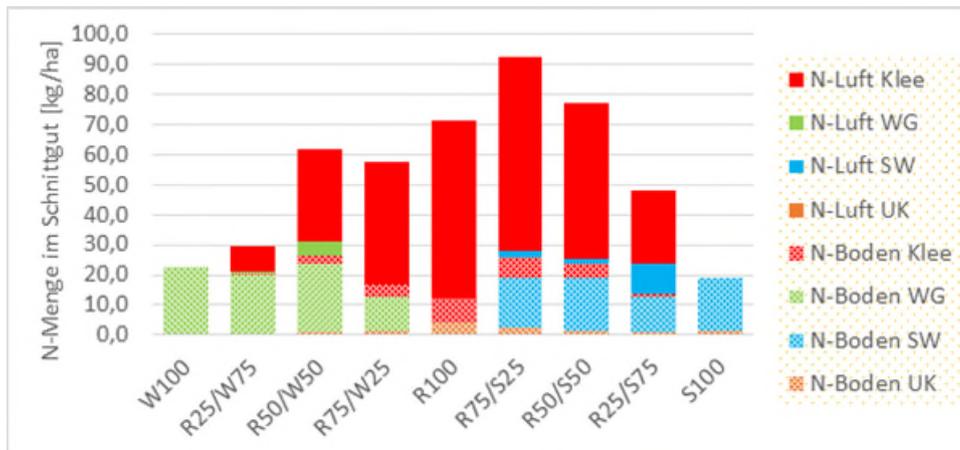


Abb. 39: N-Menge aus boden- und luftbürtiger N-Aufnahme im Schnittgut der Reinsaaten- und Gemenge aus Rotklee (Klee), Welschem Weidelgras (WG), Spitzwegerich (SW) und Unkräutern (UK) am Standort Caßlau zum ersten Schnitftermin am 30.05.2021

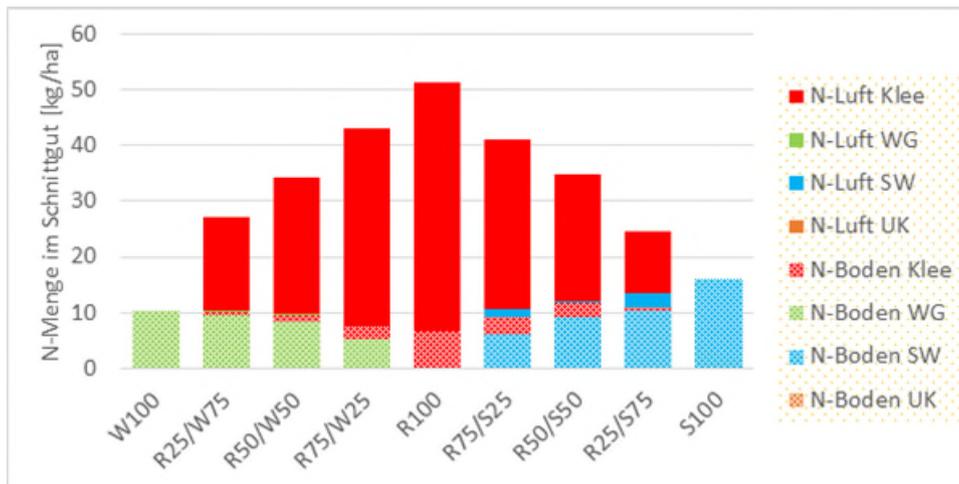


Abb. 40: N-Menge aus boden- und luftbürtiger N-Aufnahme im Schnittgut der Reinsaaten- und Gemenge aus Rotklee (Klee), Welschem Weidelgras (WG), Spitzwegerich (SW) und Unkräutern (UK) am Standort Caßlau zum zweiten Schnitttermin am 06.07.2021

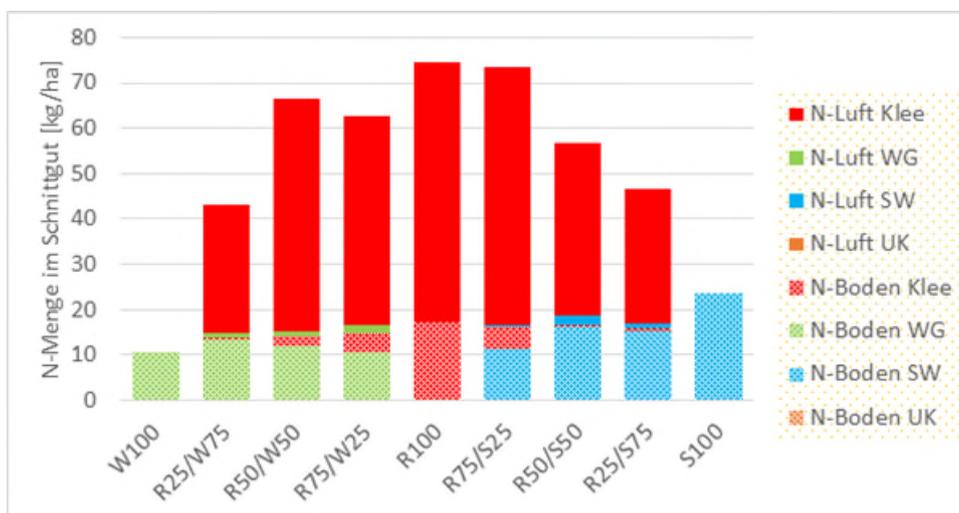


Abb. 41: N-Menge aus boden- und luftbürtiger N-Aufnahme im Schnittgut der Reinsaaten- und Gemenge aus Rotklee (Klee), Welschem Weidelgras (WG), Spitzwegerich (SW) und Unkräutern (UK) am Standort Caßlau zum dritten Schnitttermin am 17.08.2021

Die höheren Niederschläge im Jahr 2021 im Vergleich zu 2020 schlugen sich auch am Standort Caßlau in einer höheren N-Akkumulation im Schnittgut nieder. Sie lagen in der Summe der Bestandspartner im Maximum bei 206 kg N/ha (Rotklee in Reinsaat) und 220 kg N/ha (durch Rotklee dominiertes Gemenge mit Spitzwegerich, Abb. 43). Ähnlich wie am Standort Struppen lagen die insgesamt aus der Luft stammenden N-Mengen im Schnittgut der Gemenge mit Spitzwegerich ( 177,6, 126,6 und 86,1 kg N/ha) über denen der Gemenge mit Welschem Weidelgras (140,3, 125,5 und 67,8 kg N/ha). Auch hier nahm somit mit zunehmenden Saatanteil Nichtleguminoase die symbiotisch fixierte N-Menge ab. Spitzwegerich in Reinsaat akkumulierte im Jahr 2021 wie am Standort Struppen deutlich mehr Stickstoff aus bodenbürtiger Quelle (60,3 kg N/ha) als das Welsche Weidelgras (47,5 kg N/ha). Die insgesamt in den 6 Gemengesaaten von beiden Gemengepartnern aus dem Boden aufgenommene N-Menge unterschied sich zwischen den nichtlegumenen Bestandspartnern nicht, lag jedoch in beiden Gemengem mit 75% Saatanteil Rotklee jeweils niedriger (Abb. 43).

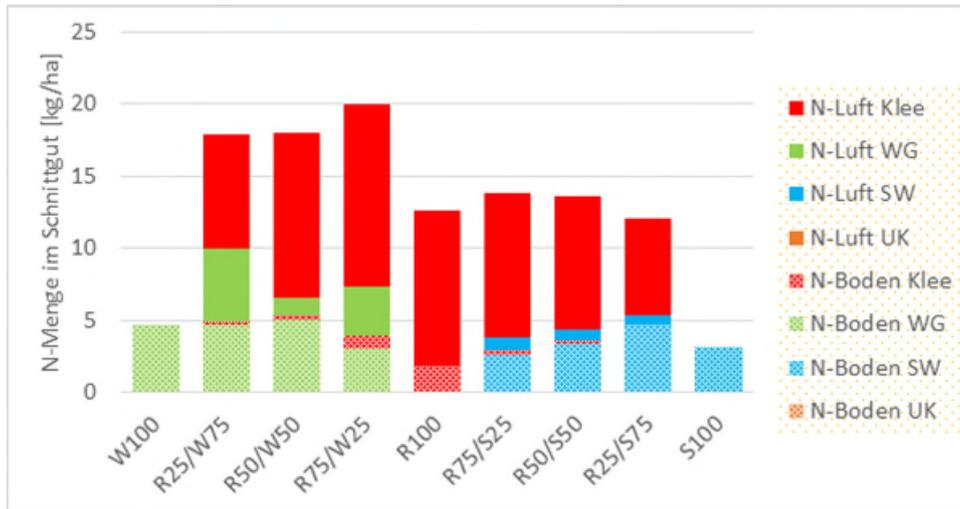


Abb. 42: N-Menge aus boden- und luftbürtiger N-Aufnahme im Schnittgut der Reinsaaten- und Gemenge aus Rotklee (Klee), Welschem Weidelgras (WG), Spitzwegerich (SW) und Unkräutern (UK) am Standort Caßlau zum vierten Schnitttermin am 05.10.2021

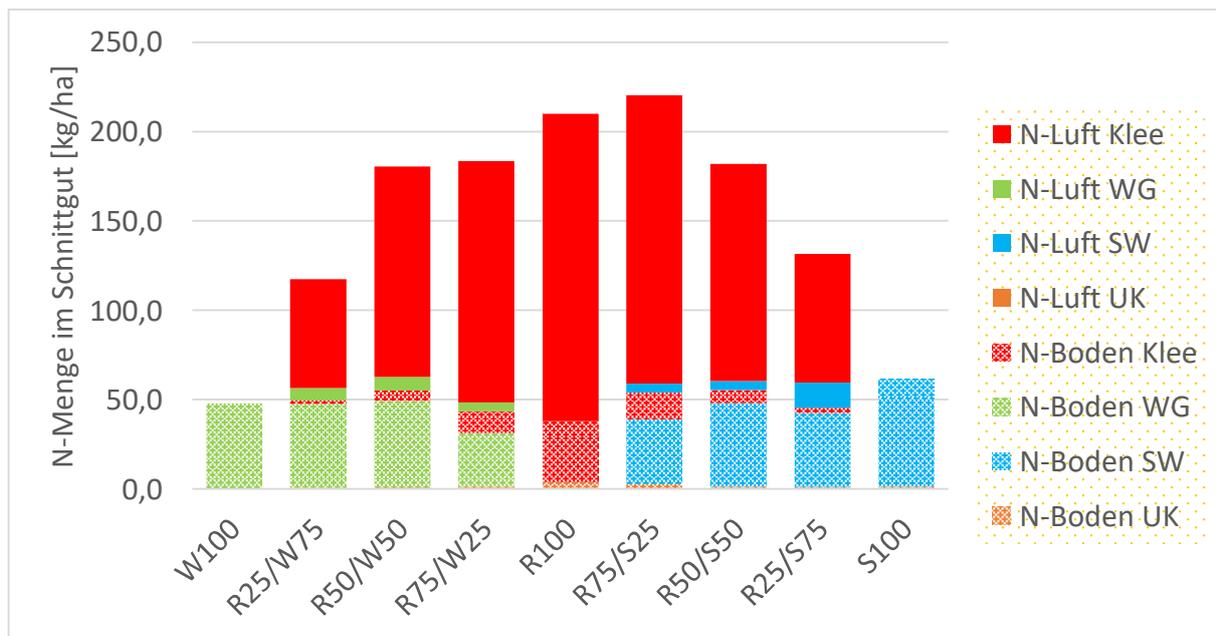


Abb. 43: Summe der N-Menge aus boden- und luftbürtiger N-Aufnahme im Schnittgut der Reinsaaten- und Gemenge aus Rotklee (Klee), Welschem Weidelgras (WG), Spitzwegerich (SW) und Unkräutern (UK) am Standort Caßlau zu vier Schnitten im Jahr 2021

### 4.3 Nmin-Vorrat des Bodens unter den Futterbaubeständen

Unter den futterbaulich genutzten Beständen wurde regelmäßig der Nmin-Vorrat im Boden erfasst. Hierbei sollte auch geprüft werden, ob der Spitzwegerich im Vergleich zum Welschen Weidelgras spezifisch Einfluss nicht nur auf den Vorrat an pflanzenverfügbarem Nitrat-, sondern auch auf den Ammoniumstickstoff genommen hat. Deshalb sind für jeden Beprobungstermin sowohl der Vorrat an Nitrat-, als auch der Ammoniumstickstoff im Boden in 4 Schichten zu je 30 cm Schichtdicke dargestellt. Zum Zeitpunkt der Aussaat der Futterleguminosen lagen an beiden Versuchsstandorten in 0 bis 120 cm Bodentiefe etwa 78 kg/ha Nitrat-N und Ammonium-N im Boden im Jahr 2019 und im Jahr 2020 etwa 50 kg/ha vor (Tab. 11), die sich zu 60 bis 75% in den ersten 30 cm Bodentiefe befanden.

Tab. 11: Nitrat und Ammonium-N-Vorrat im Boden zur Ansaat der Futterleguminosen im August

Versuchsjahr	Tiefe in cm	Caßlau		Struppen	
		Nitrat-N [kg/ha]	Ammonium-N [kg/ha]	Nitrat-N [kg/ha]	Ammonium-N [kg/ha]
2019	0-30	42,6	4,8	54,6	4,1
	30-60	13,0	2,6	9,4	2,0
	60-90	5,0	1,8	2,5	1,1
	90-120	<u>6,0</u>	<u>2,9</u>	<u>3,1</u>	<u>1,1</u>
	Summe	66,6	12,1	69,6	8,3
	∑ Nmin [kg/ha]	78,7		77,9	
2020	0-30	35,7	2,0	34,7	0,2
	30-60	5,8	0,2	3,3	0,0
	60-90	3,0	0,0	4,6	0,0
	90-120	<u>4,5</u>	<u>0,2</u>	<u>5,4</u>	<u>0,0</u>
		49,0	2,4	48,0	0,2
	∑ Nmin [kg/ha]	51,4		48,2	

#### 4.3.1 Ergebnisse 2020

##### 4.3.1.1 Standort Struppen

Am Standort Struppen lagen Mitte Dezember 2019 unter den sich etablierenden Beständen zwischen 25 und 75 kg NO<sub>3</sub>-N/ha (Abb. 46, oben) mit Schwerpunkt in der Tiefe 30 bis 60 cm und zwischen 8,2 und 10,2 kg NH<sub>4</sub>-N/ha (Abb. 44, unten) in 0 bis 120 cm vor. Die hohe Streuung der Werte innerhalb eines Prüfglieds im Hinblick auf die Summe in 0 bis 120 cm hat dazu geführt, dass weder bei Nitrat-N ( $P = 0,344$ ) noch bei Ammonium-N ( $P = 0,395$ ) signifikante Unterschiede zwischen den Prüfgliedern vorlagen.

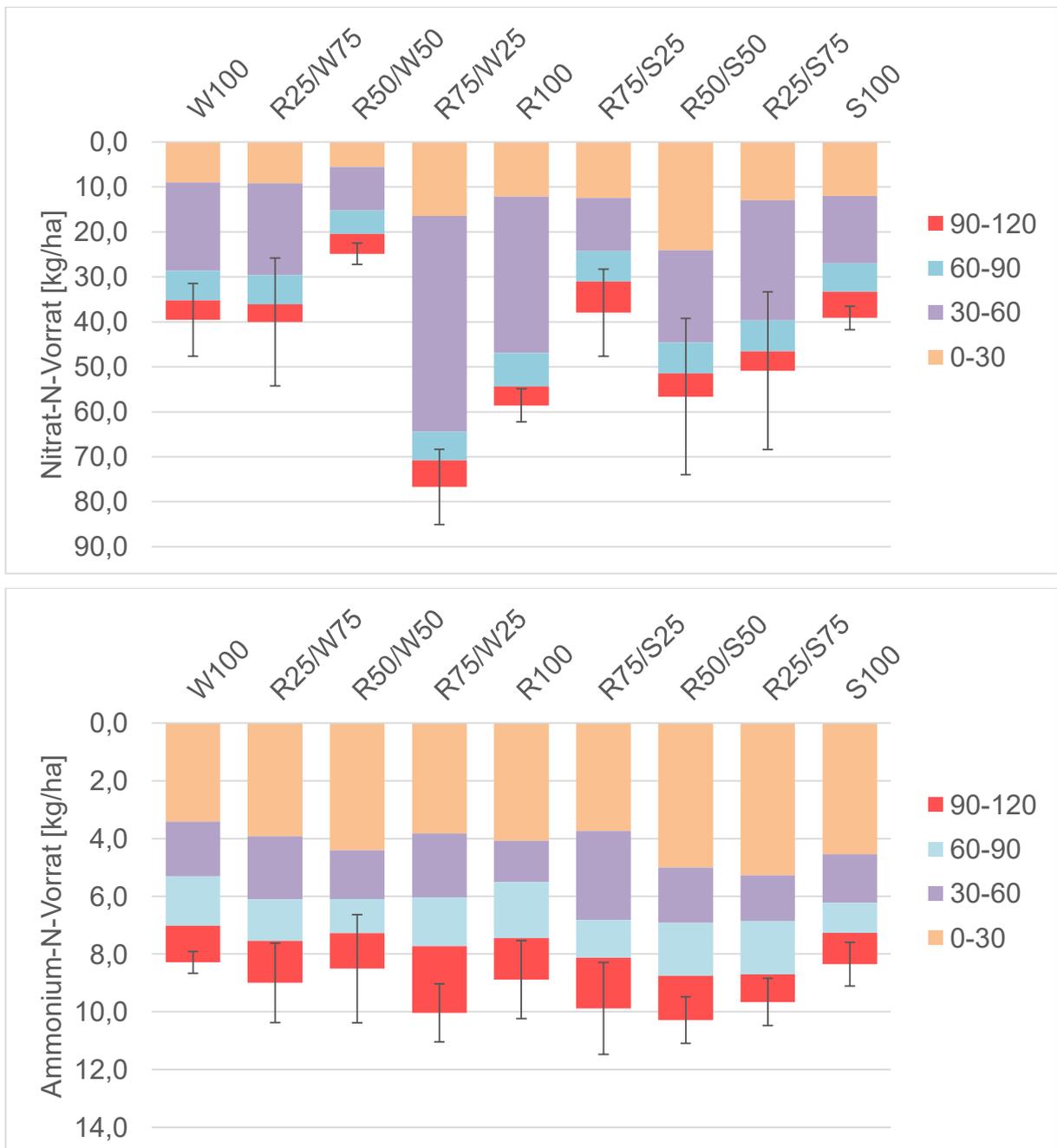


Abb. 44: Vorrat an Nitratstickstoff (oben) und Ammoniumstickstoff (unten) im Boden am 14.12.2019 unter den geprüften Futterbaubeständen der Reinsaaten und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) am Standort Struppen ( $\pm$  Standardabweichung bezogen auf die Summe 0 bis 120 cm)

Im April 2020 lagen nach Vegetationsbeginn die Vorräte an Nitrat-N im Boden unter den Beständen zwischen 11,3 bis 33,4 kg/ha (Abb. 45, oben), bei Ammonium-N zwischen 5,2 und 9,9 kg/ha (Abb. 45, unten). Die Unterschiede zwischen den Prüfgliedern waren in keinem Fall signifikant.

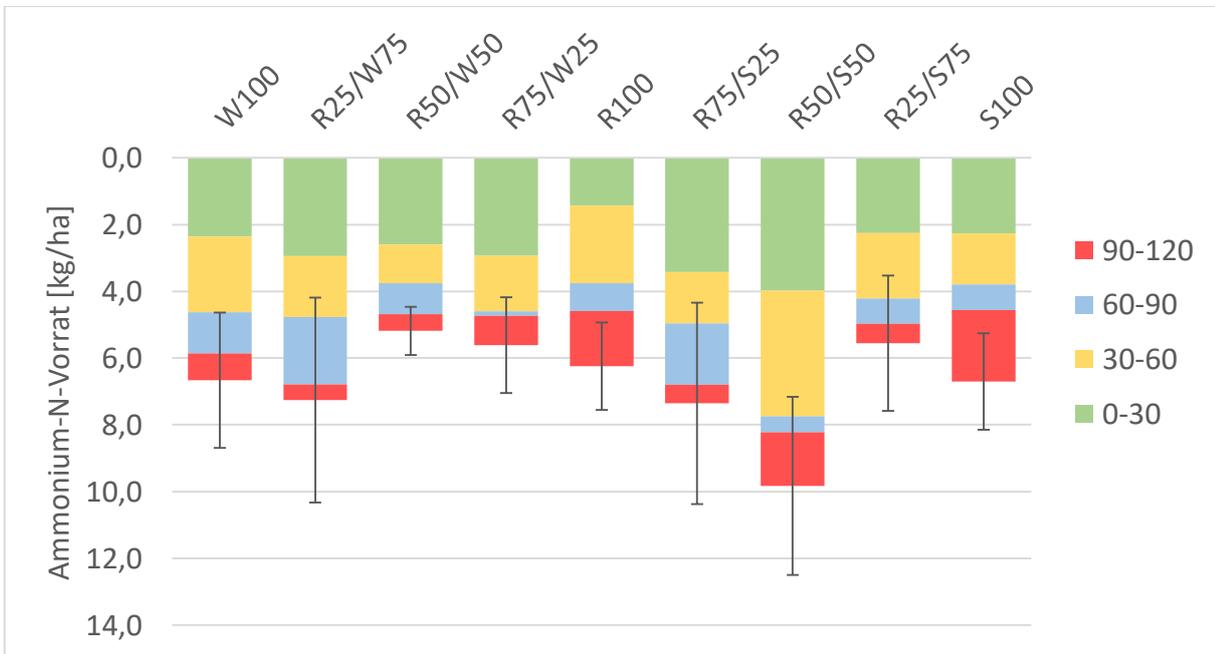
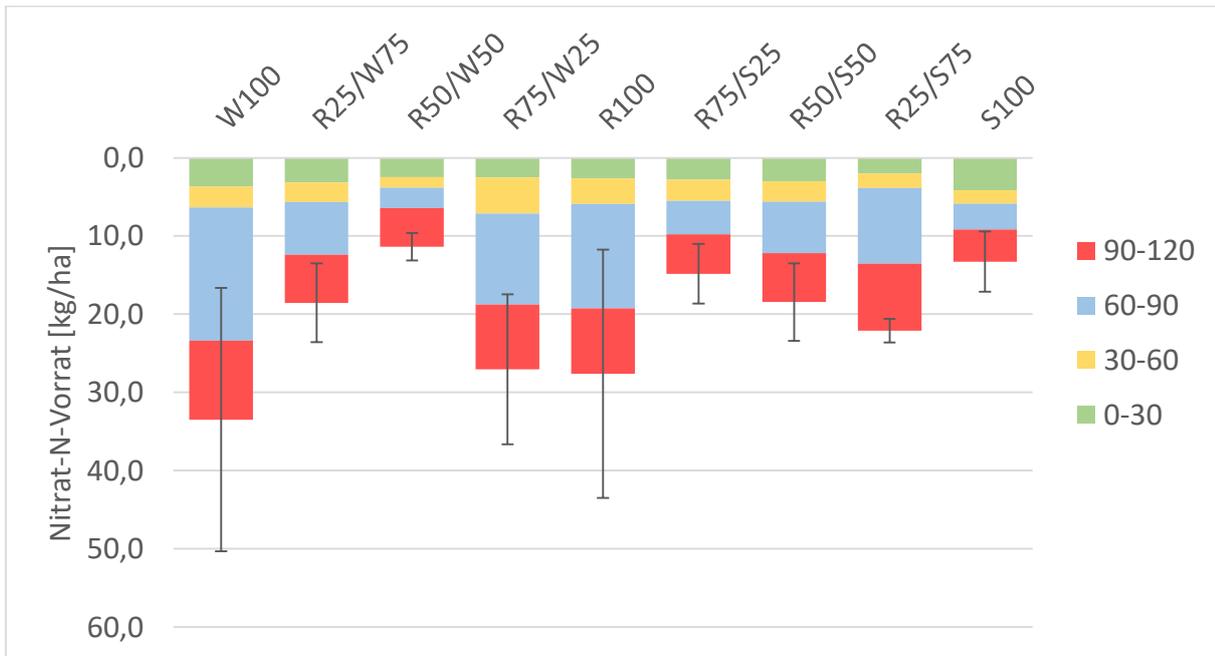


Abb. 45: Vorrat an Nitratstickstoff (oben) und Ammoniumstickstoff (unten) im Boden am 22.04.2020 unter den geprüften Futterbaubeständen der Reinsaaten und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) am Standort Struppen ( $\pm$  Standardabweichung bezogen auf die Summe 0 bis 120 cm)

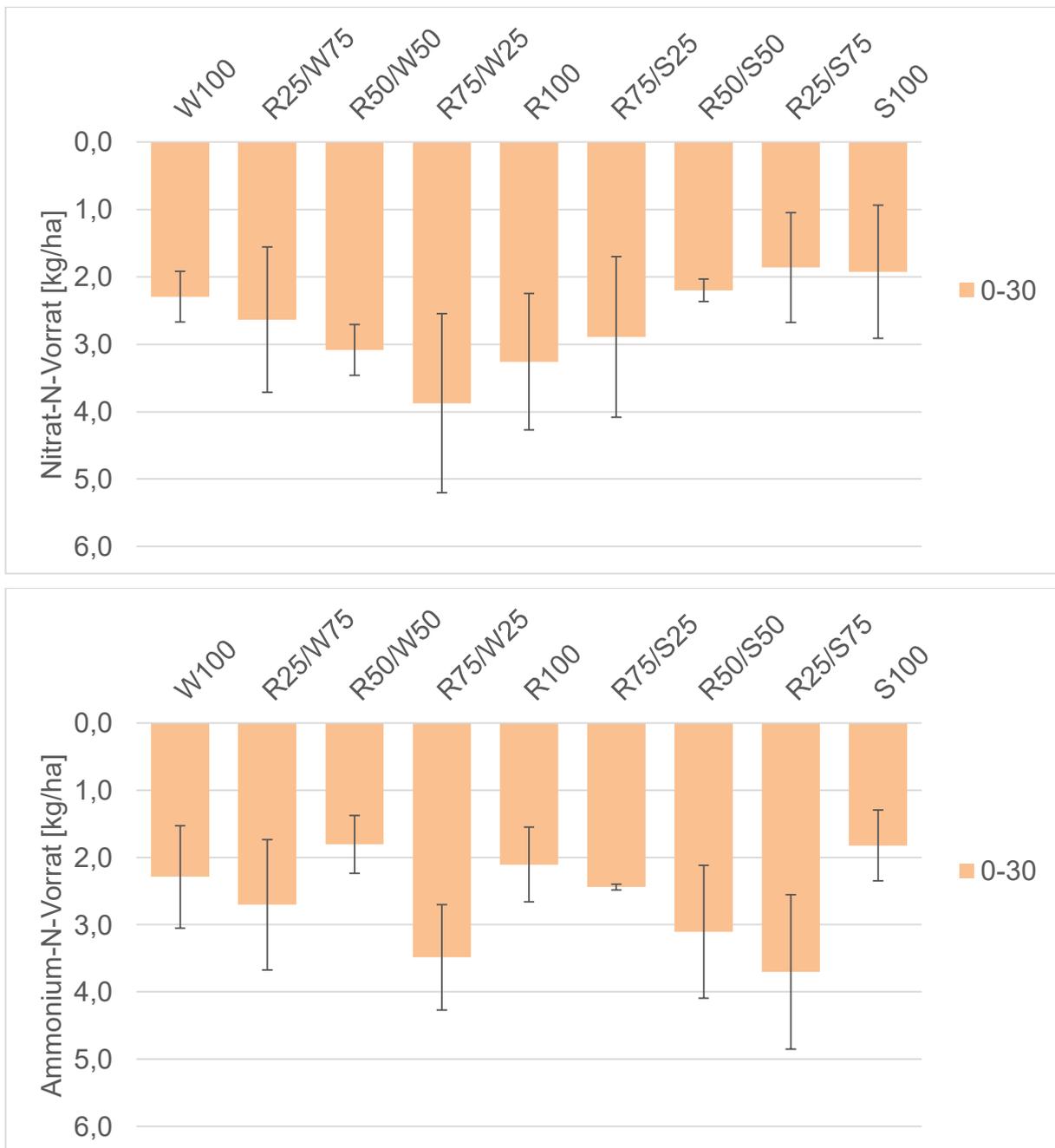


Abb. 46: Vorrat an Nitratstickstoff (oben) und Ammoniumstickstoff (unten) im Boden am 08.06.2020 unter den geprüften Futterbaubeständen der Reinsaaten und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) am Standort Struppen ( $\pm$  Standardabweichung bezogen auf die Summe 0 bis 30 cm)

Zum ersten und zweiten Schnitttermin wurden ebenfalls Nmin-Proben entnommen, allerdings nur bis in eine Tiefe von 30 cm, da im Verlauf des Wachstums der Leguminosen nicht erwartet wurde, dass sich wesentliche Veränderungen im Nmin-Vorrat des Unterbodens ergeben würden. So lagen zum ersten Schnitttermin 1,9 bis 3,9 kg  $\text{NO}_3\text{-N}$  und 1,8 bis 3,7 kg  $\text{NH}_4\text{-N/ha}$  im Boden vor (Abb. 46). Signifikante Unterschiede zwischen den Prüfgliedern waren nicht zu verzeichnen ( $P = 0,196$  bzw.  $P = 0,121$ ).

Die Beprobung im August 2020 zeichnete sich nach dem zweiten Schnitttermin unter der Rotklee-ReinSaat gegenüber allen Prüfgliedern ein mit 14,8 kg/ha signifikant höherer Nitrat-N-Vorrat in 0 bis 30 cm Tiefe ab (Abb. 47, oben,  $P < 0.001$ ). Ein zunehmender Saatanteil Nichtleguminosen im Gemenge mit Rotklee war zugleich mit einer Abnahme des Nitrat-N-Vorrates verbunden. Im Falle des Spitzwegerichs war unter der ReinSaat sogar ein noch geringerer Vorrat an Nitrat-N im Boden zu finden (1,7 kg/ha). Der Vorrat an  $\text{NH}_4\text{-N}$  im Boden lag unter allen Prüfgliedern bei unter 2 kg/ha und unterschied sich zwischen den Prüfgliedern nicht signifikant (Abb. 47, unten).

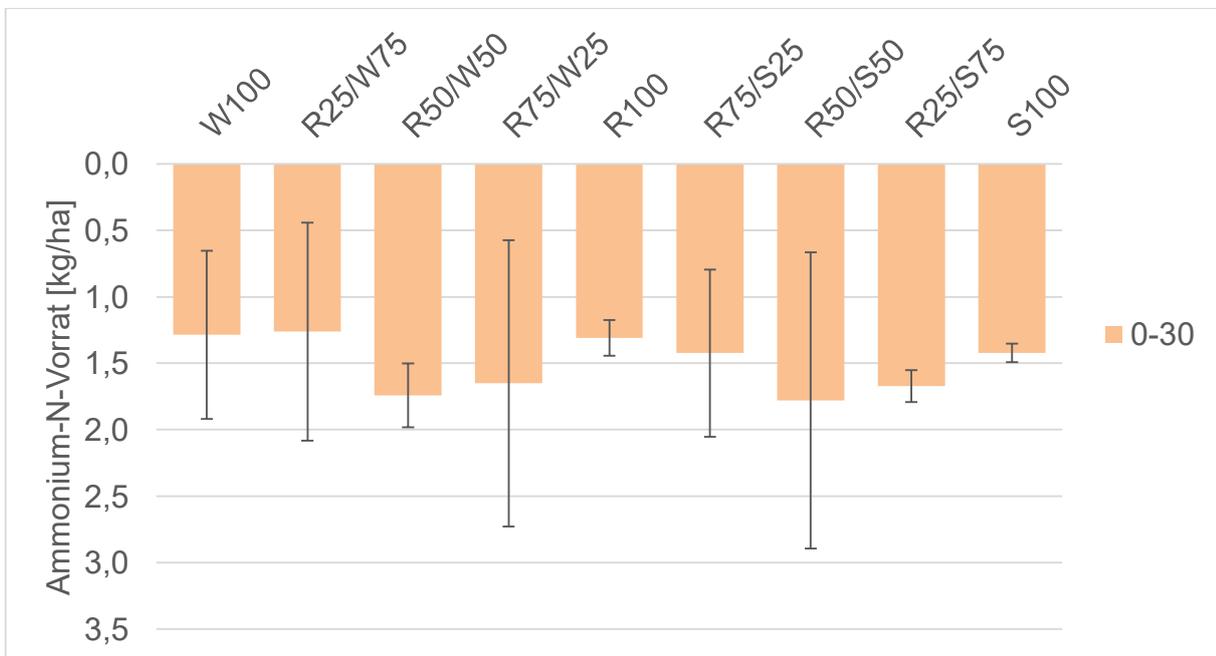
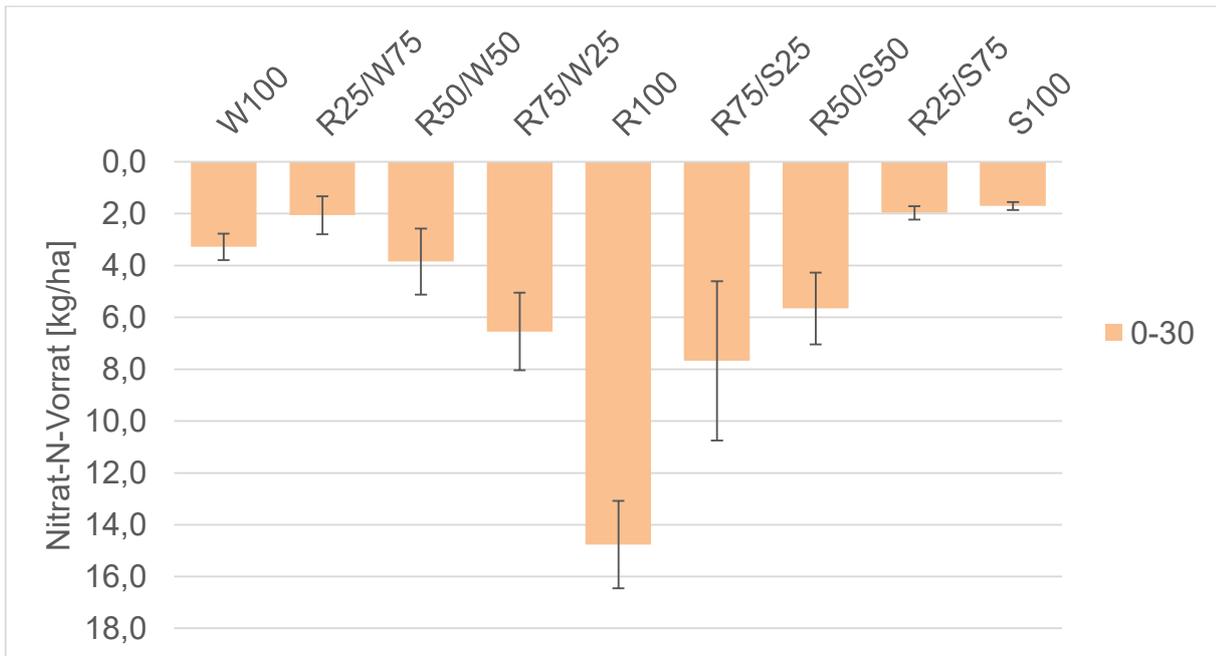


Abb. 47: Vorrat an Nitratstickstoff (oben) und Ammoniumstickstoff (unten) im Boden am 19.08.2020 unter den geprüften Futterbaubeständen der Reinsaaten und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) am Standort Struppen ( $\pm$  Standardabweichung bezogen auf die Summe 0 bis 30 cm)



Abb. 48: Vorrat an Nitratstickstoff (oben) und Ammoniumstickstoff (unten) im Boden am 28.10.2020 unter den geprüften Futterbaubeständen der Reinsaaten und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) am Standort Struppen ( $\pm$  Standardabweichung bezogen auf die Summe 0 bis 120 cm)

Nach dem letzten Schnitt im Oktober 2020 und vor Umbruch der Bestände lagen unter den Reinsaaten in 0 bis 120 cm Tiefe 44,9 kg  $\text{NO}_3\text{-N/ha}$  (Rotklee), 21,6 kg  $\text{NO}_3\text{-N}$  (Welsches Weidelgras) und 12,9 kg  $\text{NO}_3\text{-N/ha}$  (Spitzwegerich) vor, während sich unter den Gemengen mit Nichtleguminosen jeweils geringere Vorräte befanden (Abb. 48, oben). Die Unterschiede zwischen den Prüfgliedern waren allerdings nicht signifikant ( $P = 0,211$ ). Dieses traf auch auf den Vorrat an Ammonium-N in 0 bis 120 cm Tiefe zu ( $P = 0,830$ ), der zwischen 14,6 und 26,3 kg/ha lag (Abb. 48, unten).

#### 4.3.1.2 Standort Caßlau

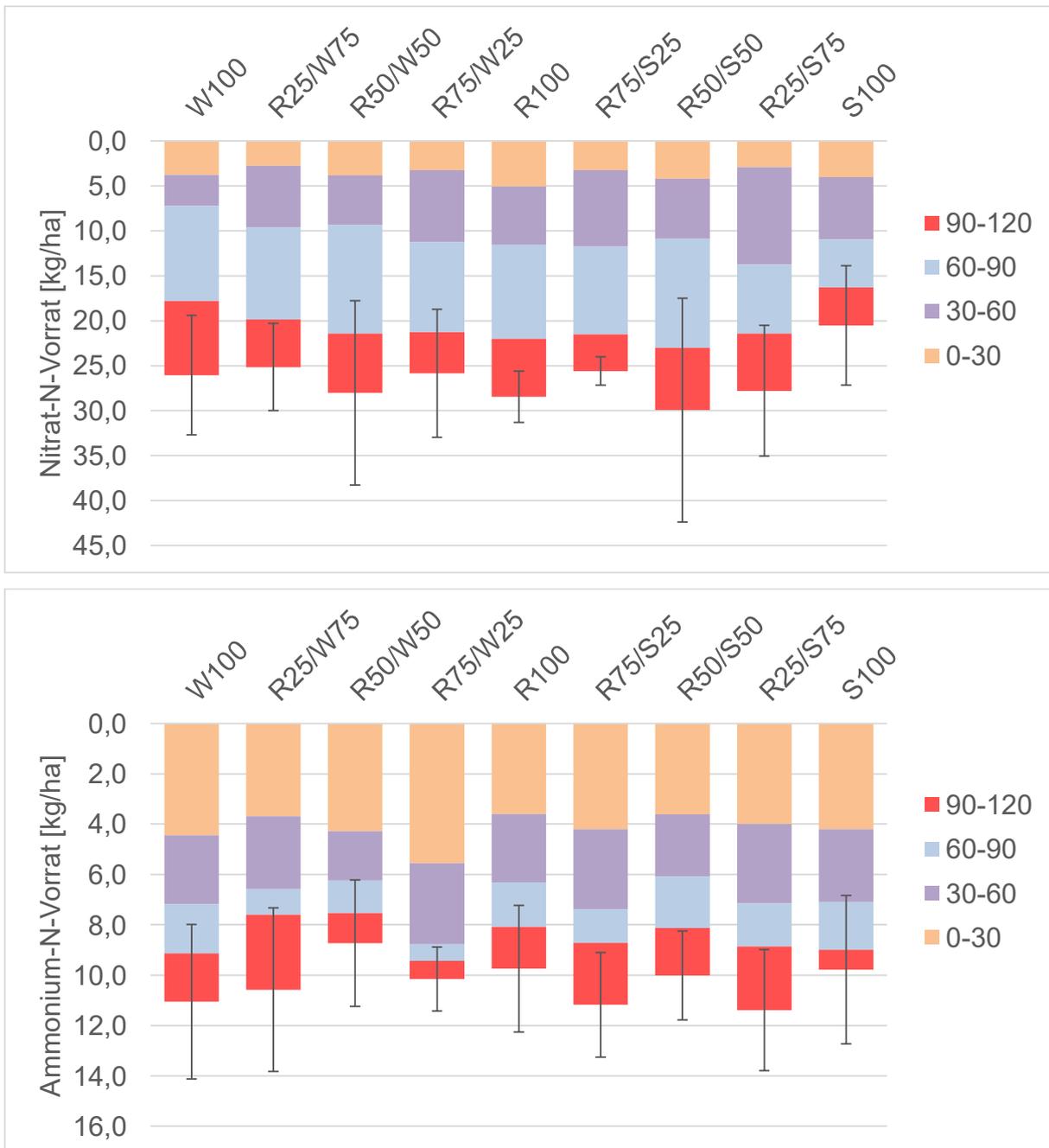


Abb. 49: Vorrat an Nitratstickstoff (oben) und Ammoniumstickstoff (unten) im Boden am 21.12.2019 unter den geprüften Futterbaubeständen der Reinsaaten und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) am Standort Caßlau ( $\pm$  Standardabweichung bezogen auf die Summe 0 bis 120 cm)

Zum Ende des Jahres 2019 lagen am Standort Caßlau mit Ausnahme der Reinsaat des Spitzwegerichs (20,4 kg  $\text{NO}_3\text{-N/ha}$ ) nur zwischen 25 und 30 kg  $\text{NO}_3\text{-N/ha}$  in 0 bis 120 cm Bodentiefe vor, die sich auch nicht signifikant voneinander unterschieden (Abb. 49, oben). Gleichzeitig lagen zusätzlich 8,8 bis 11,4 kg/ha als Ammoniumstickstoff im Boden (0 bis 120 cm) vor (Abb. 49, unten). Die sich allerdings auch nicht signifikant voneinander unterschieden.

Bis Mitte April 2020 änderten sich weder bei Nitrat-N (4,1 und 11,0 kg/ha) noch bei Ammonium-N (4,5 und 7,5 kg/ha) die Vorräte an pflanzenverfügbarem Stickstoff unter den Beständen kaum (Abb. 50).

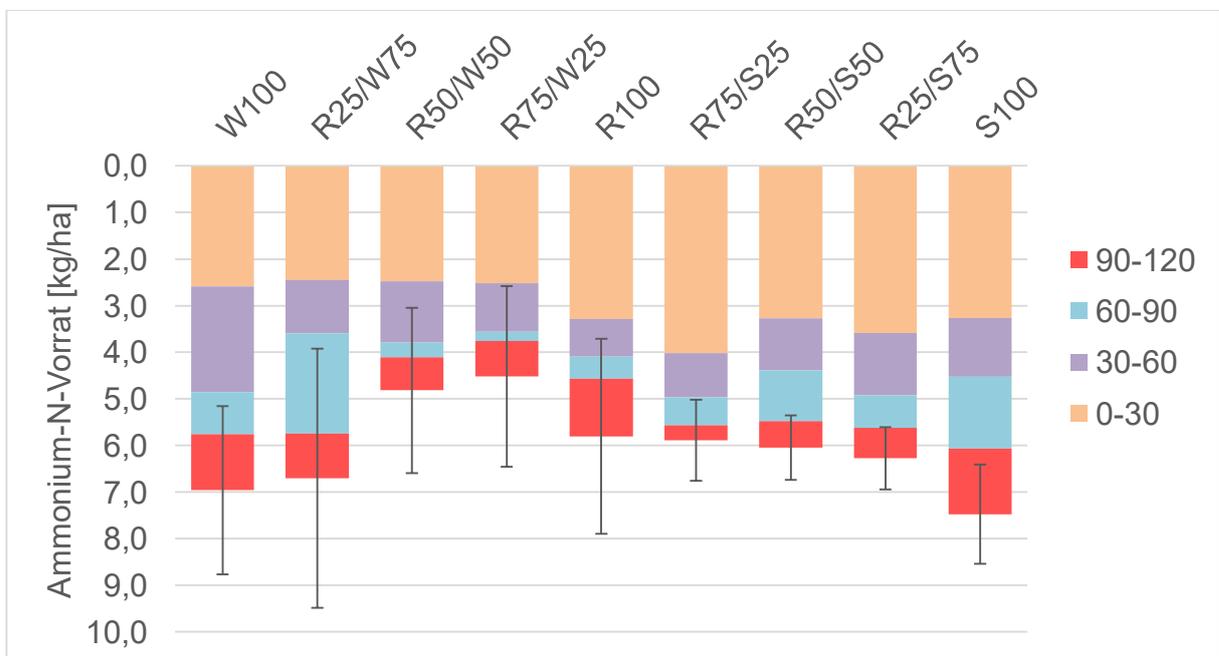
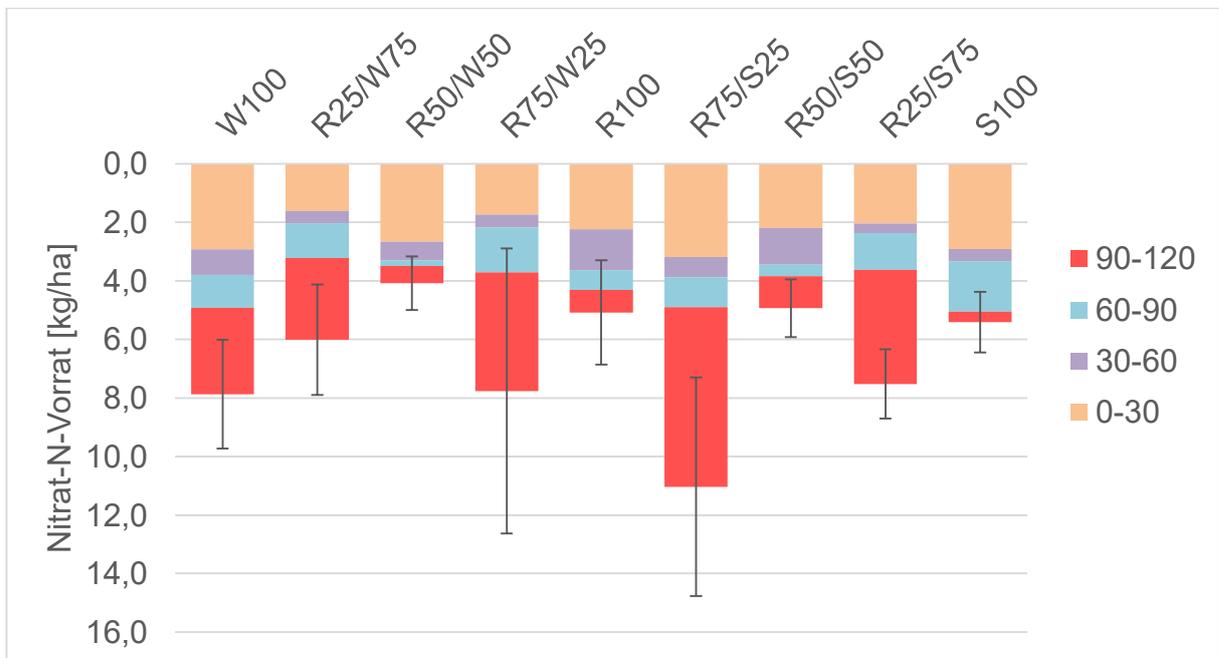


Abb. 50: Vorrat an Nitratstickstoff (oben) und Ammoniumstickstoff (unten) im Boden am 21.04.2020 unter den geprüften Futterbaubeständen der Reinsaaten und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) am Standort Caßlau ( $\pm$  Standardabweichung bezogen auf die Summe 0 bis 120 cm)

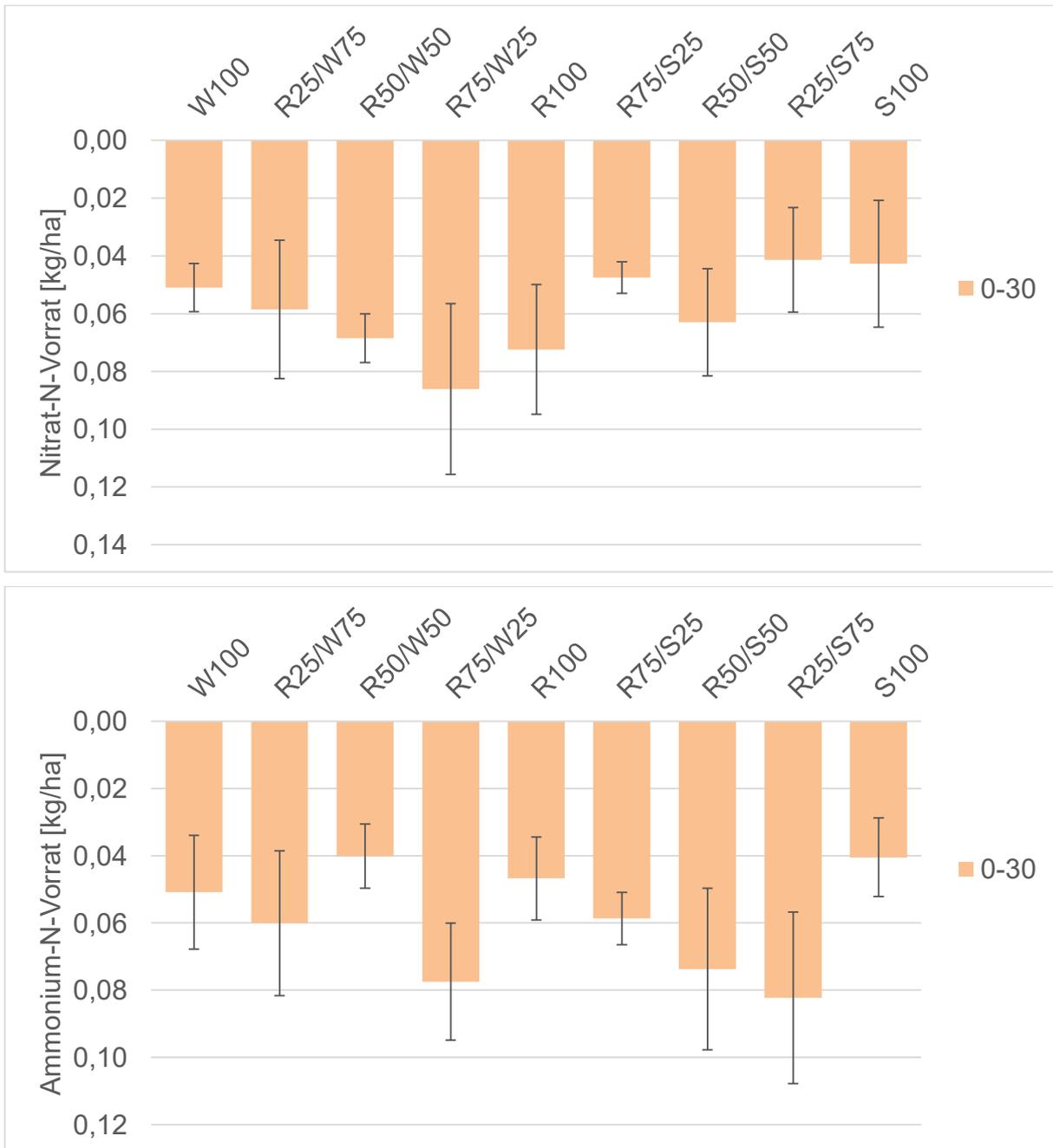


Abb. 51: Vorrat an Nitratstickstoff (oben) und Ammoniumstickstoff (unten) im Boden am 04.06.2020 unter den geprüften Futterbaubeständen der Reinsaaten und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) am Standort Caßlau ( $\pm$  Standardabweichung bezogen auf die Summe 0 bis 30 cm)

Bis Anfang Juni 2020 sanken die Nmin-Vorräte sowohl bei Nitrat als auch bei Ammonium unter allen Prüfgliedern auf sehr niedrige Werte von unter 0,1 kg N/ha ab, ohne dass die unterschiedlichen Bestände sich markant voneinander unterschieden (Abb. 51). Im Anschluss stiegen die Werte bis Mitte August 2020 wieder auf 2,2 bis 8,9 kg NO<sub>3</sub>-N/ha (Abb. 52, oben) und 1,2 bis 3,1 kg NH<sub>4</sub>-N/ha (Abb. 52, unten) an.

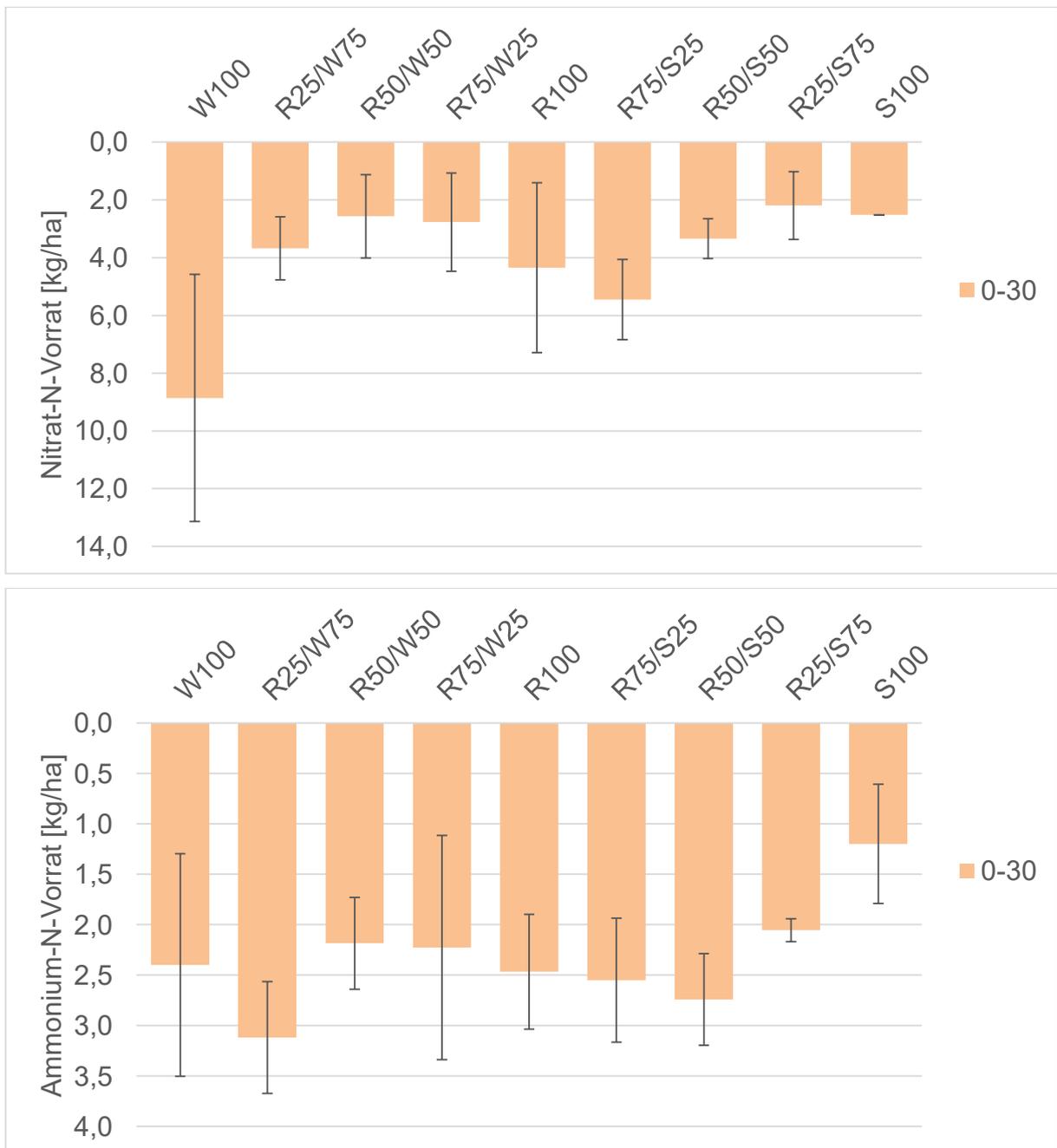


Abb. 52: Vorrat an Nitratstickstoff (oben) und Ammoniumstickstoff (unten) im Boden am 13.08.2020 unter den geprüften Futterbaubeständen der Reinsaaten und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) am Standort Caßlau ( $\pm$  Standardabweichung bezogen auf die Summe 0 bis 30 cm)

Bis in den Herbst 2020 vor dem Umbruch der Bestände blieben die Vorräte an Nitrat- und Ammoniumstickstoff im Boden am Standort Caßlau vergleichsweise gering (Abb. 53), wobei der Rotklee in Reinsaat mit 18,1 kg  $\text{NO}_3\text{-N/ha}$  den höchsten, der Spitzwegerich in Reinsaat mit 6,1 kg  $\text{NO}_3\text{-N/ha}$  in 0 bis 120 cm Tiefe den geringsten Vorrat aller geprüften Bestände aufwies (Abb. 55, oben). Mit Werten zwischen 4,9 und 8,4 kg/ha in 0 bis 120 Tiefe fielen auch die Vorräte an Ammoniumstickstoff im Boden vergleichsweise gering aus. Sie unterschieden sich auch nicht signifikant zwischen den Prüfgliedern (Abb. 53, unten).

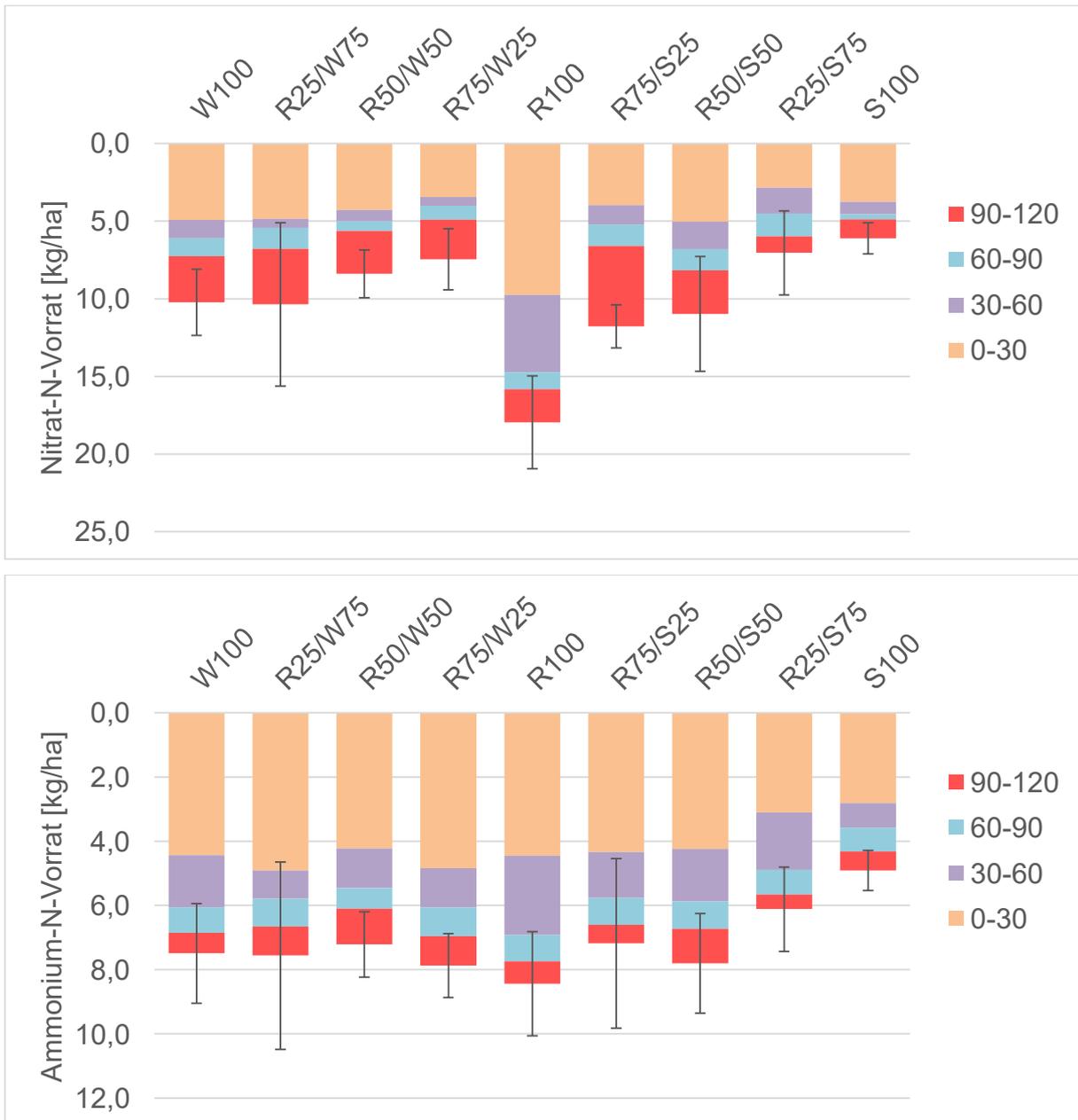


Abb. 53: Vorrat an Nitratstickstoff (oben) und Ammoniumstickstoff (unten) im Boden am 23.10.2020 unter den geprüften Futterbaubeständen der Reinsaaten und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) am Standort Caßlau ( $\pm$  Standardabweichung bezogen auf die Summe 0 bis 120 cm)

## 4.3.2 Ergebnisse 2021

### 4.3.2.1 Standort Struppen



Abb. 54: Vorrat an Nitratstickstoff (oben) und Ammoniumstickstoff (unten) im Boden am 15.12.2020 unter den geprüften Futterbaubeständen der Reinsaaten und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) am Standort Struppen ( $\pm$  Standardabweichung bezogen auf die Summe 0 bis 120 cm)

Nach Beginn des Wachstums der Futterbestände im Herbst 2020 differenzierte sich der Nitrat-N-Vorrat im Boden in Abhängigkeit von der Zusammensetzung der Bestände (Abb. 54, oben). Unter Rotklee in Reinsaat befanden sich mit 17,1 kg  $\text{NO}_3\text{-N/ha}$  in 0 bis 120 cm die höchsten, unter Welschem Weidelgras und Spitzwegerich in Reinsaat mit 6,5 bzw. 4,1 kg  $\text{NO}_3\text{-N}$  die geringsten Vorräte. Die Gemenge aus Rotklee mit den Nichtleguminosen wiesen jeweils dazwischenliegende Gesamtvorräte an Nitratstickstoff im Boden auf. Mit Vorräten zwischen 4,0 und 6,6 kg  $\text{NH}_4\text{-N/ha}$  variierten die Ammoniumvorräte in 0 bis 120 cm Tiefe zwischen den Prüfgliedern nur wenig (Abb. 54, unten)

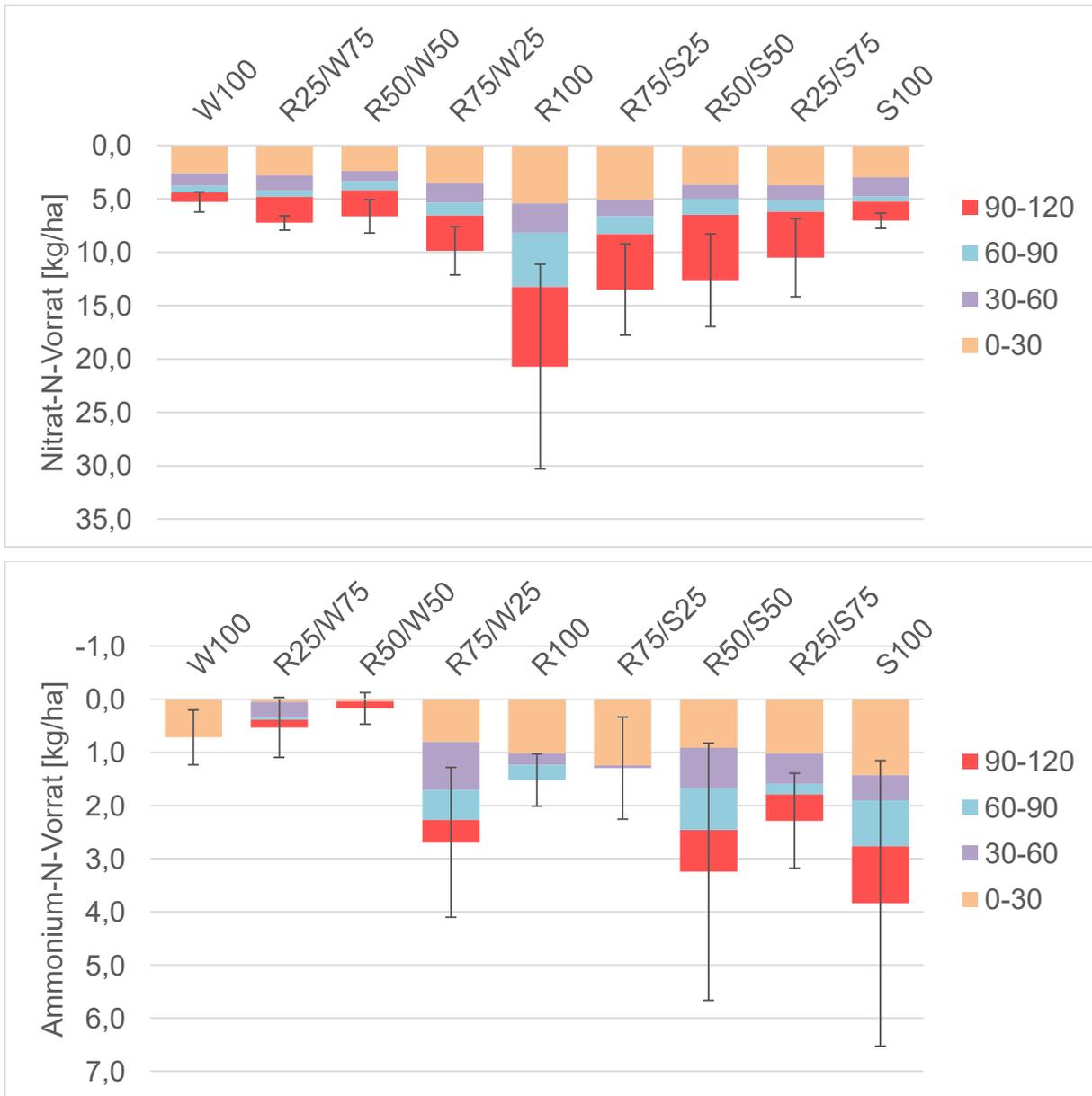


Abb. 55: Vorrat an Nitratstickstoff (oben) und Ammoniumstickstoff (unten) im Boden am 19.04.2021 unter den geprüften Futterbaubeständen der Reinsaaten und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) am Standort Struppen ( $\pm$  Standardabweichung bezogen auf die Summe 0 bis 120 cm)

Mit einsetzendem Wachstum im Frühjahr 2020 differenzierte sich der Nitratvorrat im Boden unter den Beständen. Mit insgesamt 20,7 kg  $\text{NO}_3\text{-N/ha}$  startete der Rotklee in Reinsaat mit der größten Menge in 0 bis 120 cm Tiefe, das Welsche Weidelgras in Reinsaat mit nur 5,3 kg  $\text{NO}_3\text{-N/ha}$  mit der geringsten Menge dicht gefolgt von der Reinsaat Spitzwegerich mit 7,1 kg  $\text{NO}_3\text{-N/ha}$  (Abb. 55, oben). Die Ammonium-N-Vorräte im Boden wiesen zugleich eine hohe Streuung innerhalb der vier Wiederholungen eines Prüfglieds auf. Sie lagen aber insgesamt nur zwischen 0,1 und 3,9 kg/ha (Abb. 55, unten).

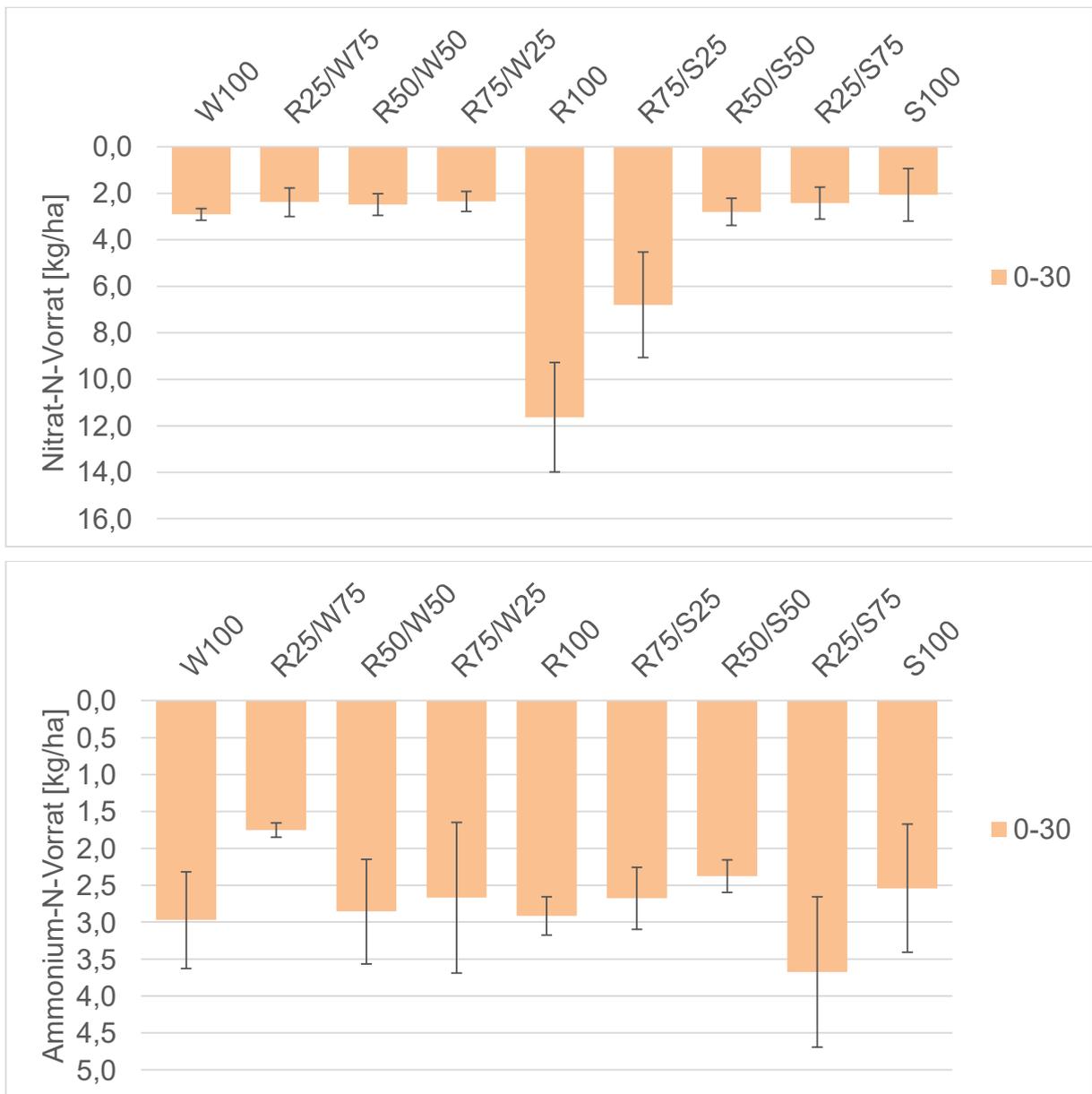


Abb. 56: Vorrat an Nitratstickstoff (oben) und Ammoniumstickstoff (unten) im Boden am 05.06.2021 unter den geprüften Futterbaubeständen der Reinsaaten und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) am Standort Struppen ( $\pm$  Standardabweichung bezogen auf die Summe 0 bis 30 cm)

Nach dem ersten Schnittermin zeichneten sich alle Bestände mit Welschem Weidelgras durch geringe Nitrat-N-Vorräte im Oberboden (0 bis 30) von jeweils unter 3 kg/ha aus, während der Rotklee in Reinsaat mit 11,6 kg/ha den Nitrat-N-Vorrat im Boden nicht effizient absenken konnte, im Gegensatz zum Spitzwegerich in Reinsaat, der nur 2,1 kg/ha an Nitratstickstoff hinterließ (Abb. 56, oben). Die Ammonium-N-Vorräte im Boden (0 bis 30 cm) wurden durch die Zusammensetzung der Futterbestände nur wenig beeinflusst und lagen jeweils unter 3,8 kg/ha (Abb. 56, unten). An der Höhe der Nmin-Vorräte im Boden änderte sich bis zum zweiten Schnittermin insgesamt nur wenig (Abb. 57).

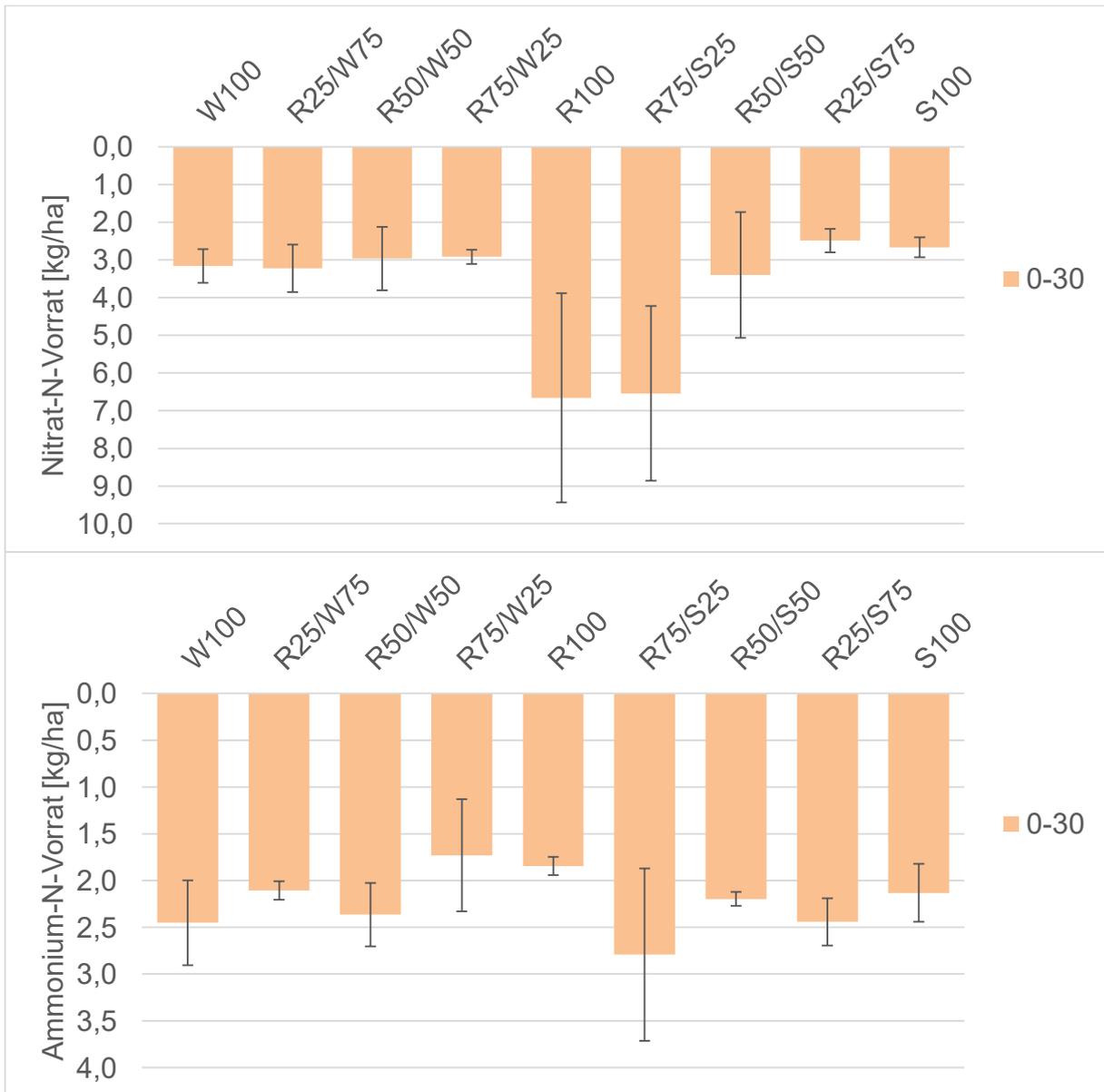


Abb. 57: Vorrat an Nitratstickstoff (oben) und Ammoniumstickstoff (unten) im Boden am 09.07.2021 unter den geprüften Futterbaubeständen der Reinsaaten und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) am Standort Struppen ( $\pm$  Standardabweichung bezogen auf die Summe 0 bis 30 cm)

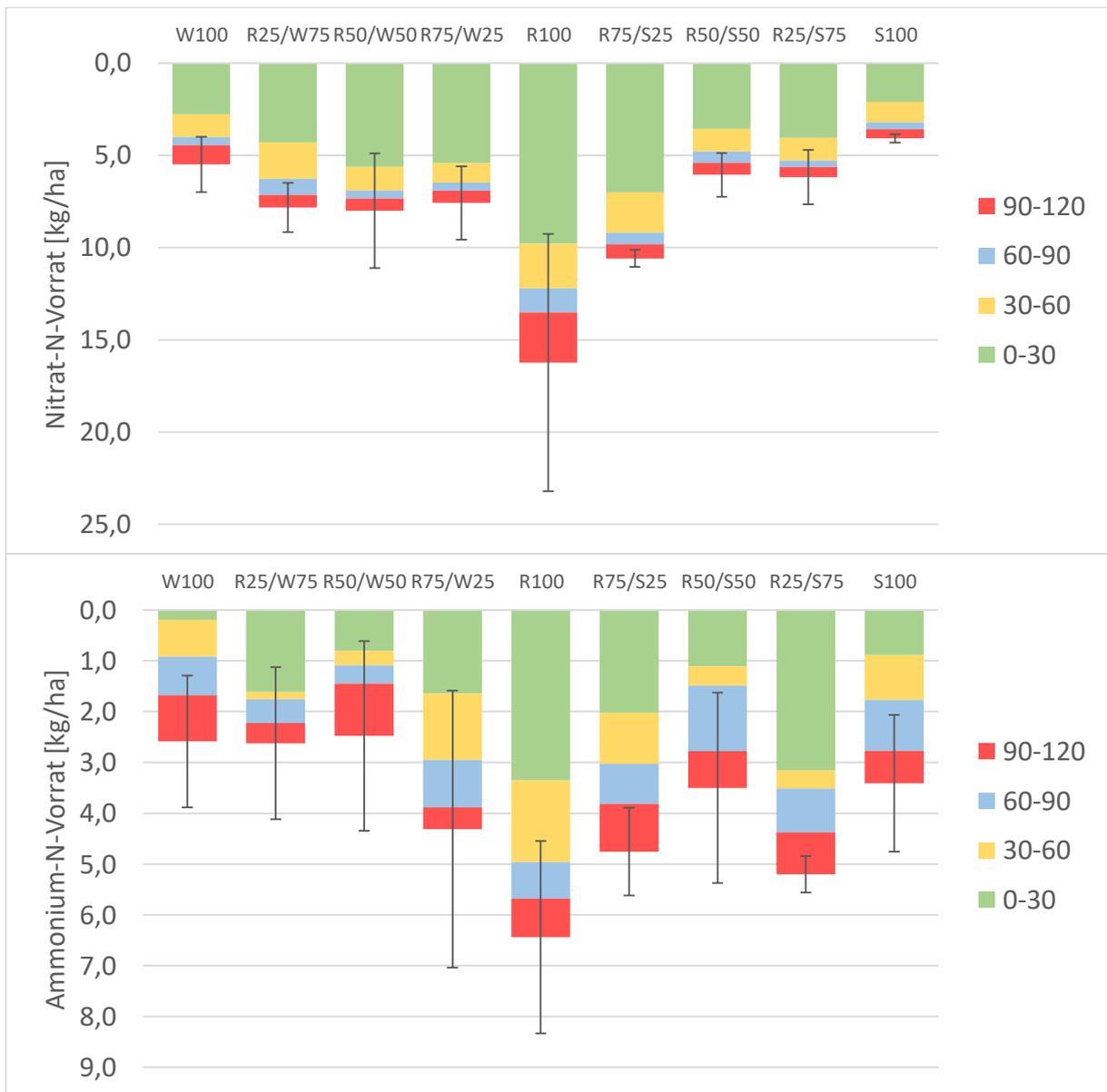


Abb. 58: Vorrat an Nitratstickstoff (oben) und Ammoniumstickstoff (unten) im Boden am 22.10.2021 unter den geprüften Futterbaubeständen der Reinsaaten und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) am Standort Struppen ( $\pm$  Standardabweichung bezogen auf die Summe 0 bis 120 cm)

Direkt nach der letzten Schnittnutzung der Futterbestände Ende Oktober 2021 zeichnete sich am Standort Struppen erneut eine Gruppierung der Bestände hinsichtlich der residualen Nitrat-N-Vorräte im Boden ab: In 0 bis 120 cm Bodentiefe hinterließ der Rotklee in Reinsaat mit 16,2 kg/ha die höchsten, der Spitzwegerich in Reinsaat mit 4,0 kg/ha die geringste Menge. Welsches Weidelgras hinterließ mit 5,4 kg/ha ebenfalls sehr geringe Nitrat-N-Vorräte im Boden. Die Gemenge lagen in allen Fällen zwischen den Reinsaaten der Nichtleguminosen und dem Rotklee in Reinsaat (Abb. 58, oben). Die Vorräte an residualem Ammonium-N im Boden folgten in der Regel den Abstufungen zwischen den Prüfgliedern, die bei Nitrat vorlagen. Sie lagen aber bezogen auf 0 bis 120 cm Tiefe nur zwischen 2,5 und 6,5 kg N/ha (Abb. 58, unten).

#### 4.3.2.2 Standort Caßlau

An Standort Caßlau zeichneten die verschiedenen Futterbestände Ende 2020 noch nicht signifikant unterschiedlich im Hinblick auf den Vorrat an Nitrat- und Ammoniumstickstoff im Boden (Abb. 59). Sie lagen unter allen Prüfgliedern in 0 bis 120 cm Tiefe unter 32,1 kg  $\text{NO}_3\text{-N/ha}$  und unter 4,4 kg  $\text{NH}_4\text{-N/ha}$ .

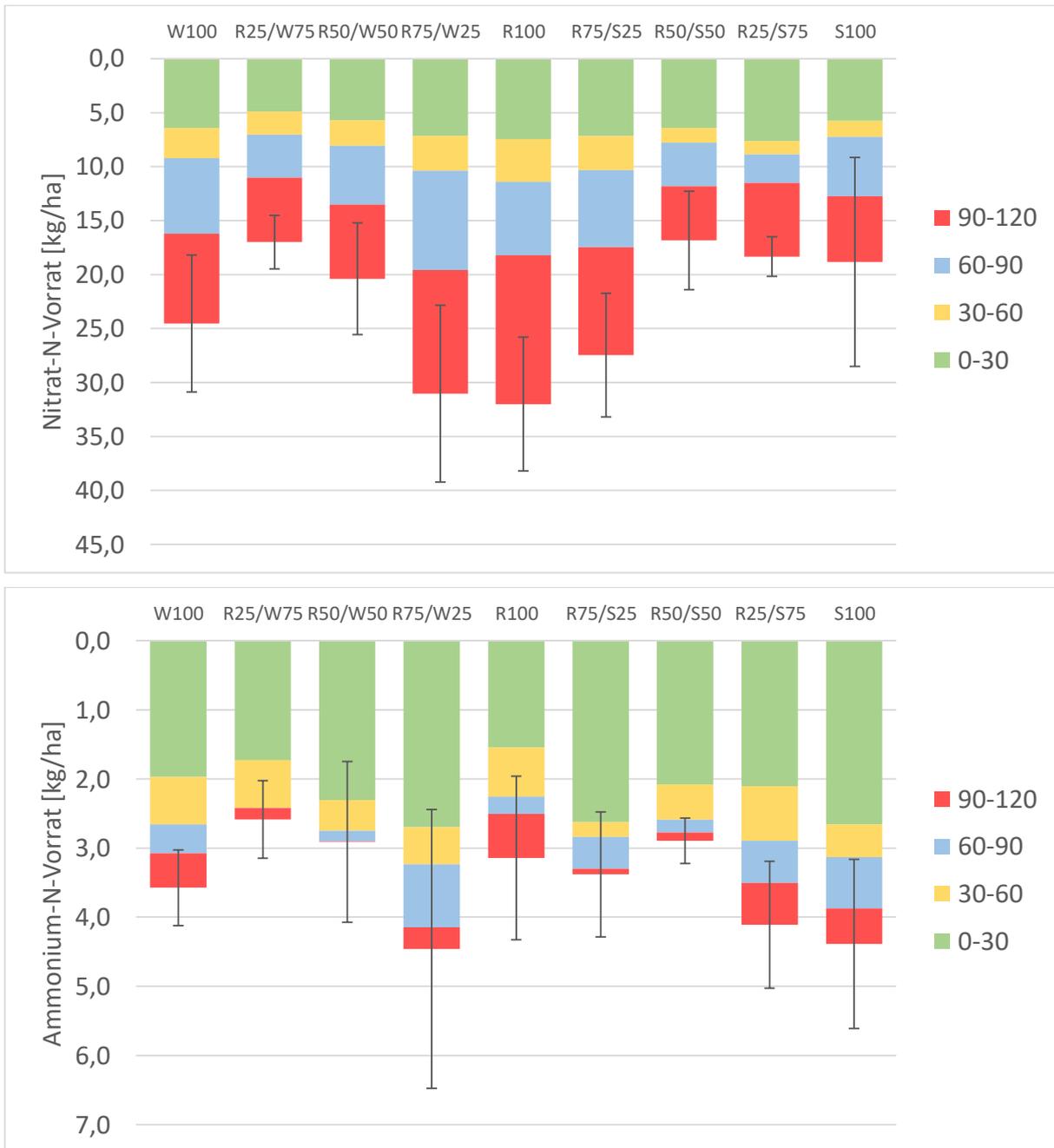


Abb. 59: Vorrat an Nitratstickstoff (oben) und Ammoniumstickstoff (unten) im Boden am 12.11.2020 unter den geprüften Futterbaubeständen der Reinsaaten und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) am Standort Caßlau ( $\pm$  Standardabweichung bezogen auf die Summe 0 bis 120 cm)

Das änderte sich grundsätzlich auch nicht bis Ende April 2021 (Abb. 60). Lediglich der Vorrat an Ammoniumstickstoff im Boden sank auf unter 4,5 kg/ha unter allen Prüfgliedern ab (Abb. 60, unten).

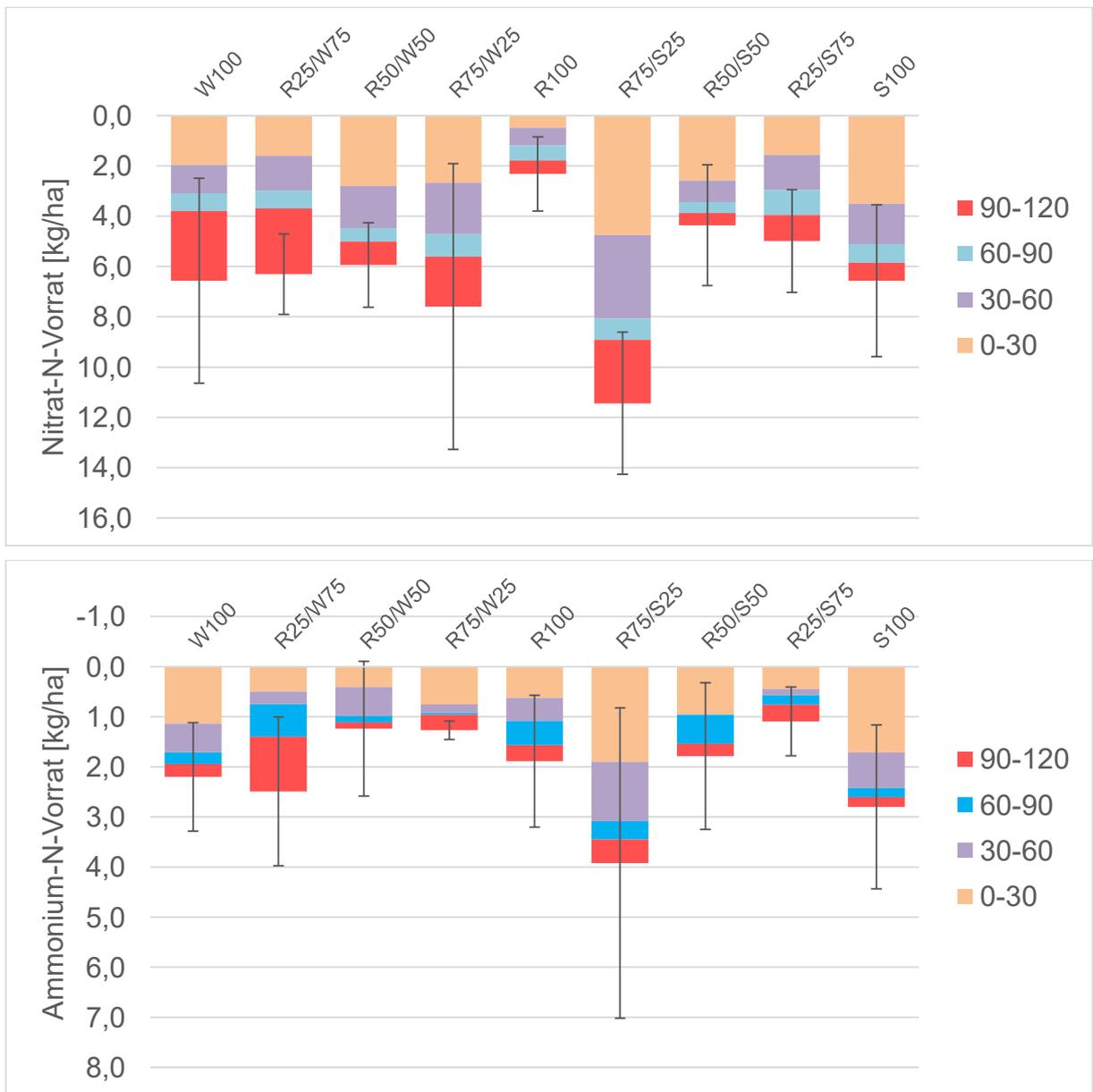


Abb. 60: Vorrat an Nitratstickstoff (oben) und Ammoniumstickstoff (unten) im Boden am 21.04.2021 unter den geprüften Futterbaubeständen der Reinsatten und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) am Standort Caßlau ( $\pm$  Standardabweichung bezogen auf die Summe 0 bis 120 cm)

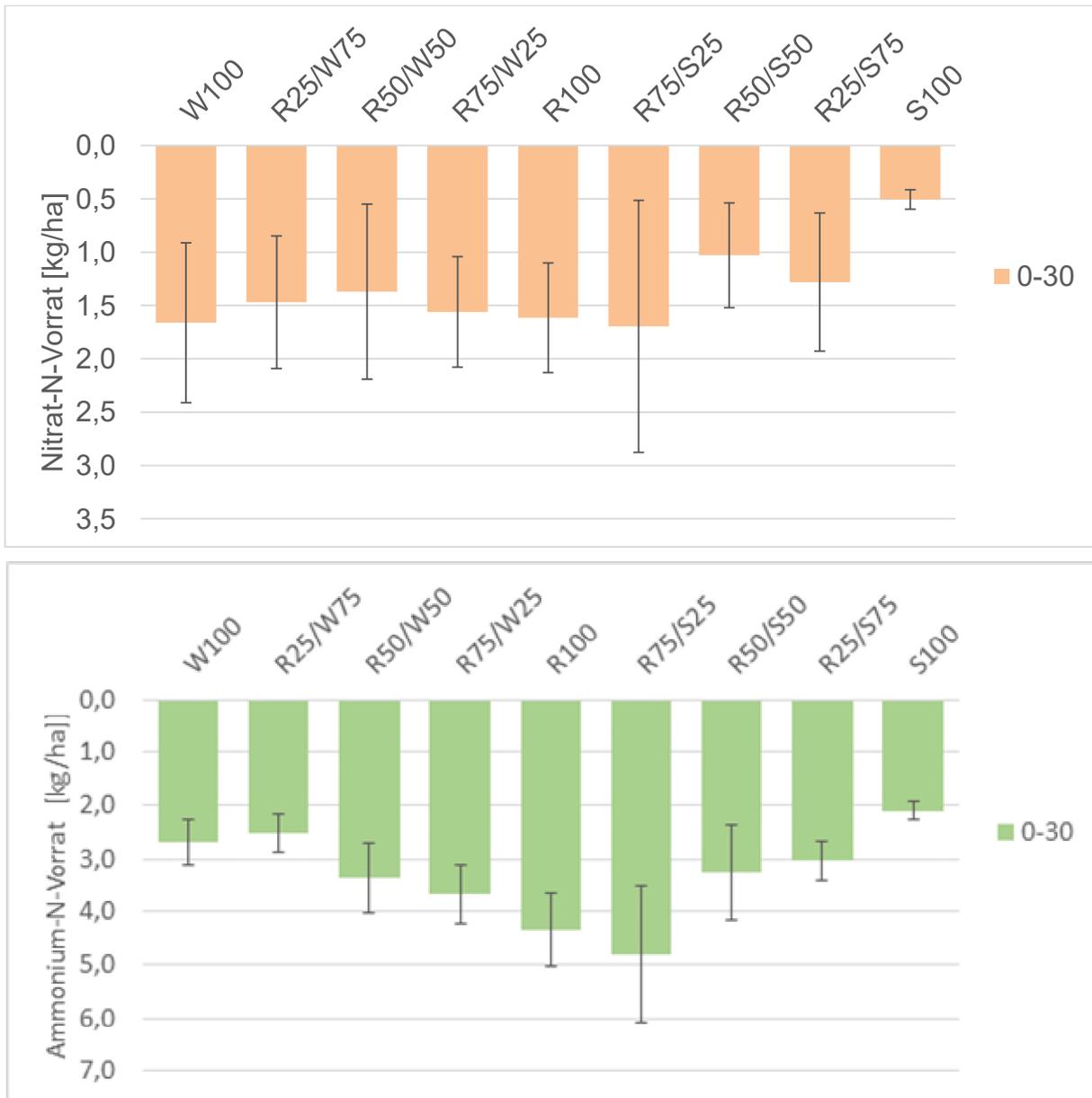


Abb. 61: Vorrat an Nitratstickstoff (oben) und Ammoniumstickstoff (unten) im Boden am 19.06.2021 unter den geprüften Futterbaubeständen der Reinsaaten und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) am Standort Caßlau ( $\pm$  Standardabweichung bezogen auf die Summe 0 bis 30 cm)

Nach dem ersten Schnitt waren im Jahr 2021 am Standort Caßlau nur noch geringe Mengen an Nitrat-N mit unter 2 kg/ha und Ammonium-N mit unter 5 kg/ha im Oberboden vorhanden (Abb. 61), wobei sich der Einfluss der unterschiedlich zusammengesetzten Pflanzenbestände als gering erwies. Lediglich der Spitzwegerich in Reinsaat zeichnete sich durch die geringsten Mengen an Nitrat-N (0,5 kg/ha; Abb. 61, oben) und Ammonium-N (2,1 kg/ha; Abb. 61, unten) aller geprüften Futterbestände aus. Zum zweiten Schnitttermin stieg der Vorrat an Nitratstickstoff im Boden (0 bis 30 cm) auf im Mittel der Prüfglieder 5,5 kg/ha an, ohne das sich signifikante Unterschiede zwischen den Prüfgliedern nachweisen ließen (Abb. 62, oben). Hingegen blieb der Vorrat an Ammoniumstickstoff im Boden im Vergleich zum ersten Schnitttermin im Jahr 2021 weitgehend konstant (Abb. 62, unten).

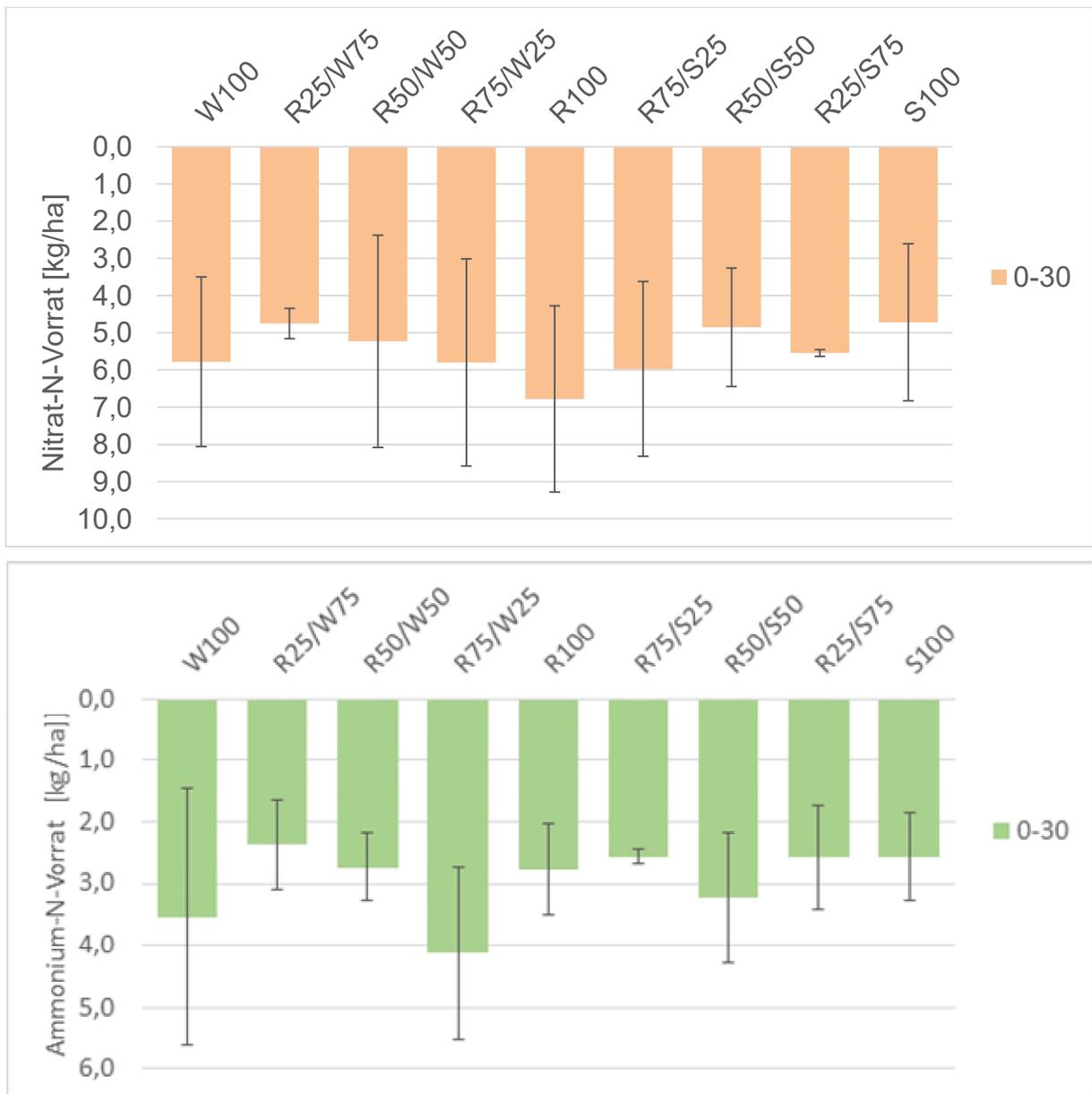


Abb. 62: Vorrat an Nitratstickstoff (oben) und Ammoniumstickstoff (unten) im Boden am 08.07.2021 unter den geprüften Futterbaubeständen der Reinsaaten und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) am Standort Caßlau ( $\pm$  Standardabweichung bezogen auf die Summe 0 bis 30 cm)

Nach dem letzten Schnitttermin im Oktober 2021 wurde der Nmin-Vorrat im Boden auch am Standort Caßlau wieder bis in eine Tiefe von 120 cm erhoben. Insgesamt lagen zu diesem Zeitpunkt nur geringe Mengen an Nitratstickstoff im Boden vor (bis maximal 13,5 kg/ha). Der Spitzwegerich führte in Reinsaat und im Gemenge mit Rotklee zu einer leicht geringeren Restnitratmenge im Boden als der Rotklee in Reinsaat und alle Ansaaten mit Welschem Weidelgras (Abb. 63, oben). Mit maximal 4,2 kg/ha waren auch zu Vegetationsende nur vergleichsweise geringe Mengen an Ammoniumstickstoff im Boden nachzuweisen, die sich zudem nicht systematisch zwischen den Beständen unterschieden (Abb. 63, unten).

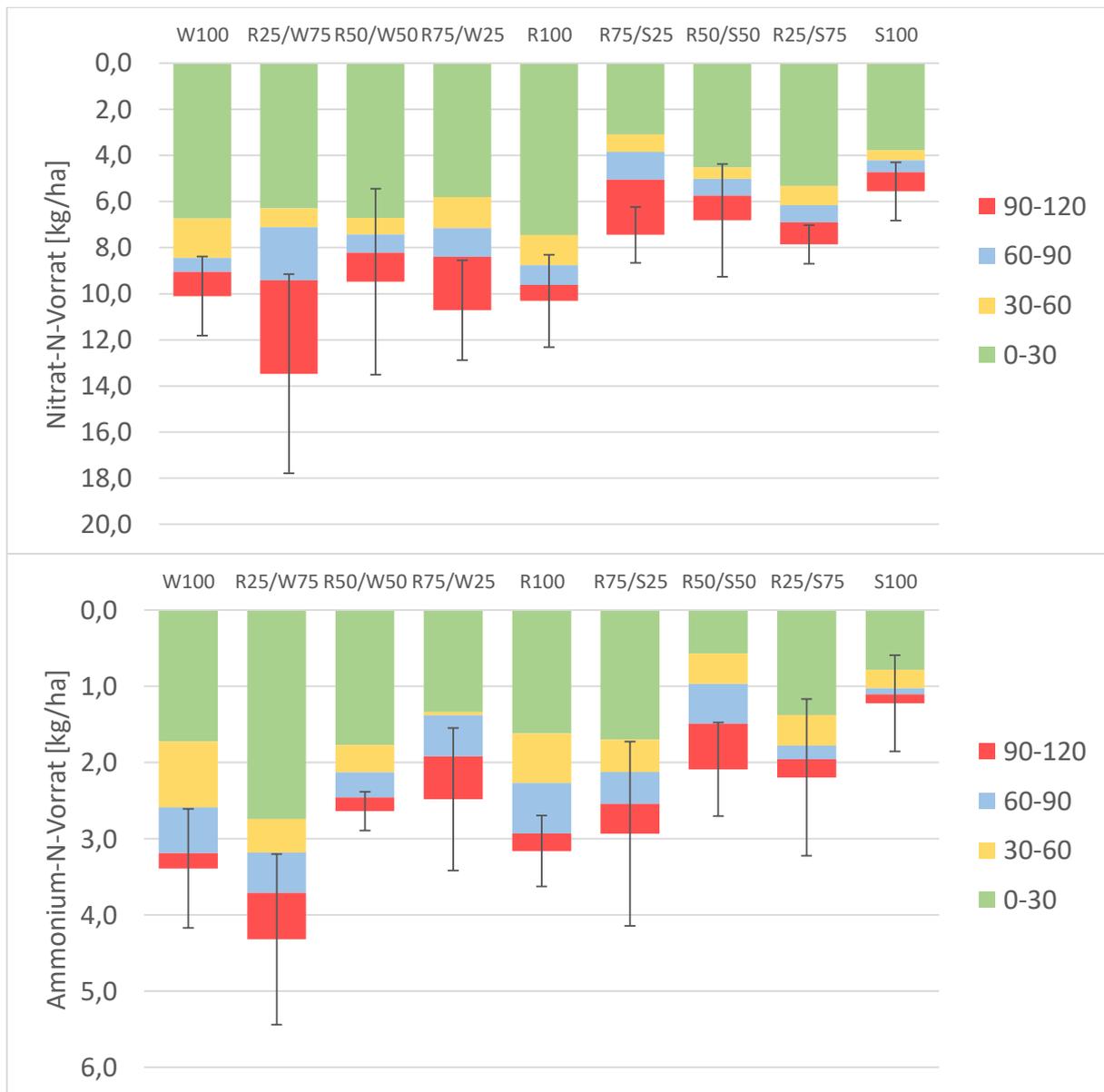


Abb. 63: Vorrat an Nitratstickstoff (oben) und Ammoniumstickstoff (unten) im Boden am 21.10.2021 unter den geprüften Futterbaubeständen der Reinsaat und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) am Standort Caßlau ( $\pm$  Standardabweichung bezogen auf die Summe 0 bis 120 cm)

#### 4.4 Futterwert des Schnittguts

Es sollten anhand ausgewählter Proben aus den Feldversuchen auch Hinweise zur Futterqualität von Spitzwegerich in Reinsaat sowie ein Vergleich der Gemenge aus Rotklee mit Welschem Weidelgras und Rotklee mit Spitzwegerich gewonnen werden. Hierzu wurde Probenmaterial von beiden Standorten und zu unterschiedlichen Schnittterminen im Futtermittellabor (LKS Sachsen, nasschemische Untersuchung nach VDLUFA) untersucht. Es wurde soweit möglich aus einer Feldwiederholung Schnittgut des Spitzwegerichs aus Reinsaat sowie jeweils aus den Gemengen mit Saatanteilen von je 50% der Reinsaatstärke der Arten ausgewählt. Die Ergebnisse sind in Tab. 12 zusammengestellt.

Tab. 12: Parameter der Futterqualität der verschiedenen Schnittgutproben

Datum	Standort	Block	Variante	Trocken- substanz [g/kg]	Rohasche [g/kg TS]	Rohprotein [g/kg TS]	Rohfaser [g/kg TS]	Rohfett [g/kg TS]	Zucker [g/kg TS]	ADFom [g/kg TS]	HFT (TS) [ml/200m g]	ME [MJ/kg TS]	NEL [MJ/kg TS]	nRP [g/kg TS]	rNB [g/kg TS]
01.05.2020	S	A	R50/S50	153,1	135,0	187,6	162,4	34,2	110,1	214,4	55,8	11,4	7,1	153,7	5,4
01.05.2020	S	A	R50/W50	248,3	103,2	111,7	217,9	18,0	215,9	276,9	56,4	10,3	6,3	130,1	-2,9
01.05.2020	S	A	S100	160,0	107,7	132,0	134,5	24,3	145,1	196,3	58,0	11,4	7,0	144,3	-2,0
06.05.2020	B	A	R50/S50	279,7	85,8	121,5	166,0	18,6	125,9	215,7	61,7	11,4	7,0	143,1	-3,4
06.05.2020	B	A	R50/W50	374,2	86,5	63,3	262,3	13,2	223,6	290,6	49,4	9,4	5,6	112,4	-7,9
06.05.2020	B	A	S100	265,8	67,5	78,3	118,6	19,3	141,5	170,5	68,2	12,1	7,6	144,0	-10,5
06.07.2020	B	A	R50/S50	255,1	166,1	139,1	149,4	28,9	80,9	184,7	45,5	10,4	6,4	135,1	0,6
06.07.2020	B	A	R50/W50	264,1	153,8	148,3	200,9	28,4	104,4	227,5	48,0	10,3	6,3	135,7	2,0
08.07.2020	S	A	R50/S50	346,5	125,0	98,0	313,3	18,8	5,5	371,0	39,0	8,1	4,9	103,0	-0,9
08.07.2020	S	A	R50/W50	349,8	136,3	101,5	312,5	17,3	3,3	372,3	38,5	8,0	4,8	103,0	-0,3
08.07.2020	S	A	S100	408,8	65,0	72,8	355,5	33,5	24,3	407,8	43,1	8,5	4,9	103,3	-5,0
06.09.2020	B	A	R50/S50	438,3	104,5	84,1	321,7	24,6	45,2	425,9	36,7	7,6	4,3	95,7	-1,9
06.09.2020	B	A	R50/W50	538,3	109,8	62,5	364,6	11,9	39,4	405,1	33,2	7,1	4,0	87,2	-4,0
06.09.2020	B	A	S100	485,0	86,0	55,2	347,4	24,6	42,6	457,5	35,2	7,1	4,0	86,2	-5,0
08.09.2020	S	A	R50/S50	169,8	152,4	158,3	190,9	28,1	62,8	233,9	41,0	9,8	5,9	131,5	4,3
08.09.2020	S	A	R50/W50	169,7	153,3	162,3	224,2	25,4	113,7	249,0	42,6	9,8	5,9	131,7	4,9
08.09.2020	S	A	S100	199,5	156,0	108,0	232,6	26,4	53,1	297,3	40,4	8,9	5,3	113,8	-0,9
01.05.2021	S	A	R50/S50	112,2	101,0	163,5	158,5	18,3	183,7	278,2	54,4	10,5	6,4	139,8	3,8
01.05.2021	S	A	R50/W50	235,9	71,2	67,5	246,3	13,5	311,9	264,6	58,0	10,4	6,3	123,4	-9,0
01.05.2021	S	A	S100	154,5	92,8	119,2	146,9	14,5	178,6	293,8	54,5	10,1	6,1	128,3	-1,5
03.05.2021	B	A	R50/S50	146,4	86,0	141,2	180,2	16,0	173,4	266,1	55,7	10,6	6,4	137,2	0,6
03.05.2021	B	A	R50/W50	237,2	69,6	79,0	212,6	12,6	287,3	251,0	58,3	10,6	6,4	127,3	-7,7
03.05.2021	B	A	S100	206,6	93,2	92,6	128,0	10,2	146,8	317,5	50,8	9,4	5,6	116,5	-3,8
06.07.2021	B	A	R50/S50	176,6	89,7	171,0	207,5	22,8	81,0	323,1	45,4	9,6	5,7	131,3	6,4
06.07.2021	B	A	R50/W50	200,7	87,7	155,8	236,4	22,8	111,0	299,8	45,9	9,8	5,8	130,6	4,0
06.07.2021	B	A	S100	246,3	73,6	78,5	295,2	14,7	73,7	436,4	35,1	7,3	4,1	91,5	-2,1
08.07.2021	S	A	R50/S50	151,4	100,1	153,7	278,0	30,6	74,0	379,7	41,0	8,8	5,1	120,0	5,4
08.07.2021	S	A	R50/W50	214,0	88,5	117,3	277,6	39,7	143,1	326,1	44,3	9,5	5,6	122,0	-0,8
08.07.2021	S	A	S100	222,2	76,7	68,4	342,0	16,1	69,8	481,1	32,8	6,7	3,7	83,5	-2,4
17.08.2021	B	A	R50/S50	904,3	92,8	159,1	214,3	16,5	79,6	335,3	44,1	9,2	5,4	125,1	5,4
17.08.2021	B	A	R50/W50	907,6	97,1	149,9	220,4	18,8	97,0	297,8	45,0	9,6	5,7	127,5	3,6
17.08.2021	B	A	S100	915,3	79,1	71,0	274,6	12,2	65,6	417,3	37,4	7,5	4,2	92,8	-3,5
18.08.2021	S	A	R50/S50	905,0	116,2	166,9	216,2	19,5	68,5	345,1	40,9	8,9	5,2	122,8	7,0
18.08.2021	S	A	R50/W50	905,6	112,9	169,9	237,6	21,2	70,8	300,8	41,9	9,4	5,6	128,8	6,6
18.08.2021	S	A	S100	913,3	126,6	95,0	205,8	13,9	73,9	398,4	38,2	7,7	4,4	98,7	-0,6
05.10.2021	B	A	R50/S50	911,1	120,1	193,2	216,7	23,7	37,7	325,4	35,0	8,8	5,2	126,2	10,7
05.10.2021	B	A	R50/W50	910,3	113,6	172,6	197,4	27,8	86,0	262,5	41,9	9,9	5,9	134,2	6,1
11.10.2021	S	A	R50/S50	900,5	125,3	182,7	167,9	16,5	97,9	313,4	43,0	9,3	5,5	129,9	8,4
11.10.2021	S	A	R50/W50	905,9	132,6	160,8	206,0	27,3	131,7	259,2	45,9	10,0	6,0	134,4	4,2
11.10.2021	S	A	S100	904,2	139,0	123,6	138,9	7,7	104,2	387,9	40,2	7,9	4,6	105,7	2,9

Standorte: S = Struppen, B = Caßlau; S100 = Reinsaat Spitzwegerich; R50/W50: Gemenge aus Welschem Weidelgras und Rotklee mit je 50% der jeweiligen Reinsaatstärke; R50/S50 = Gemenge aus Spitzwegerich und Rotklee mit je 50% der jeweiligen Reinsaatstärke

Die Proben des Gemenges mit Spitzwegerich wiesen im Vergleich zu den Gemengen mit Welschem Weidelgras a) häufig einen höheren Gehalt an Rohprotein, b) häufig einen geringeren Gehalt an Rohfaser, c) in 8 von 14 untersuchten Fällen einen höheren Gehalt an Rohfett, d) in der Regel einen geringeren Gehalt an vergärbarem Zucker und e) nur in fünf von 14 untersuchten Fällen einen höheren Energiegehalt (ME und NEL) auf. Hieraus kann geschlossen werden, dass der Futterwert des Spitzwegerichs nicht grundlegend schlechter als der des Welschen Weidelgrases einzustufen zu sein scheint.

#### 4.5 Aucubingehalt in Spross und Wurzel des Spitzwegerichs

Da bekannt ist, dass das im Spitzwegerich gebildete Aucubin eine nitrifikationshemmende Wirkung entfaltet, wurde zum letzten Schnitttermin im Oktober 2020 der Gehalt an Aucubin in Spross und Wurzel des Spitzwegerichs bestimmt. An beiden Standorten wurden deutliche Unterschiede im Aucubingehalt zwischen Spross und Wurzel festgestellt. Lagen die Gehalte in der Sprossmasse in der Regel zwischen 15 und 25 mg Aucubin je g Trockemasse (TM), befanden sich in der Wurzel nur etwa 5 mg Aucubin je g TM (Abb. 64 und Abb. 65). Die Zusammensetzung der Bestände und der Standort nahmen weder in der Spross- noch in der Wurzelmasse signifikant Einfluss auf den Aucubingehalt im Spitzwegerich. Die Aucubingehalte in Spross und Wurzel waren nicht korreliert.

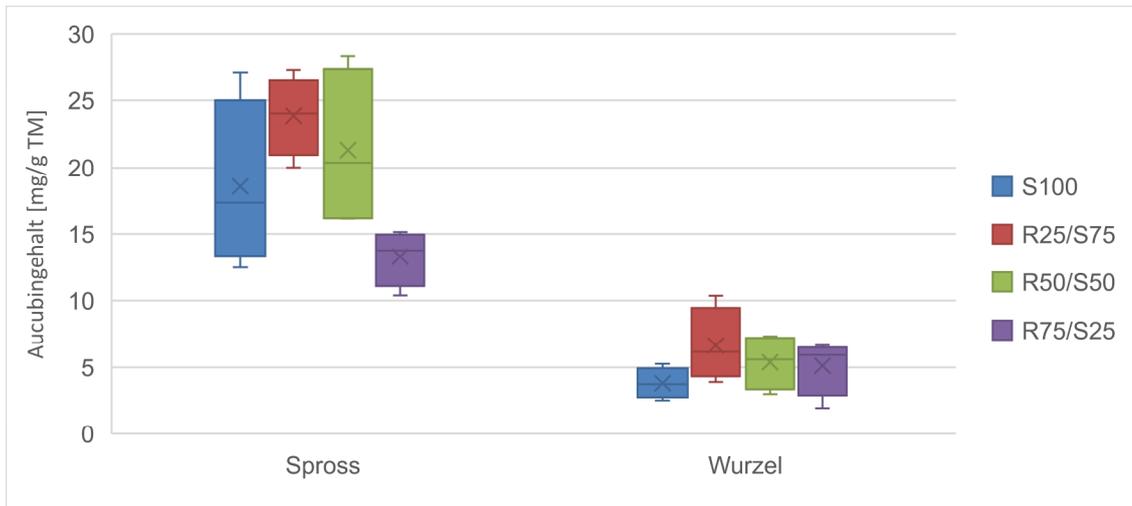


Abb. 64: Gehalt an Aucubin in der Spross- und Wurzelmasse des Spitzwegerichs am Standort Struppen zur Probenahme am 16.10.2020

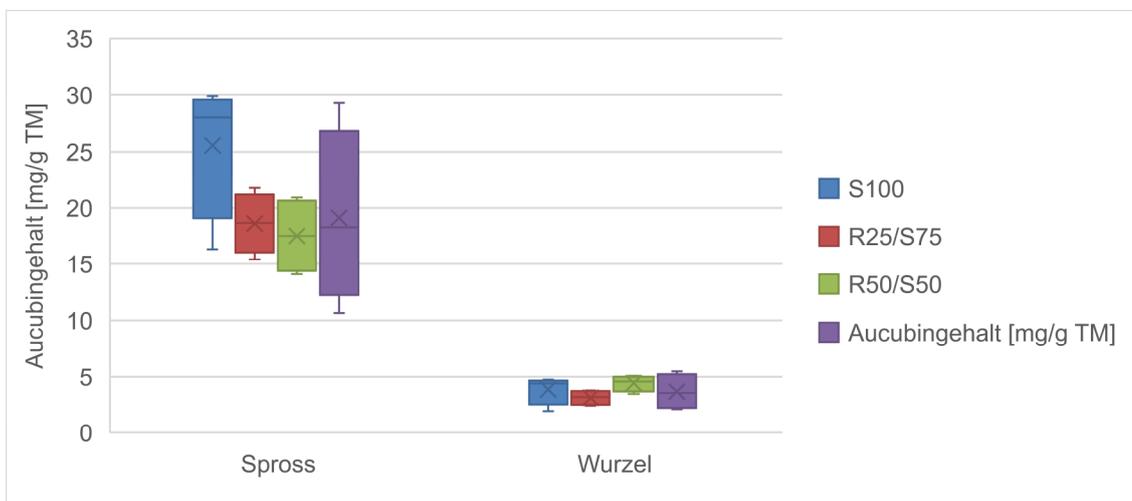


Abb. 65: Gehalt an Aucubin in der Spross- und Wurzelmasse des Spitzwegerichs am Standort Caßlau zur Probenahme am 08.10.2020

#### 4.6 Kenngrößen der Schnittgut-Mulchmasse

Zum letzten Schnitttermin wurden in beiden Versuchsanlagen und an beiden Versuchstandorten die Parzellen in eine Variante „Ernte“ mit Abfuhr des Schnittguts und eine Variante „Mulch“ mit Belassen und Einarbeitung des Schnittguts geteilt. Zur Charakterisierung des auf der Fläche belassenen Schnittguts wurden die darin enthaltenen C- und N-Gehalte, das C/N-Verhältnis sowie die darin enthaltenen N-Mengen, die mit dem Schnittgut auf der Fläche verblieben sind (Tab. 13 bis Tab. 20). Rotklee wies stets die höchsten N-Gehalte (2,4 bis 3,9% in der TM) und engsten C/N-Verhältnisse (10,7 bis 14,1) im eingearbeiteten Schnittgut auf. Bei Welschem Weidelgras variierten die entsprechenden Werte zwischen 1,1 und 2,8% in der TM (N-Gehalt) bzw. 15,0 und 28,1 (C/N-Verhältnis). Das Schnittgut des Spitzwegerichs war hingegen charakterisiert mit N-Gehalten von 1,5 bis 3,0% in der TM und C/N-Verhältnissen zwischen 13,2 und 24,8. Es war auch eine sehr große Spannweite in der Höhe der N-Menge zu verzeichnen, die mit dem Schnittgut auf der Fläche belassen wurde (zwischen 3,1 und 90,6 kg N/ha). In Tab. 21 und Tab. 22 sind zusätzlich die gewogenen Mittel der N- und C-Gehalte sowie das C/N-Verhältnisses des eingearbeiteten Schnittgutes wiedergespiegelt.

Tab. 13: Zusammensetzung des nach dem letzten Schnitt auf der Fläche belassenen Schnittguts am Standort Struppen im Jahr 2020 (Angaben in % der TM bzw. Verhältnis C/N)

Prüfglied	N	C	C/N	N	C	C/N	N	C	C/N
	Rotklee (R)			Welsches Weidelgras (W)			Spitzwegerich (S)		
W100				1,5	41,0	27,3			
R25/W75				1,8	39,2	21,7			
R50/W50	3,6	42,9	12,0	2,2	39,1	18,2			
R75/W25	3,7	42,9	11,6	2,2	39,6	17,6			
R100	3,5	42,2	12,0						
R75/S25	3,5	41,9	12,0				1,8	39,6	21,5
R50/S50	3,6	42,7	12,0				2,0	40,2	19,8
R25/S75	3,5	41,0	11,8				2,4	39,8	16,5
S100							1,9	38,3	20,1

Tab. 14: N-Menge im auf der Fläche belassenen Schnittguts am Standort Struppen 2020 (Angaben in kg/ha)

Prüfglied	Rotklee (R)	Welsches Weidelgras (W)	Spitzwegerich (S)	Summe
W100		14,3		14,3
R25/W75	10,1	13,4		23,5
R50/W50	19,0	16,3		35,3
R75/W25	20,0	16,4		36,4
R100	31,8			31,8
R75/S25	13,3		24,3	37,6
R50/S50	11,7		19,6	31,3
R25/S75	9,2		12,0	21,2
S100			17,0	17,0

Tab. 15: Zusammensetzung des nach dem letzten Schnitt auf der Fläche belassenen Schnittguts am Standort Caßlau 2020 (Angaben in % der TM bzw. Verhältnis C/N)

Prüfglied	N	C	C/N	N	C	C/N	N	C	C/N
	Rotklee (R)			Welsches Weidelgras (W)			Spitzwegerich (S)		
W100				1,1	31,6	28,1			
R25/W75	3,5	44,6	12,8	1,8	41,9	23,3			
R50/W50	3,3	44,0	13,5	1,8	43,2	23,5			
R75/W25	3,4	45,3	13,4	1,9	42,6	22,9			
R100	3,0	40,7	13,6						
R75/S25	2,4	32,2	13,5				1,9	40,9	21,6
R50/S50	3,1	44,1	14,1				2,0	41,6	20,9
R25/S75	3,2	42,8	13,4				2,1	41,2	19,9
S100							1,5	36,8	24,8

Tab. 16: N-Menge im auf der Fläche belassenen Schnittguts am Standort Caßlau 2020 (Angaben in kg/ha)

Prüfglied	Rotklee (R)	Welsches Weidelgras (W)	Spitzwegerich (S)	Summe
W100		12,0		12,0
R25/W75	21,5	9,2		30,7
R50/W50	16,5	12,2		28,7
R75/W25	25,8	11,6		37,4
R100	43,2			43,2
R75/S25	15,9		15,3	31,2
R50/S50	12,0		14,0	26,0
R25/S75	9,9		14,5	23,4
S100			15,6	15,6

Tab. 17: Zusammensetzung des nach dem letzten Schnitt auf der Fläche belassenen Schnittguts am Standort Struppen 2021 (Angaben in % der TM bzw. Verhältnis C/N)

Prüfglied	N	C	C/N	N	C	C/N	N	C	C/N
	Rotklee (R)			Welsches Weidelgras (W)			Spitzwegerich (S)		
W100				1,6	39,4	24,2			
R25/W75	3,7	43,1	11,6	1,9	38,1	20,3			
R50/W50	3,9	42,8	11,1	2,3	39,9	17,4			
R75/W25	3,8	42,5	11,1	2,5	39,5	15,6			
R100	3,9	41,9	10,7						
R75/S25	3,7	42,4	11,5				2,6	40,4	15,4
R50/S50	3,7	42,4	11,4				2,6	39,6	15,1
R25/S75	3,8	41,8	11,0				3,0	39,8	13,2
S100							2,2	38,9	18,0

Tab. 18: N-Menge im auf der Fläche belassenen Schnittguts am Standort Struppen 2021 (Angaben in kg/ha)

Prüfglied	Rotklee (R)	Welsches Weidelgras (W)	Spitzwegerich (S)	Summe
W100		14,0		14,0
R25/W75	32,3	22,1		53,4
R50/W50	52,1	22,9		75,0
R75/W25	74,2	16,4		90,6
R100	82,6			82,6
R75/S25	76,0		21,0	97,0
R50/S50	59,1		23,3	82,4
R25/S75	64,5		27,2	91,7
S100			20,2	20,2

Tab. 19: Zusammensetzung des nach dem letzten Schnitt auf der Fläche belassenen Schnittguts am Standort Caßlau 2021 (Angaben in % der TM bzw. Verhältnis C/N)

Prüfglied	N	C	C/N	N	C	C/N	N	C	C/N
	Rotklee (R)			Welsches Weidelgras (W)			Spitzwegerich (S)		
W100				2,5	41,9	16,6			
R25/W75	3,7	43,1	11,8	2,7	40,9	15,4			
R50/W50	3,6	43,0	11,9	2,8	41,6	15,0			
R75/W25	3,3	42,7	13,1	2,7	42,3	15,9			
R100	3,7	43,2	11,6						
R75/S25	3,3	43,0	12,9				2,5	41,9	16,6
R50/S50	3,2	42,6	13,3				2,7	40,9	15,4
R25/S75	3,4	43,7	13,0				2,8	41,6	15,0
S100							2,7	42,3	15,9

Tab. 20: N-Menge im auf der Fläche belassenen Schnittguts am Standort Caßlau 2021 (Angaben in kg/ha)

Prüfglied	Rotklee (R)	Welsches Weidelgras (W)	Spitzwegerich (S)	Summe
W100		4,7		4,7
R25/W75	12,2	5,1		17,3
R50/W50	13,6	6,3		19,9
R75/W25	16,0	3,9		19,9
R100	12,6			12,6
R75/S25	10,3		3,5	13,8
R50/S50	10,0		4,1	14,1
R25/S75	6,7		5,4	12,1
S100			3,1	3,1

Tab. 21: Gewogene Mittel der N- und C-Gehalte sowie des C/N-Verhältnisses der eingearbeiteten Schnittgutmasse zum 3. Schnitt im Herbst 2020

Variante	Struppen			Caßlau		
	N [%]	C [%]	C/N	N [%]	C [%]	C/N
<b>W100</b>	1,5	41,0	27,3	1,1	31,6	28,1
<b>R25/W75</b>	2,2	40,1	17,9	2,7	43,3	16,0
<b>R50/W50</b>	2,9	40,8	14,3	2,4	43,5	17,8
<b>R75/W25</b>	2,8	40,7	14,6	2,7	44,1	16,3
<b>R100</b>	3,5	41,9	12,0	3,0	40,7	13,6
<b>R75/S25</b>	2,2	40,3	18,0	2,1	37,5	18,0
<b>R50/S50</b>	2,5	40,5	16,5	2,4	42,5	17,7
<b>R25/S75</b>	2,7	40,4	15,1	2,4	41,7	17,1
<b>S100</b>	1,9	38,3	20,1	1,5	36,8	24,8

Tab. 22: Gewogene Mittel der N- und C-Gehalte sowie des C/N-Verhältnisses der eingearbeiteten Schnittgutmasse zum 3. Schnitt im Herbst 2021

Variante	Struppen			Caßlau		
	N [%]	C [%]	C/N	N [%]	C [%]	C/N
<b>W100</b>	1,8	41,2	23,0	1,6	39,4	24,2
<b>R25/W75</b>	2,5	41,8	16,6	2,4	39,6	16,3
<b>R50/W50</b>	2,7	42,3	15,6	3,0	41,2	13,8
<b>R75/W25</b>	3,0	42,6	14,2	3,3	41,4	12,4
<b>R100</b>	3,7	43,2	11,6	3,9	41,9	10,7
<b>R75/S25</b>	3,1	42,7	13,8	3,3	41,6	12,7
<b>R50/S50</b>	3,0	42,1	13,9	3,2	41,0	12,9
<b>R25/S75</b>	3,1	42,7	13,9	3,4	40,8	12,0
<b>S100</b>	2,7	42,3	15,9	2,2	38,9	18,0

## 4.7 Nmin-Vorrat im Boden nach Umbruch der Futterbaubestände

### 4.7.1 Periode 2020-2021

#### 4.7.1.1 Standort Struppen

Bis zwei Wochen nach Umbruch setzte in allen Prüfgliedern eine verhaltene Mineralisation des organisch gebundenen Stickstoffs im Boden am Standort Struppen ein, wobei zwischen den unterschiedlichen Vorfruchtbeständen und der Art der Nutzung des letzten Aufwuchses keine signifikanten Unterschiede zu verzeichnen waren, weder beim Vorrat im Boden an Nitrat- noch Ammoniumstickstoff (Abb. 66). Das änderte sich hinsichtlich des Faktors der Zusammensetzung des umgebrochenen Futterbestandes bis in den März des darauffolgenden Jahres deutlich (Abb. 67 bis Abb. 69). Nach Umbruch von Rotklee in Reinsaat befanden sich im Mittel der Nutzungsverfahren bis zu 80,4 kg NO<sub>3</sub>-N/ha in 0 bis 120 cm (Mitte Januar 2021, Abb. 70, oben), während sich nach Welschem Weidelgras (23,3 kg/ha) und Spitzwegerich in Reinsaat (12,5 kg/ha) signifikant geringere Mengen an Nitratstickstoff im Boden befanden. Die Gemenge des Rotklees mit den Nichtleguminosen hinterließen stets Vorräte, die geringer als nach Rotklee in Reinsaat, aber höher als nach den jeweiligen Reinsaaten der Nichtleguminosen ausfielen. Gemenge mit Spitzwegerich wiesen dabei geringe Mengen auf als die Gemenge mit Welschem Weidelgras, vor allem im Unterboden (Abb. 69 bis Abb. 71). Zu keinem Beprobungstermin konnten eine signifikante Wirkung der Nutzungsart vor Umbruch (Ernte versus Mulch) auf den Vorrat an Nitrat- bzw. Ammoniumstickstoff im Boden festgestellt werden (Abb. 66 bis 72).

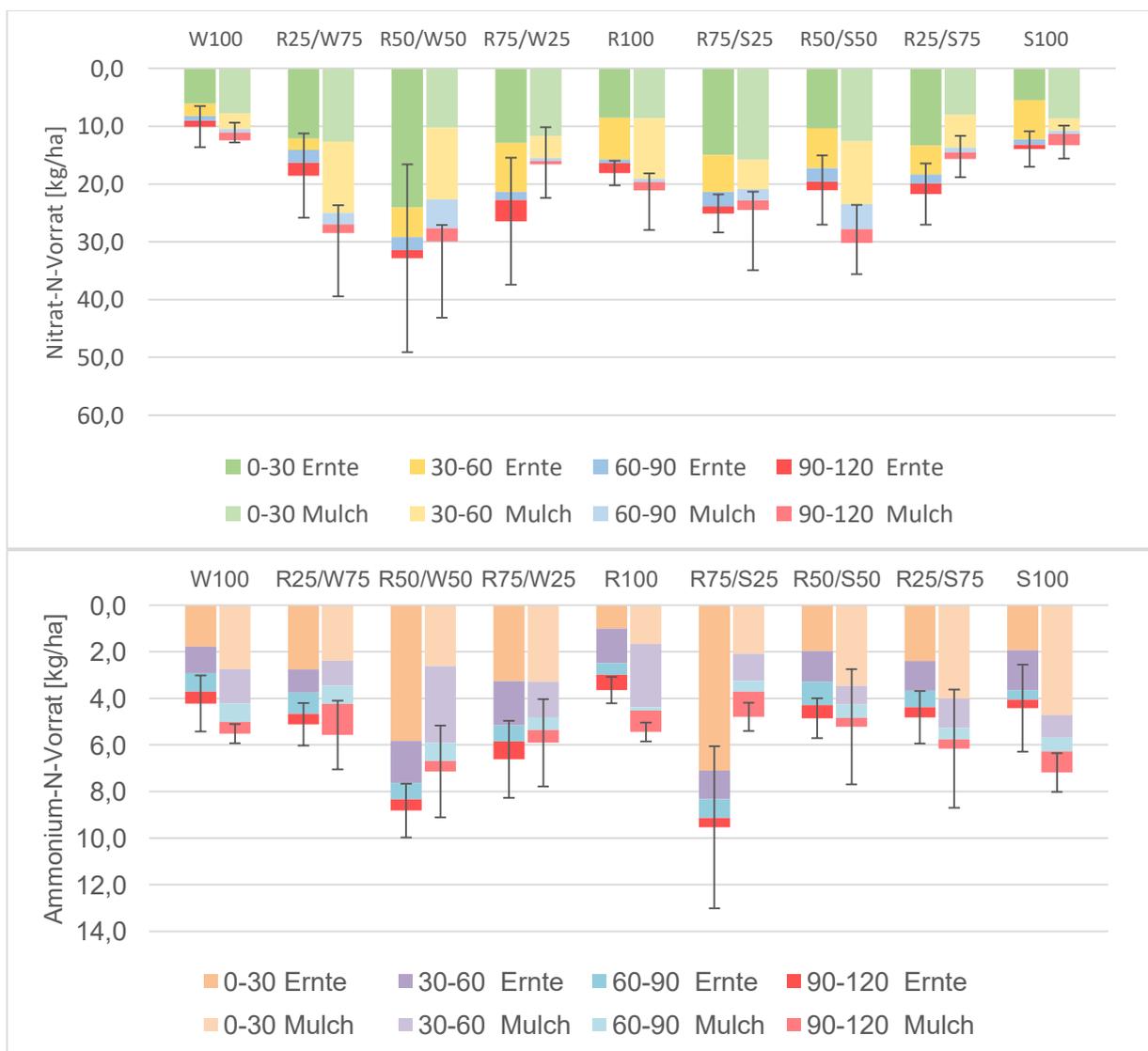


Abb. 66: Vorrat an Nitratstickstoff (oben) und Ammoniumstickstoff (unten) im Boden unter Winterweizen am 24.11.2021 nach Umbruch der Futterbestände aus Reinsaaten und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) und unterschiedlicher Nutzung zum letzten Schnitt der Vorfrucht vor Umbruch (Ernte = Schnittgutabfuhr, Mulch: Schnittgut Verbleib als Mulch auf der Fläche) am Standort Struppen (Mittel  $\pm$  Standardabweichung bezogen auf die Summe 0 bis 120 cm)

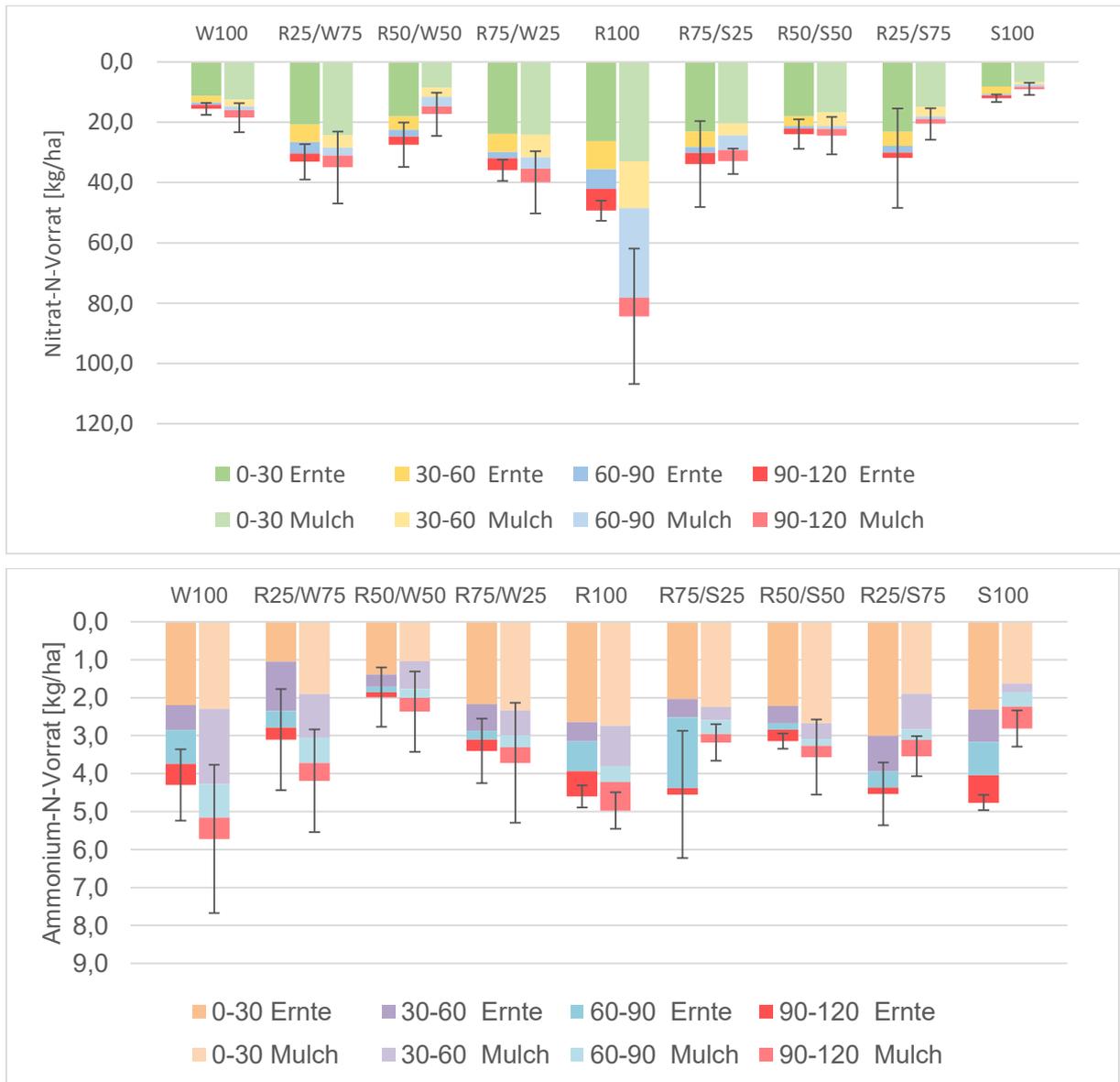


Abb. 67: Vorrat an Nitratstickstoff (oben) und Ammoniumstickstoff (unten) im Boden unter Winterweizen am 08.12.2020 nach Umbruch der Futterbestände aus Reinsaaten und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) und unterschiedlicher Nutzung zum letzten Schnitt der Vorfrucht vor Umbruch (Ernte = Schnittgutabfuhr, Mulch: Schnittgut Verbleib als Mulch auf der Fläche) am Standort Struppen (Mittel  $\pm$  Standardabweichung bezogen auf die Summe 0 bis 120 cm)

Nach dem Drusch des Weizens belief sich die residuale Nitrat-N-Menge im Boden unabhängig von Nutzungsart vor dem Umbruch und der Bestandeszusammensetzung der Vorfrucht auf 25 bis 42 kg/ha mit Ausnahme der Vorfrucht Spitzwegerich in Reinsaat, der nur 11 kg  $\text{NO}_3\text{-N/ha}$  (Variante Mulch) bzw. 21 kg  $\text{NO}_3\text{-N/ha}$  (Variante Schnittgutabfuhr) hinterließ. Die Bestände mit Spitzwegerich führen zu keinen signifikanten Änderungen im Vorrat an Ammonium-N im Vergleich zu den Beständen mit Rotklee und Welschem Weidelgras (Abb. 66, unten bis Abb. 72, unten).

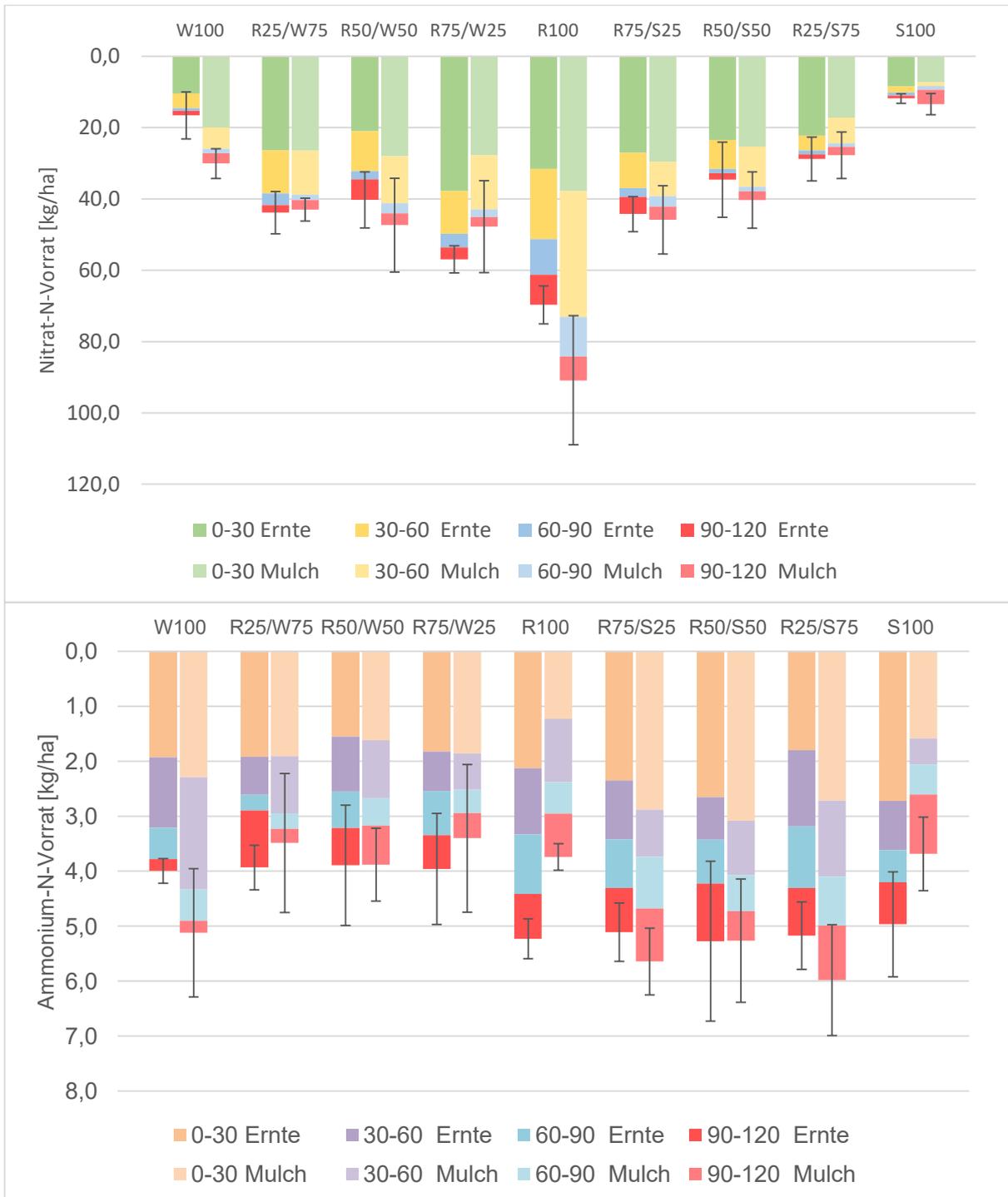


Abb. 68: Vorrat an Nitratstickstoff (oben) und Ammoniumstickstoff (unten) im Boden unter Winterweizen am 11.01.2021 nach Umbruch der Futterbestände aus Reinsaat und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) und unterschiedlicher Nutzung zum letzten Schnitt der Vorfrucht vor Umbruch (Ernte = Schnittgutabfuhr, Mulch: Schnittgut Verbleib als Mulch auf der Fläche) am Standort Struppen (Mittel  $\pm$  Standardabweichung bezogen auf die Summe 0 bis 120 cm)

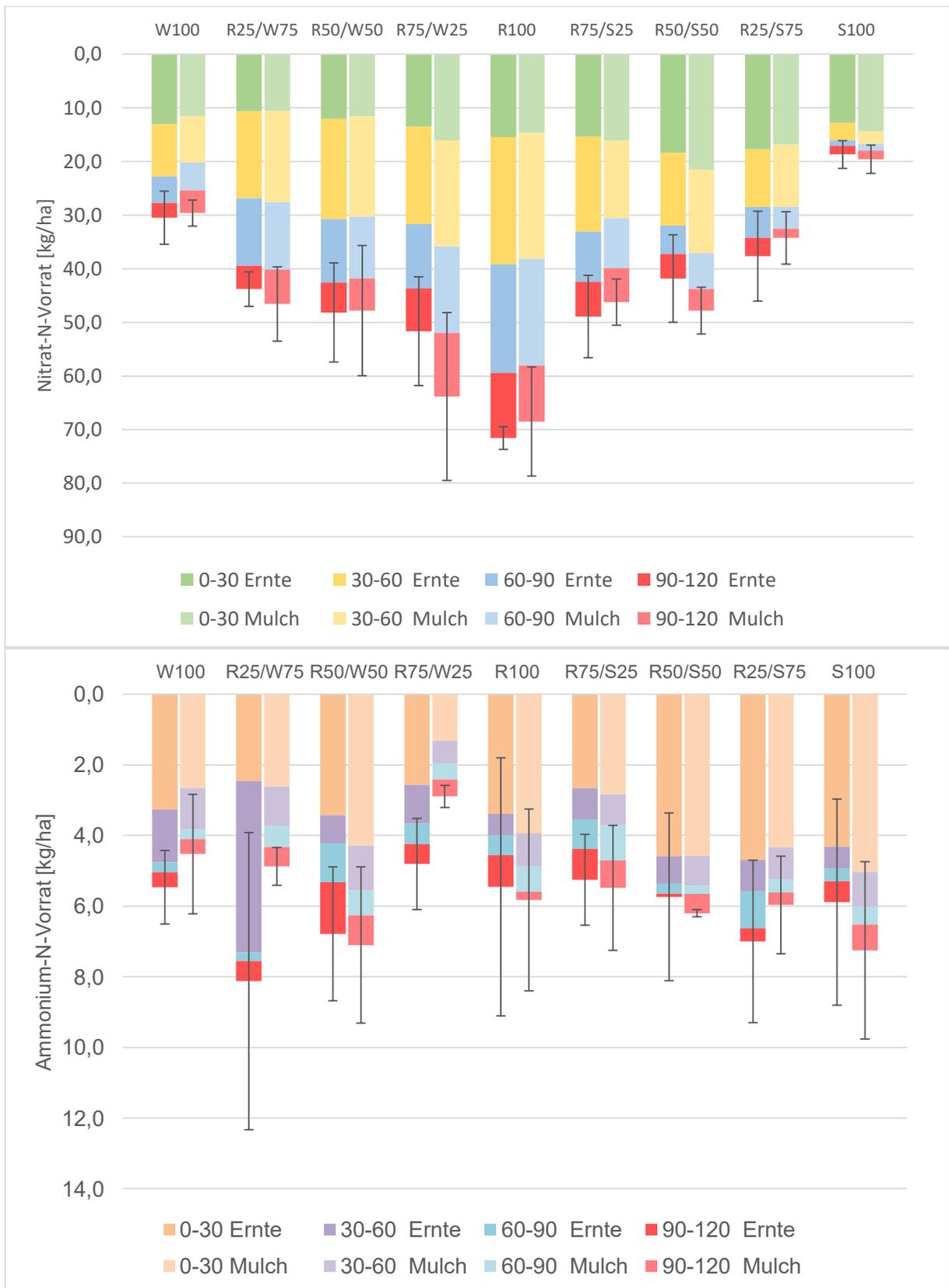


Abb. 69: Vorrat an Nitratstickstoff (oben) und Ammoniumstickstoff (unten) im Boden unter Winterweizen am 02.03.2021 nach Umbruch der Futterbestände aus Reinsaaten und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) und unterschiedlicher Nutzung zum letzten Schnitt der Vorfrucht vor Umbruch (Ernte = Schnittgutabfuhr, Mulch: Schnittgut Verbleib als Mulch auf der Fläche) am Standort Struppen (Mittel  $\pm$  Standardabweichung bezogen auf die Summe 0 bis 120 cm)

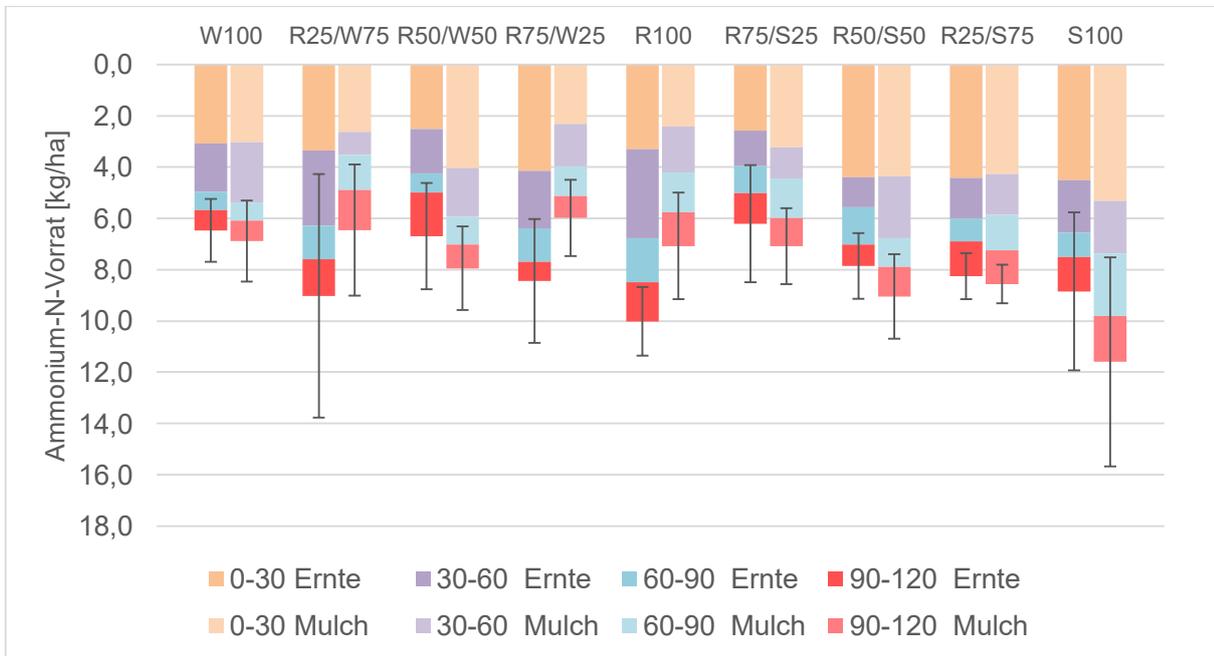
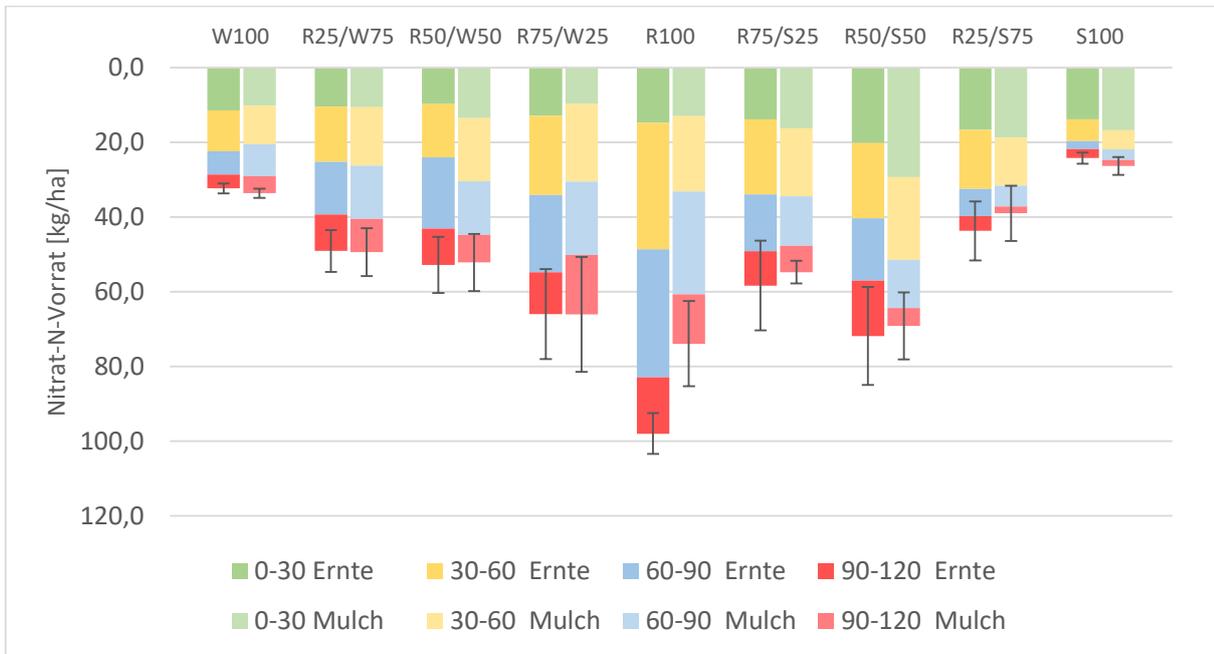


Abb. 70: Vorrat an Nitratstickstoff (oben) und Ammoniumstickstoff (unten) im Boden unter Winterweizen am 07.04.2021 nach Umbruch der Futterbestände aus Reinsaat und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) und unterschiedlicher Nutzung zum letzten Schnitt der Vorfrucht vor Umbruch (Ernte = Schnittgutabfuhr, Mulch: Schnittgut Verbleib als Mulch auf der Fläche) am Standort Struppen (Mittel  $\pm$  Standardabweichung bezogen auf die Summe 0 bis 120 cm)

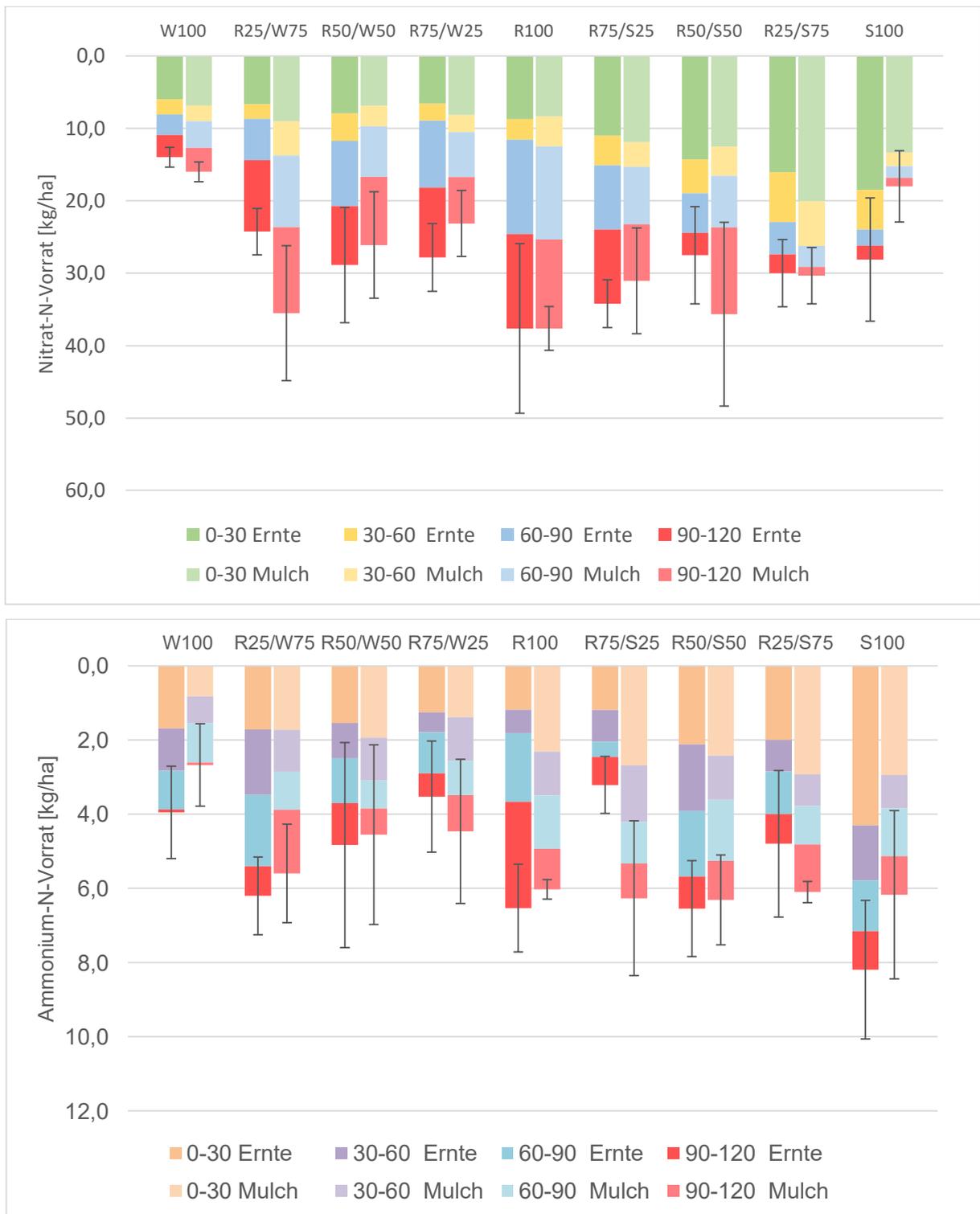


Abb. 71: Vorrat an Nitratstickstoff (oben) und Ammoniumstickstoff (unten) im Boden unter Winterweizen am 07.06.2021 nach Umbruch der Futterbestände aus Reinsaaten und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) und unterschiedlicher Nutzung zum letzten Schnitt der Vorfrucht vor Umbruch (Ernte = Schnittgutabfuhr, Mulch: Schnittgut Verbleib als Mulch auf der Fläche) am Standort Struppen (Mittel  $\pm$  Standardabweichung bezogen auf die Summe 0 bis 120 cm)

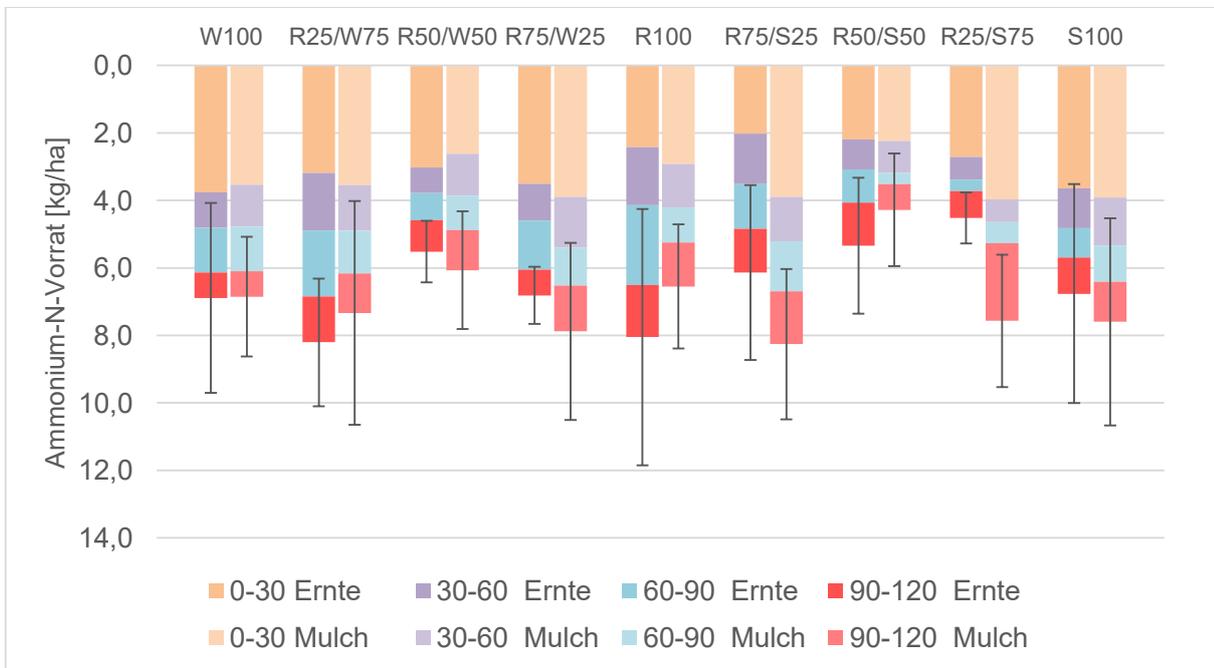
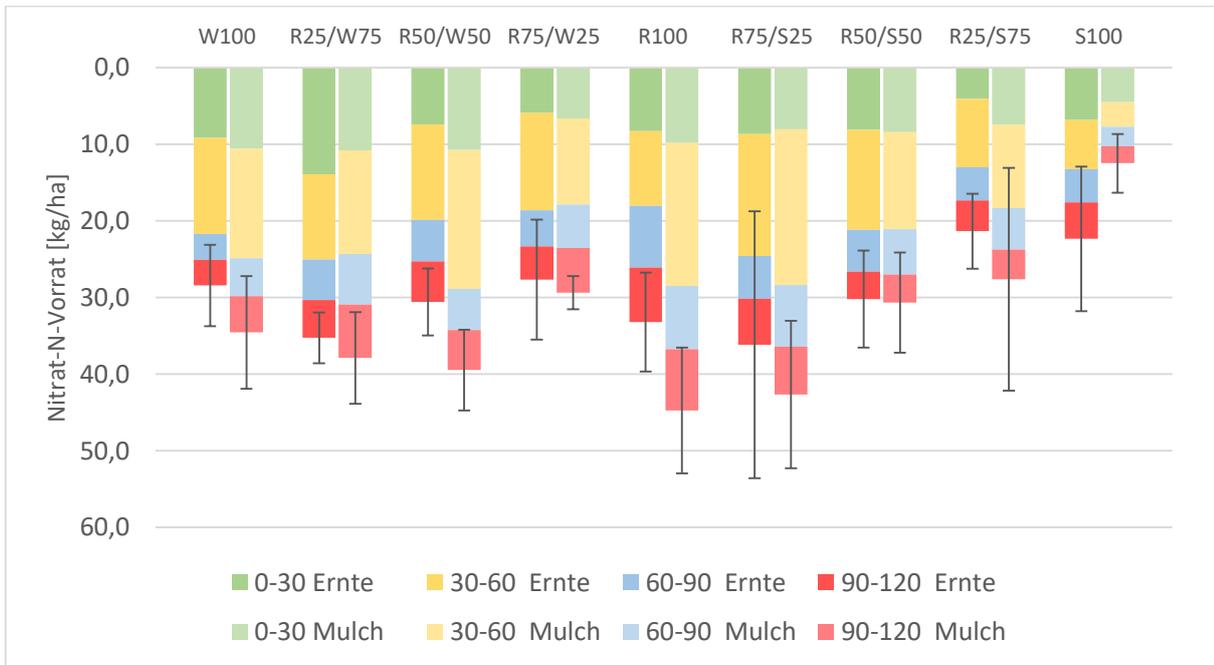


Abb. 72: Vorrat an Nitratstickstoff (oben) und Ammoniumstickstoff (unten) im Boden unter Winterweizen am 30.08.2021 nach Umbruch der Futterbestände aus Reinsaaten und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) und unterschiedlicher Nutzung zum letzten Schnitt der Vorfrucht vor Umbruch (Ernte = Schnittgutabfuhr, Mulch: Schnittgut Verbleib als Mulch auf der Fläche) am Standort Struppen (Mittel  $\pm$  Standardabweichung bezogen auf die Summe 0 bis 120 cm)

#### 4.7.1.2 Standort Caßlau

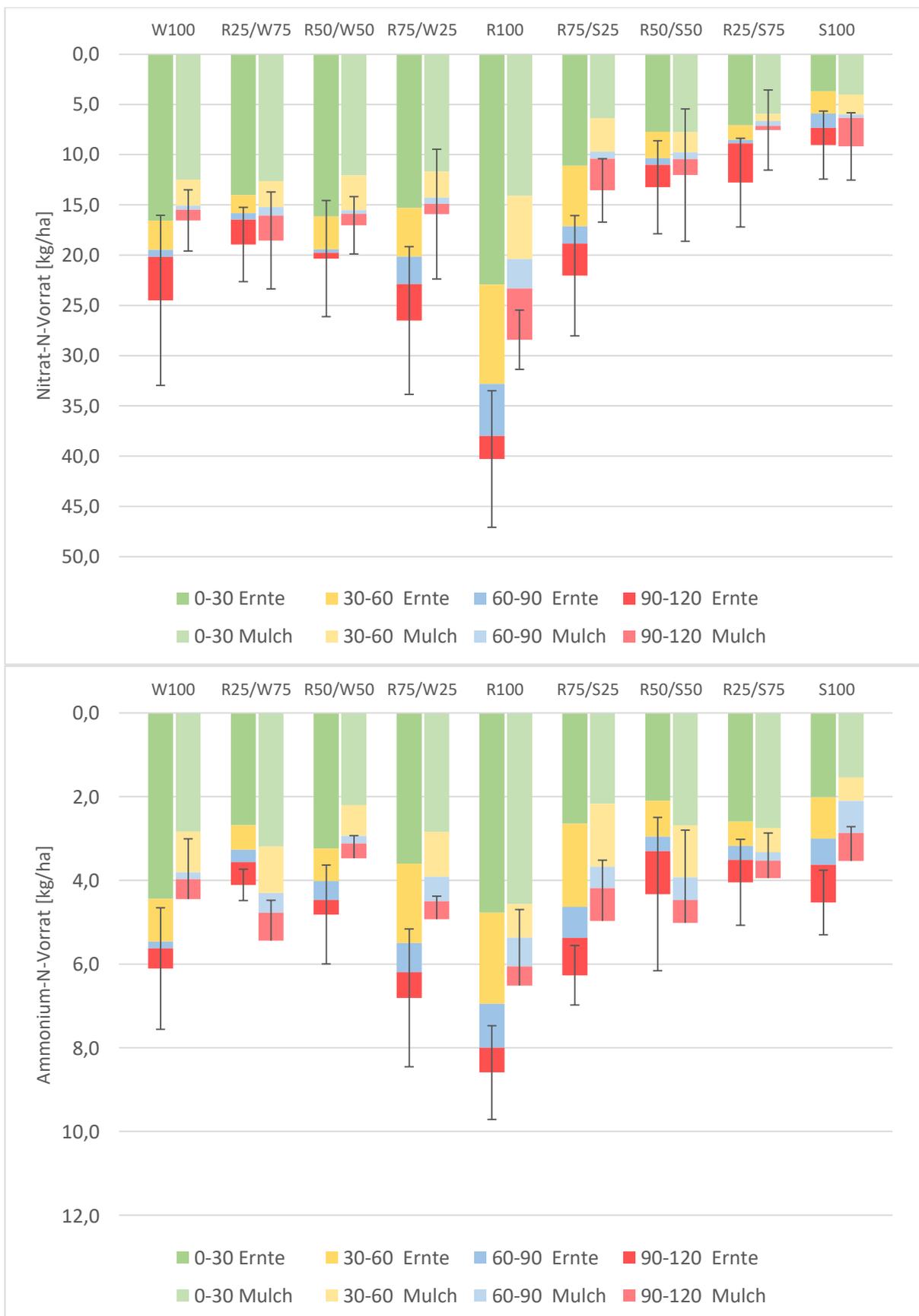


Abb. 73: Vorrat an Nitratstickstoff (oben) und Ammoniumstickstoff (unten) im Boden unter Winterweizen am 11.11.2020 nach Umbruch der Futterbestände aus Reinsaaten und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) und unterschiedlicher Nutzung zum letzten Schnitt der Vorrucht vor Umbruch (Ernte = Schnittgutabfuhr, Mulch: Schnittgut Verbleib als Mulch auf der Fläche) am Standort Caßlau (Mittel  $\pm$  Standardabweichung bezogen auf die Summe 0 bis 120 cm)

Am Standort Caßlau waren in der Versuchsanlage bis auf den Termin zum Schossen (Abb. 78) zu allen Untersuchungsterminen signifikante Unterschiede im Nitrat-N-Vorrat des Bodens (0 bis 120 cm) zwischen den Vorfruchtbeständen nachzuweisen (Abb. 73, oben bis Abb. 79, oben). So waren bis Ende 2020 unter Rotklee in Reinsaat mit bis zu 44,3 kg NO<sub>3</sub>-N/ha (Abb. 75) jeweils die höchsten Vorräte gegeben, die sich zumeist zu den Vorfrüchten aus Gemengen von Rotklee mit Spitzwegerich und vor allem zur Vorfrucht Spitzwegerich in Reinsaat mit Vorräten von im Mittel nur 7,7 kg NO<sub>3</sub>-N/ha (Abb. 75) unterschieden. Anfang April 2021 waren die geringsten Nitrat-N-Vorräte im Boden unter dem Gemenge aus Welschem Weidelgras und Rotklee (W75/R25, Abb. 76, oben), nach dem Drusch wiederum nach der Vorfrucht Spitzwegerich in Reinsaat zu verzeichnen (Abb. 79, oben). Vom Zeitpunkt des Schossens des Winterweizens bis nach der Ernte stieg der Nitrat-N-Vorrat im Boden im Mittel aller Prüfglieder von knapp 20 kg/ha (Abb. 78, oben) auf 50 kg/ha an (Abb. 79, oben)

Die Art der Nutzung zum letzten Schnitt vor Umbruch hatte nur 2 Wochen nach Umbruch einen signifikanten Einfluss auf den Nitrat-N-Vorrat im Boden (Abb. 73). Das Belassen des letzten Aufwuchses auf der Fläche (Variante Mulch) führte zu einer leichten, aber signifikanten Verringerung des Nitrat-N-Vorrates im Boden (um bis zu 12 kg/ha). Bis Ende Dezember zeichnete sich zudem eine leicht geringere Nitratfreisetzung im Boden in den Gemengen mit Spitzwegerich im Vergleich zu den entsprechenden Gemengen mit Welschem Weidelgras aus. Die Vorräte an Ammoniumstickstoff im Boden waren nicht wesentlich durch die Zusammensetzung der Futterbestände vor Umbruch beeinflusst worden. Sie lagen in der Regel in der Summe von 0 bis 120 cm Bodentiefe bei unter 8 kg/ha (Abb. 72, unten bis Abb. 79, unten).

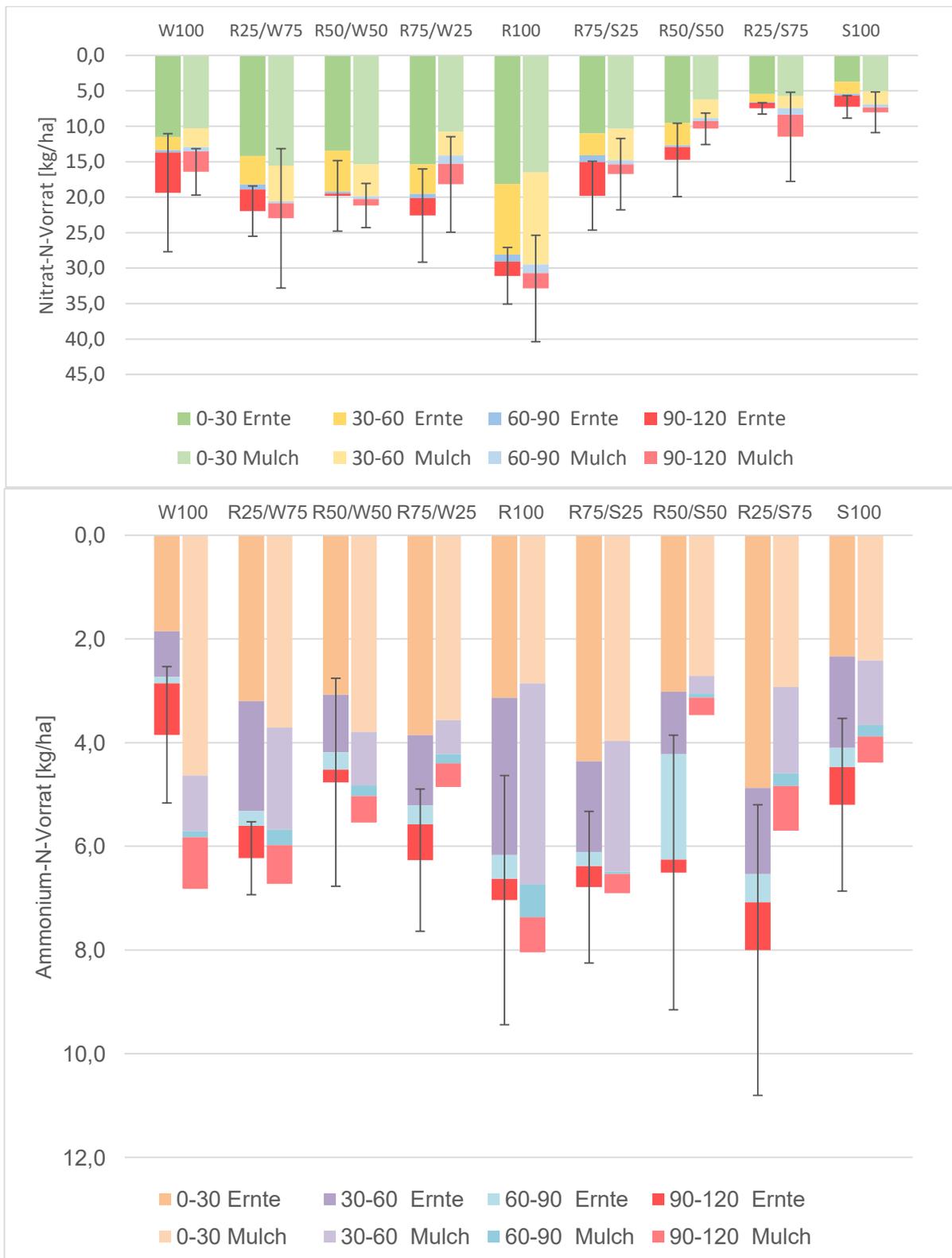


Abb. 74: Vorrat an Nitratstickstoff (oben) und Ammoniumstickstoff (unten) im Boden unter Winterweizen am 26.11.2020 nach Umbruch der Futterbestände aus Reinsaaten und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) und unterschiedlicher Nutzung zum letzten Schnitt der Vorrucht vor Umbruch (Ernte = Schnittgutabfuhr, Mulch: Schnittgut Verbleib als Mulch auf der Fläche) am Standort Caßlau (Mittel  $\pm$  Standardabweichung bezogen auf die Summe 0 bis 120 cm)

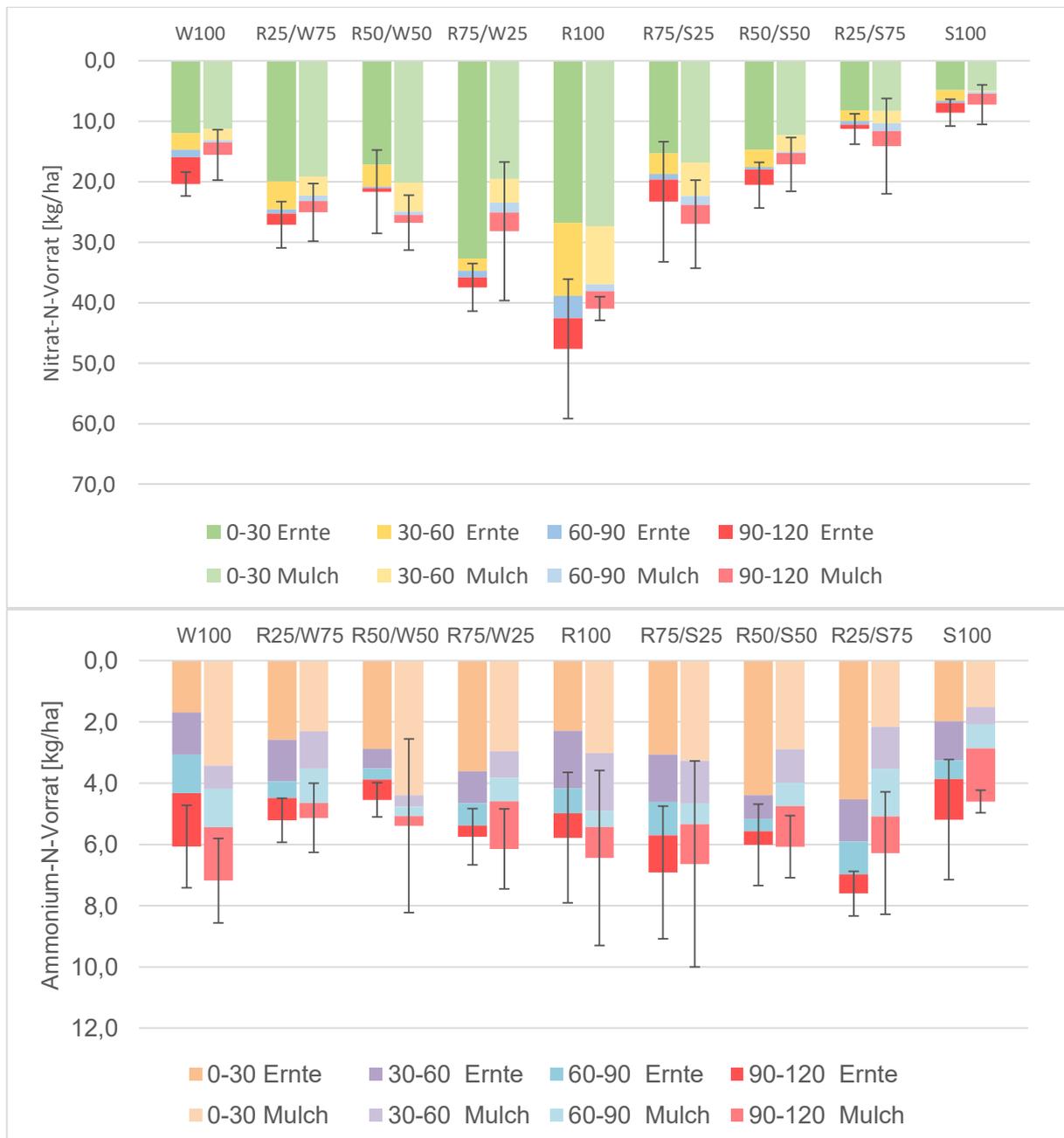


Abb. 75: Vorrat an Nitratstickstoff (oben) und Ammoniumstickstoff (unten) im Boden unter Winterweizen am 21.12.2020 nach Umbruch der Futterbestände aus Reinsaat und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) und unterschiedlicher Nutzung zum letzten Schnitt der Vorfrucht vor Umbruch (Ernte = Schnittgutabfuhr, Mulch: Schnittgut Verbleib als Mulch auf der Fläche) am Standort Caßlau (Mittel  $\pm$  Standardabweichung bezogen auf die Summe 0 bis 120 cm)

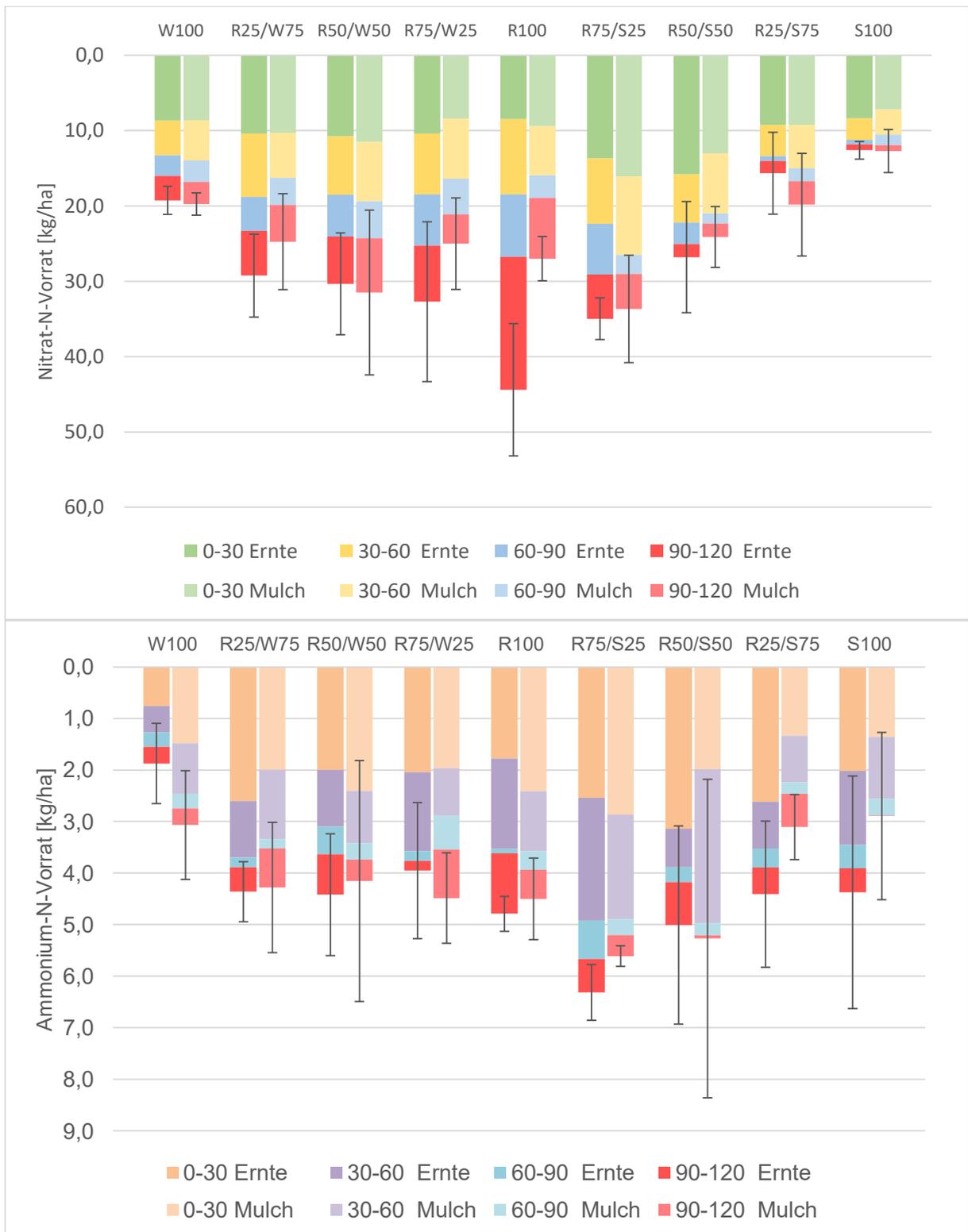


Abb. 76: Vorrat an Nitratstickstoff (oben) und Ammoniumstickstoff (unten) im Boden unter Winterweizen am 23.02.2021 nach Umbruch der Futterbestände aus Reinsaaten und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) und unterschiedlicher Nutzung zum letzten Schnitt der Vorfrucht vor Umbruch (Ernte = Schnittgutabfuhr, Mulch: Schnittgut Verbleib als Mulch auf der Fläche) am Standort Caßlau (Mittel  $\pm$  Standardabweichung bezogen auf die Summe 0 bis 120 cm)

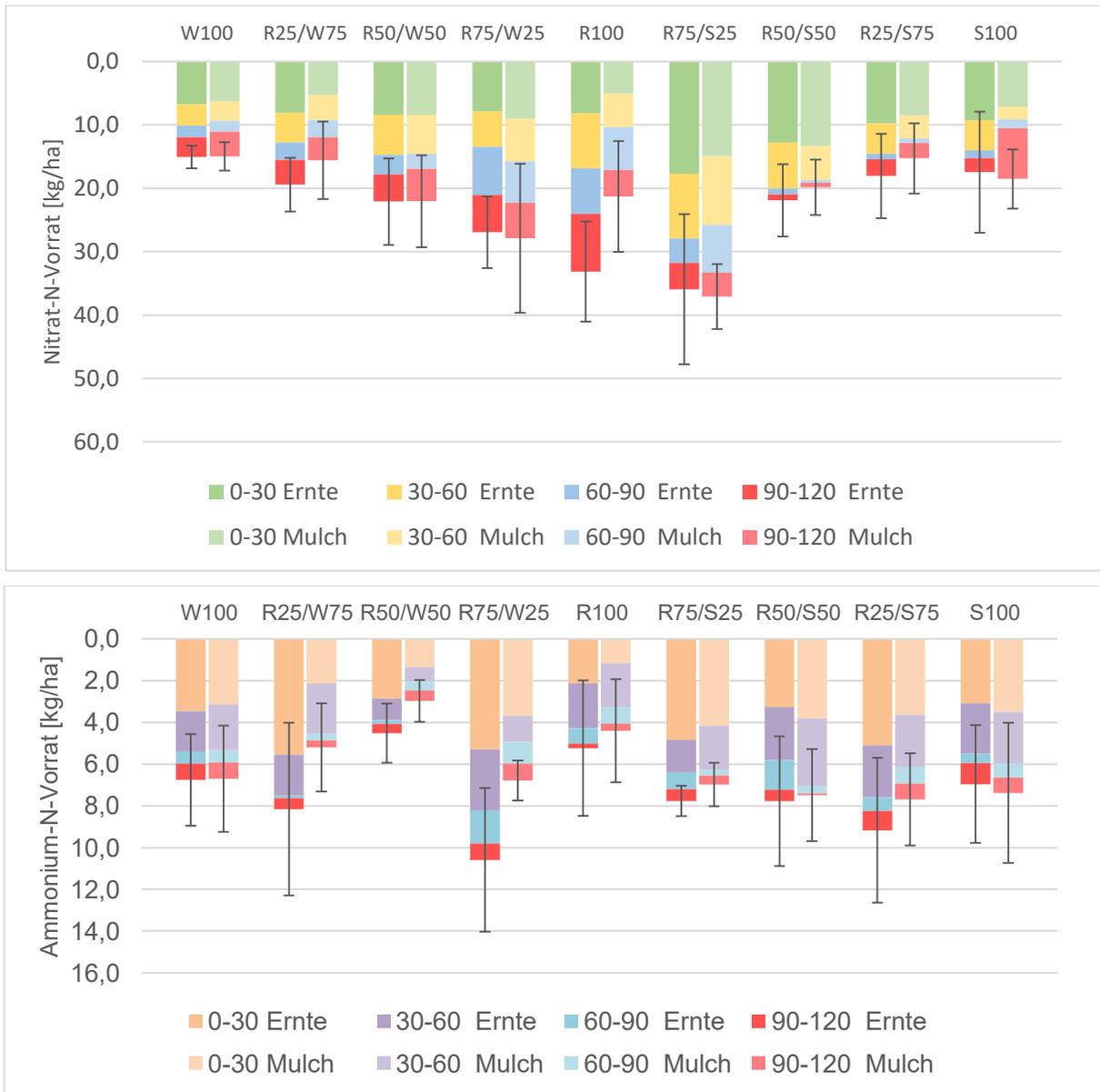


Abb. 77: Vorrat an Nitratstickstoff (oben) und Ammoniumstickstoff (unten) im Boden unter Winterweizen am 01.04.2021 nach Umbruch der Futterbestände aus Reinsaat und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) und unterschiedlicher Nutzung zum letzten Schnitt der Vorfrucht vor Umbruch (Ernte = Schnittgutabfuhr, Mulch: Schnittgut Verbleib als Mulch auf der Fläche) am Standort Caßlau (Mittel  $\pm$  Standardabweichung bezogen auf die Summe 0 bis 120 cm)

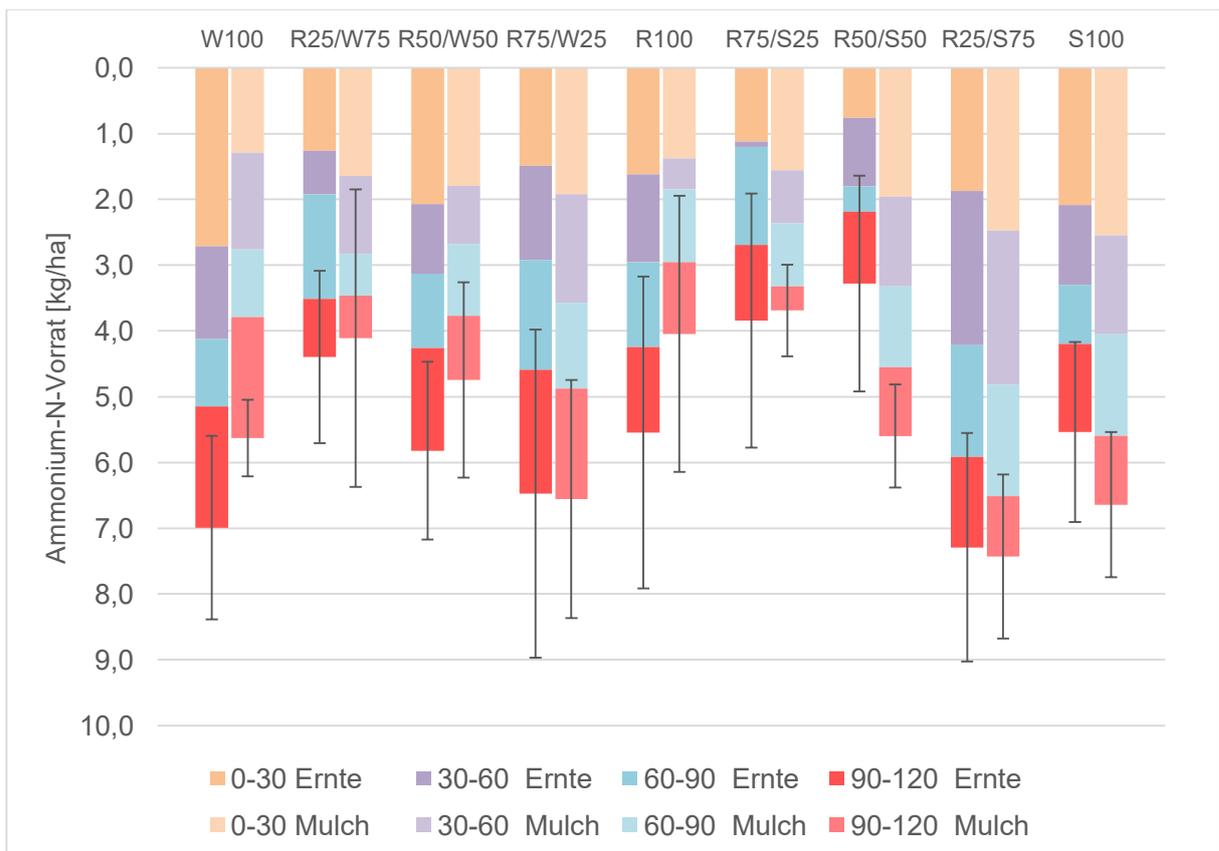
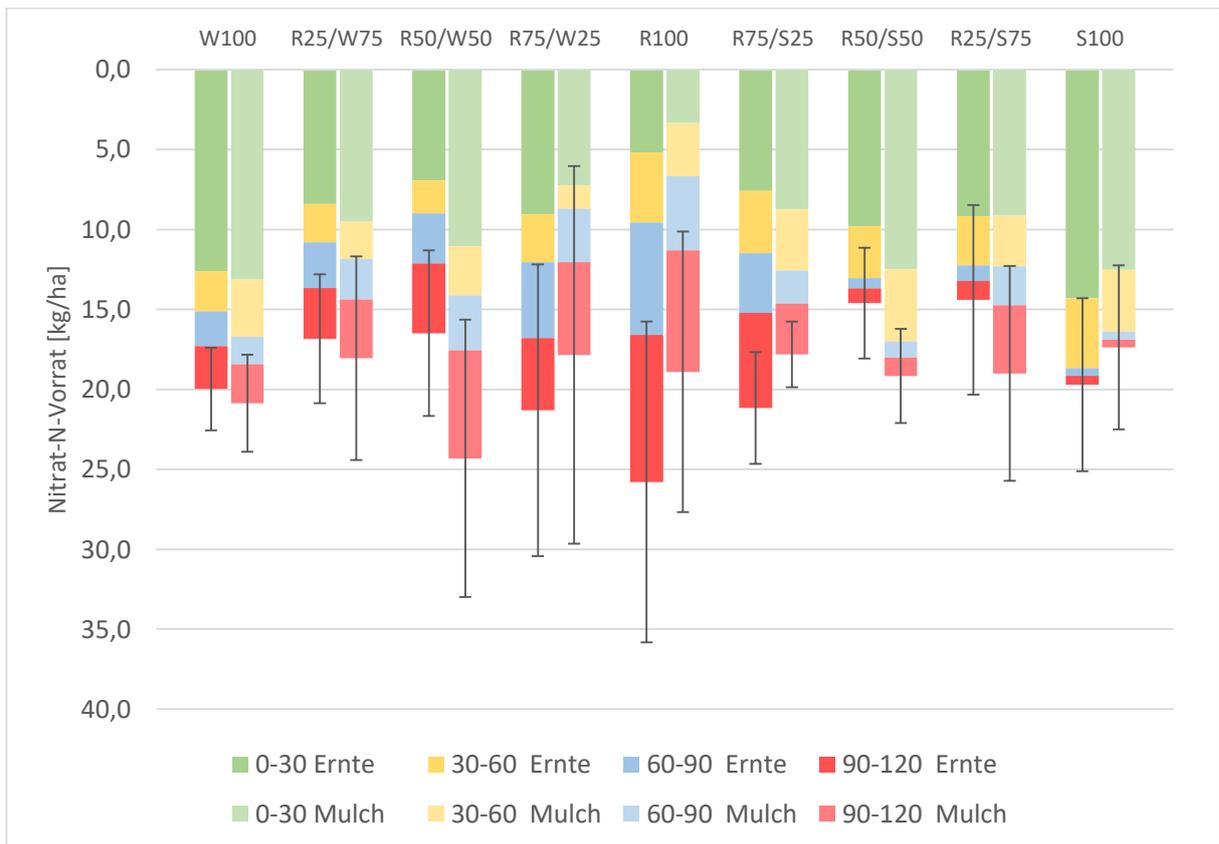


Abb. 78: Vorrat an Nitratstickstoff (oben) und Ammoniumstickstoff (unten) im Boden unter Winterweizen am 08.06.2021 nach Umbruch der Futterbestände aus Reinsaaten und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) und unterschiedlicher Nutzung zum letzten Schnitt der Vorrucht vor Umbruch (Ernte = Schnittgutabfuhr, Mulch: Schnittgut Verbleib als Mulch auf der Fläche) am Standort Caßlau (Mittel  $\pm$  Standardabweichung bezogen auf die Summe 0 bis 120 cm)

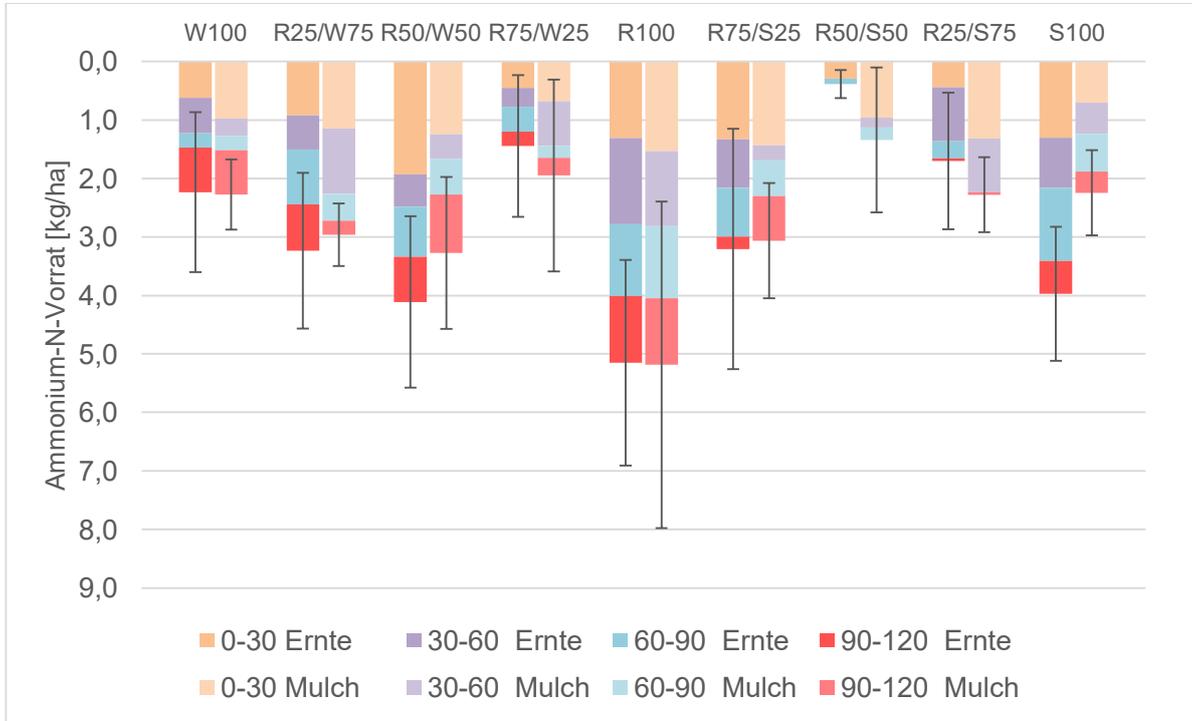
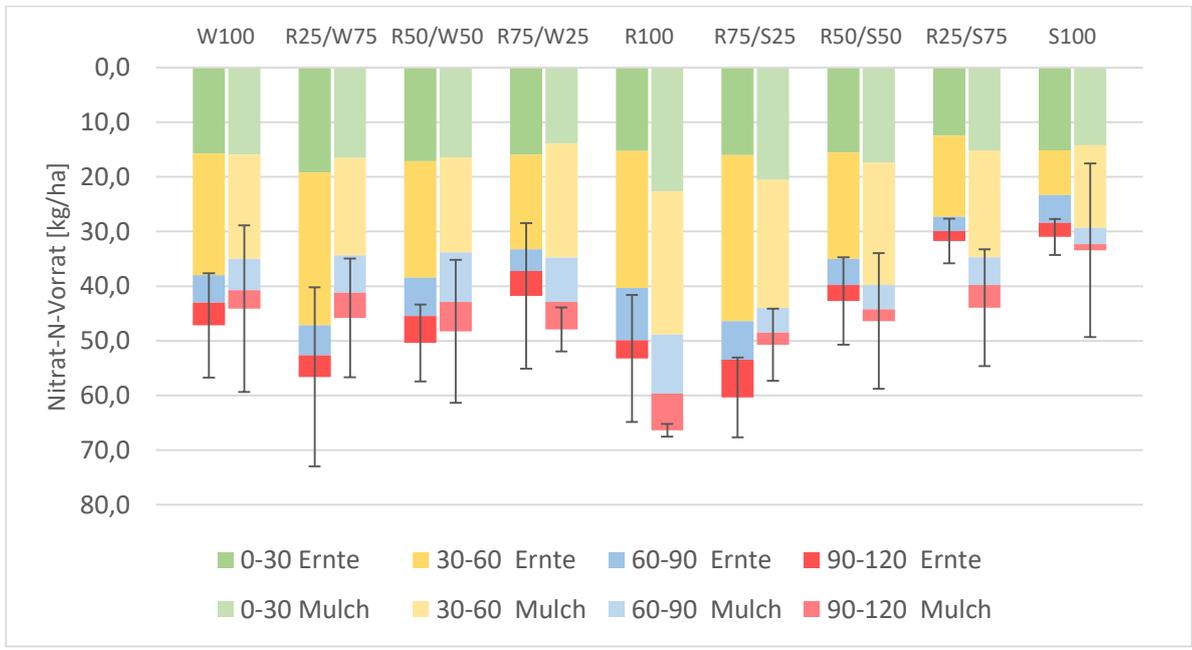


Abb. 79: Vorrat an Nitratstickstoff (oben) und Ammoniumstickstoff (unten) im Boden unter Winterweizen am 06.09.2021 nach Umbruch der Futterbestände aus Reinsaaten und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) und unterschiedlicher Nutzung zum letzten Schnitt der Vorfrucht vor Umbruch (Ernte = Schnittgutabfuhr, Mulch: Schnittgut Verbleib als Mulch auf der Fläche) am Standort Caßlau (Mittel  $\pm$  Standardabweichung bezogen auf die Summe 0 bis 120 cm)

## 4.7.2 Periode 2021-2022

### 4.7.2.1 Standort Struppen

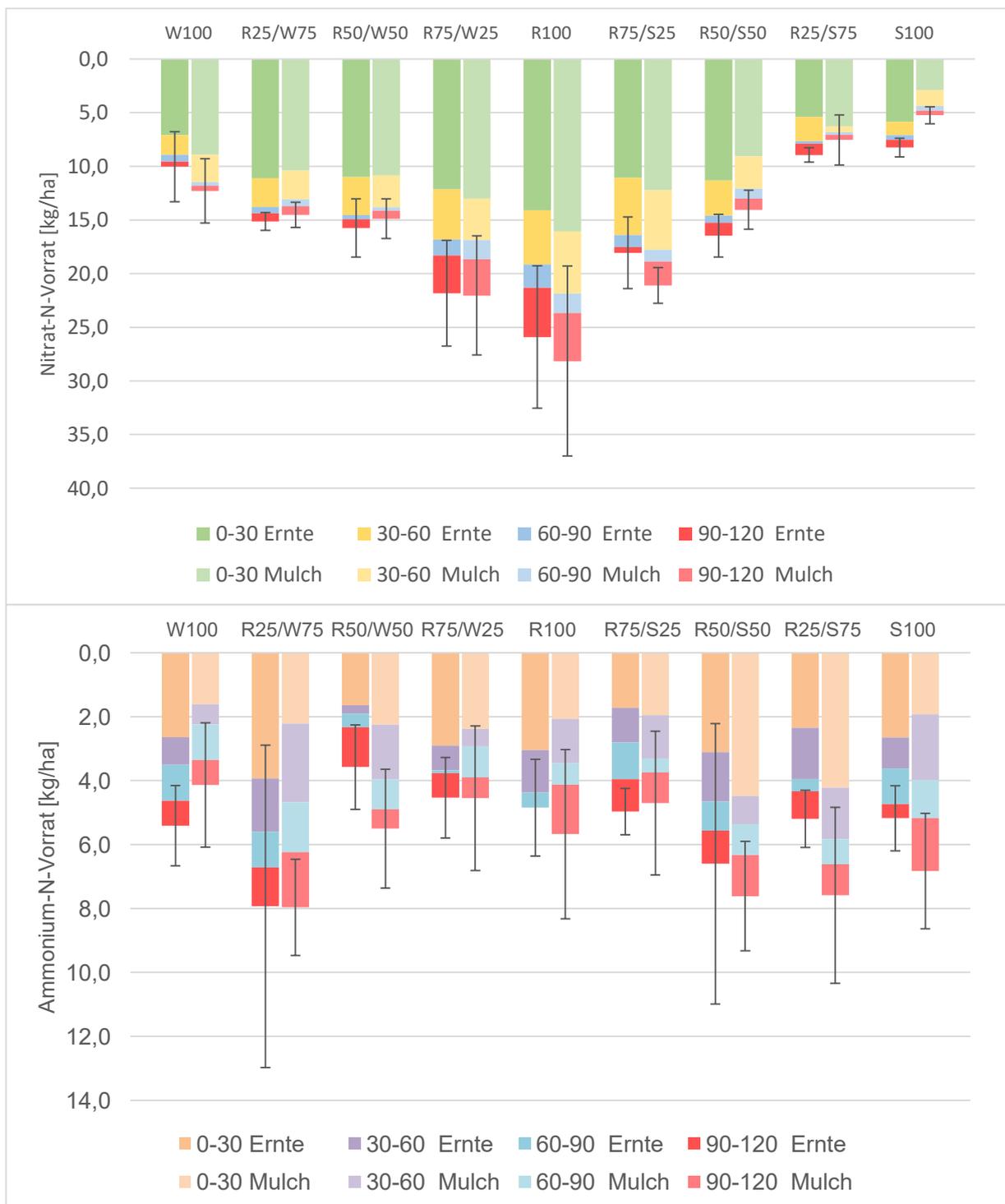


Abb. 80: Vorrat an Nitratstickstoff (oben) und Ammoniumstickstoff (unten) im Boden unter Winterweizen am 09.11.2021 nach Umbruch der Futterbestände aus Reinsaaten und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) und unterschiedlicher Nutzung zum letzten Schnitt der Vorfrucht vor Umbruch (Ernte = Schnittgutabfuhr, Mulch: Schnittgut Verbleib als Mulch auf der Fläche) am Standort Struppen (Mittel  $\pm$  Standardabweichung bezogen auf die Summe 0 bis 120 cm)

Nach Umbruch der Futterbaubestände in der Versuchsanlage II waren am Standort Struppen im Zeitraum bis einschließlich zirka 8 Wochen nach Umbruch signifikante Unterschiede in der Höhe der Nitrat-N-Vorräte (0 bis 120 cm) zwischen den Beständen der Vorfruchte vorhanden (Abb. 80, oben bis Abb. 82, oben) vorhanden. Nach Rotklee in Reinsaat waren hier stets die höchsten  $\text{NO}_3\text{-N}$ -Vorräte im Boden zu finden, die sich von im Mittel 27 kg/ha (Abb. 80, oben) Mitte November auf etwa 53 kg/ha bis Ende Dezember 2021 erhöhten (Abb.

82, oben). Mit zunehmendem Anteil Nichtleguminosen in den Ansaatmischungen bzw. im Bestand sanken die Vorräte sowohl bei Welschem Weidelgras als auch Spitzwegerich kontinuierlich ab, so dass in allen Fällen sich charakteristische Glockenkurven der Verteilung ergaben. Spitzwegerich in Reinsaat wies erneut im Mittel mit 10,7 kg/ha weniger residualen Nitratstickstoff im Boden auf als das Welsche Weidelgras in Reinsaat (17,4 kg/ha, Abb. 82, oben). Die Abfuhr des Schnittguts zum letzten Schnitttermin im Jahr 2021 wirkte sich im Vergleich zur Belassung des Schnittguts auf der Fläche zu keinem Zeitpunkt signifikant auf die Nitrat-N-Vorräte im Boden aus (Abb. 80, oben bis Abb. 84, oben).

Bis Mitte April des darauffolgenden Jahres stiegen die residualen Nitrat-N-Mengen im Boden am Standort Struppen im Mittel der Bestände mit Rotklee in der Vorfrucht auf zirka 125 kg/ha an, wobei hiervon in erster Linie der Oberboden betroffen war (Abb. 84, oben). Nur nach den Reinsaat des Welschen Weidelgrases und des Spitzwegerichs waren im Vergleich zu den Beständen mit Rotklee geringere Mengen an Nitratstickstoff im Boden nachzuweisen (90,9 kg/ha bzw. 81,2 kg/ha, Abb. 84, oben). Zugleich waren zu keinem Zeitpunkt signifikante Unterschiede im Vorrat an Ammoniumstickstoff im Boden zwischen den Prüfgliedern festzustellen. Die Vorräte an NH<sub>4</sub>-N im Boden beliefen sich nur zwischen 4 und 9 kg/ha (Abb. 80, unten bis Abb. 84, unten). Aufgrund eines Stromausfalls zur Versorgung der Gefriertruhen mussten alle im Zeitraum Juni bis August 2021 entnommenen Nmin-Proben für die weitere Analyse leider verworfen werden, da die Proben aufgetaut und mehrere Tage bei Zimmertemperaturen gelagert waren und sich deshalb eine erhöhte N-Mineralisation in den Boden nach der Entnahme vollzogen hatte.

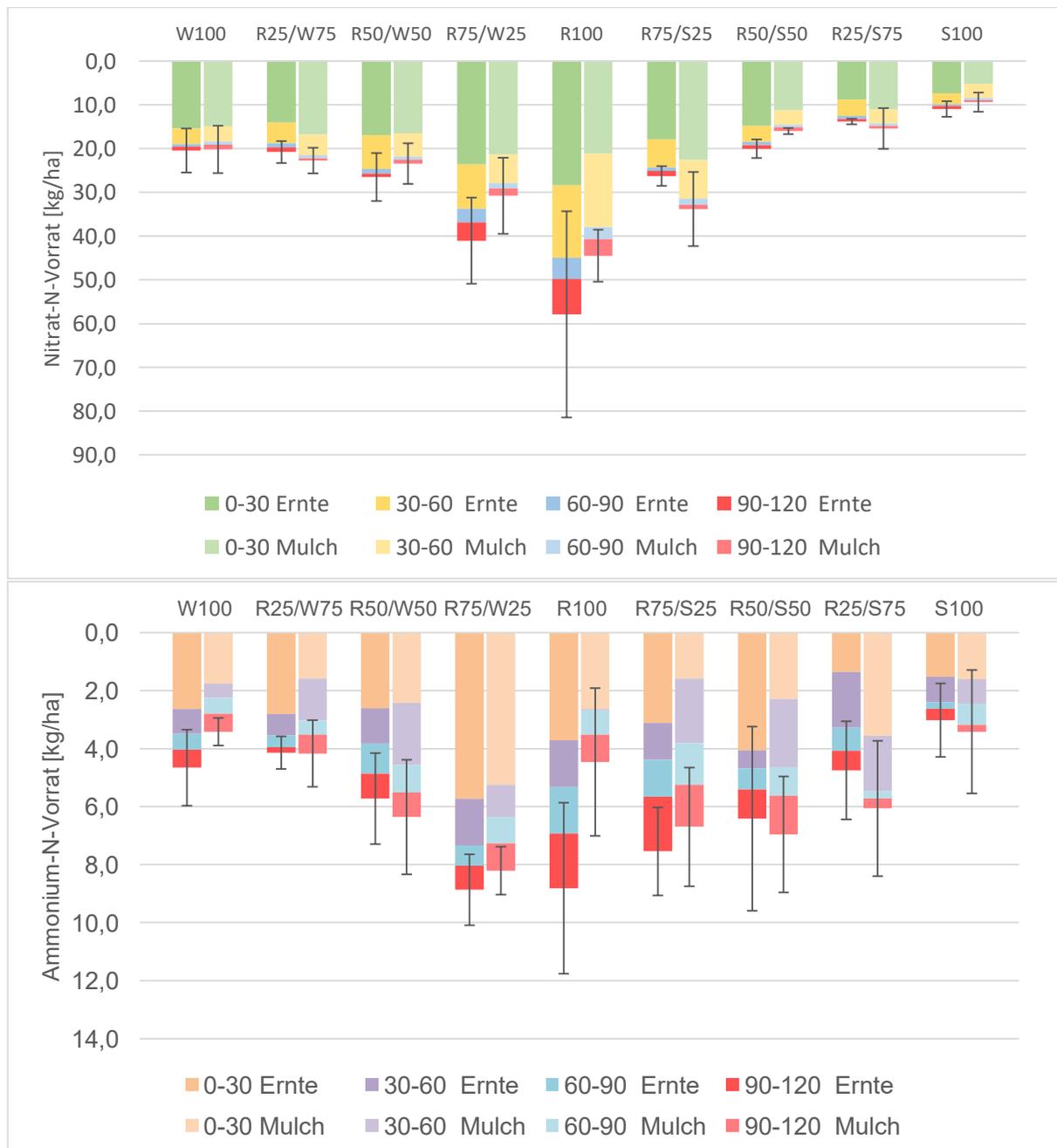


Abb. 81: Vorrat an Nitratstickstoff (oben) und Ammoniumstickstoff (unten) im Boden unter Winterweizen am 23.11.2021 nach Umbruch der Futterbestände aus Reinsaat und Gemenge aus Welschem

Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) und unterschiedlicher Nutzung zum letzten Schnitt der Vorfrucht vor Umbruch (Ernte = Schnittgutabfuhr, Mulch: Schnittgut Verbleib als Mulch auf der Fläche) am Standort Struppen (Mittel  $\pm$  Standardabweichung bezogen auf die Summe 0 bis 120 cm)

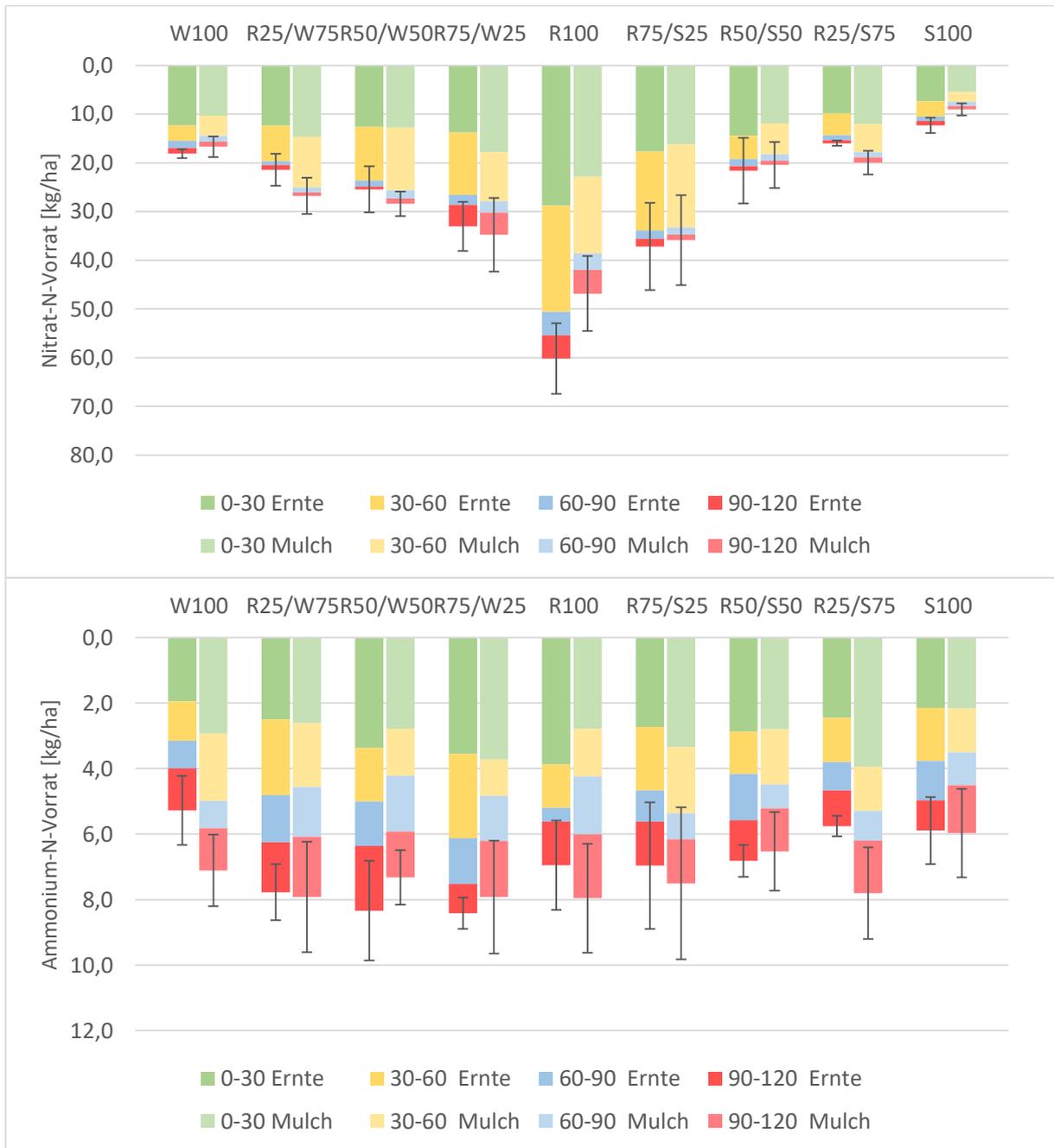


Abb. 82: Vorrat an Nitratstickstoff (oben) und Ammoniumstickstoff (unten) im Boden unter Winterweizen am 20.12.2021 nach Umbruch der Futterbestände aus Reinsaaten und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) und unterschiedlicher Nutzung zum letzten Schnitt der Vorfrucht vor Umbruch (Ernte = Schnittgutabfuhr, Mulch: Schnittgut Verbleib als Mulch auf der Fläche) am Standort Struppen (Mittel  $\pm$  Standardabweichung bezogen auf die Summe 0 bis 120 cm)

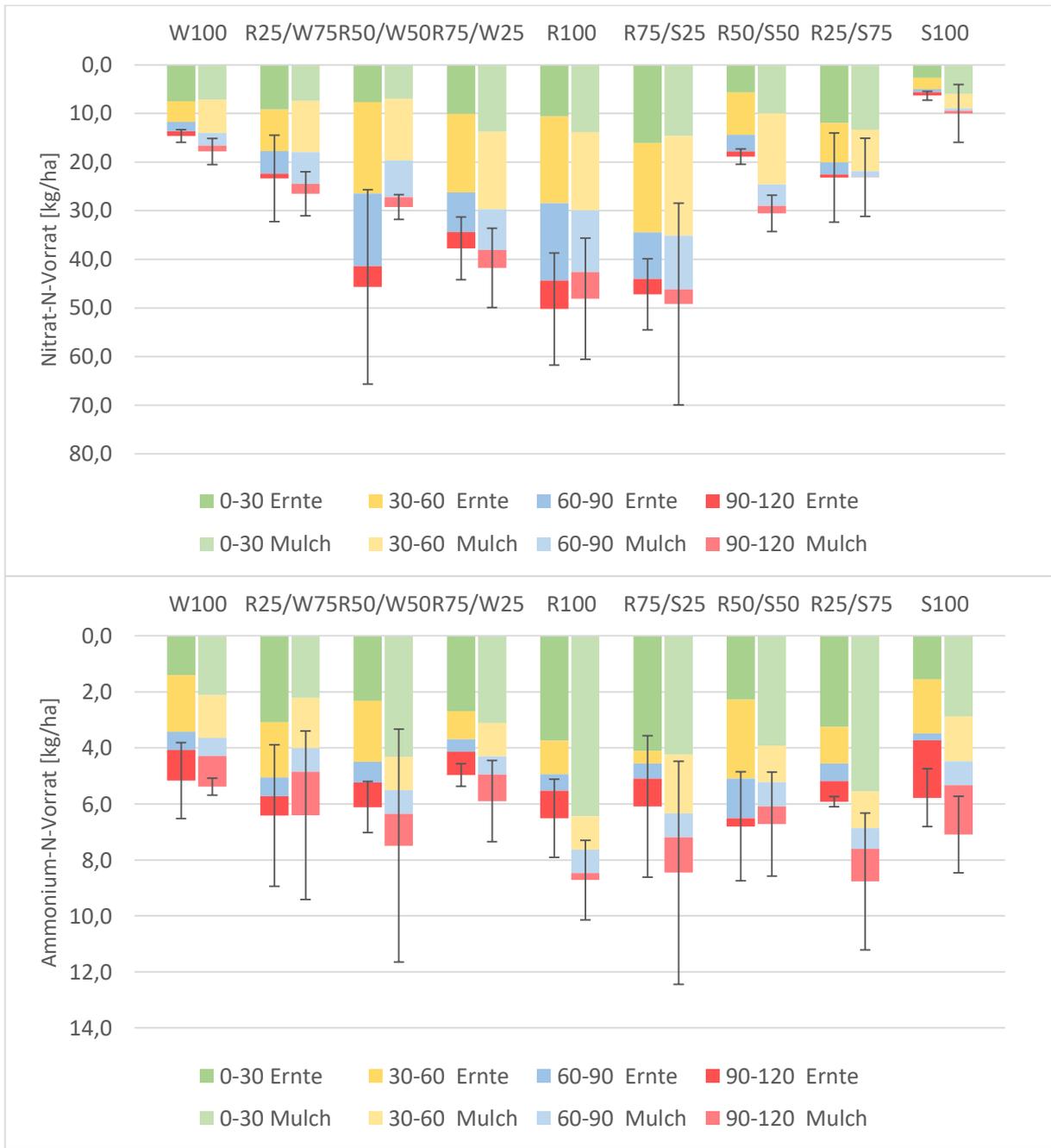


Abb. 83: Vorrat an Nitratstickstoff (oben) und Ammoniumstickstoff (unten) im Boden unter Winterweizen am 15.02.2022 nach Umbruch der Futterbestände aus Reinsaaten und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) und unterschiedlicher Nutzung zum letzten Schnitt der Vorfrucht vor Umbruch (Ernte = Schnittgutabfuhr, Mulch: Schnittgut Verbleib als Mulch auf der Fläche) am Standort Struppen (Mittel  $\pm$  Standardabweichung bezogen auf die Summe 0 bis 120 cm)

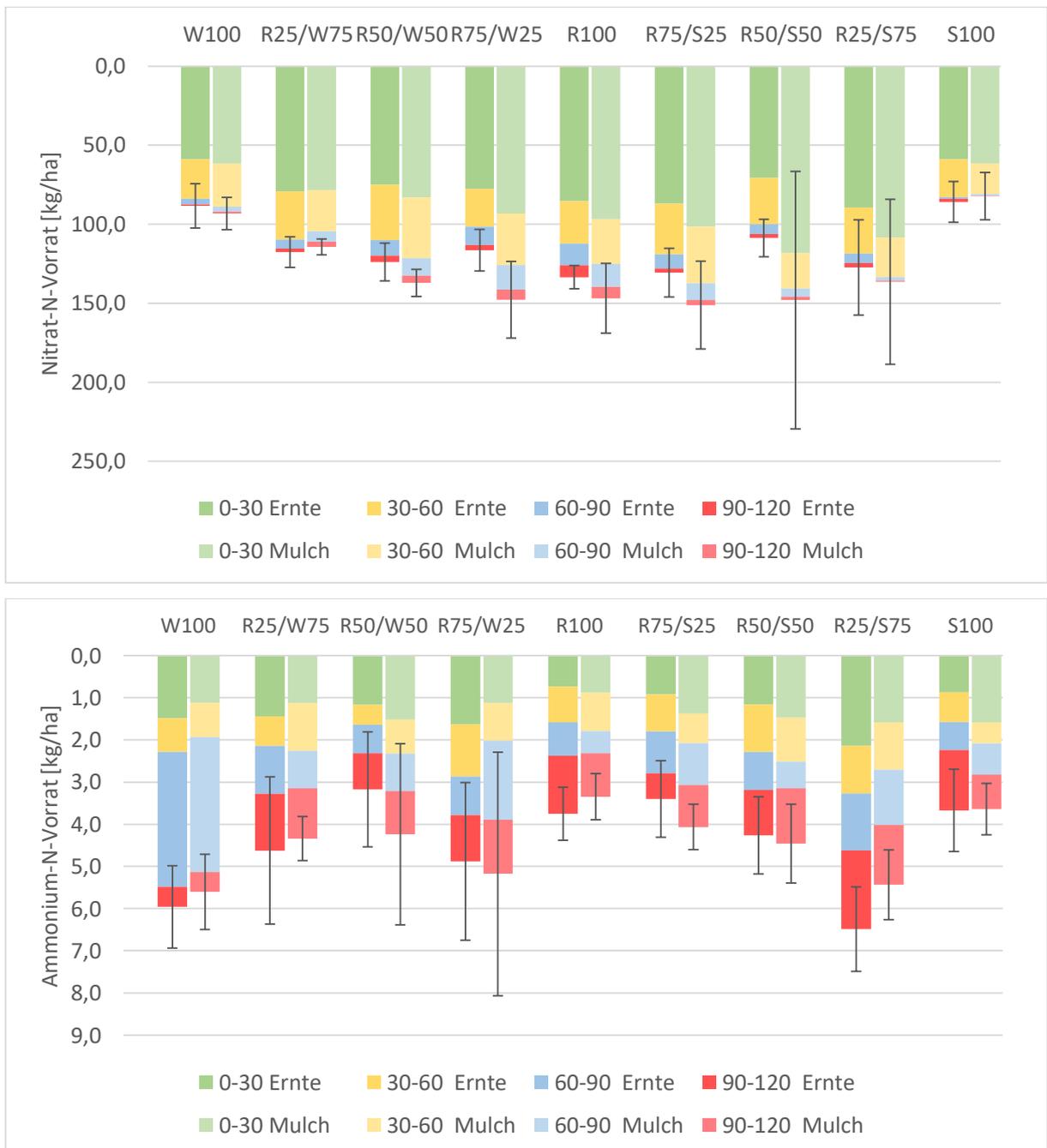


Abb. 84: Vorrat an Nitratstickstoff (oben) und Ammoniumstickstoff (unten) im Boden unter Winterweizen am 20.04.2022 nach Umbruch der Futterbestände aus Reinsaaten und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) und unterschiedlicher Nutzung zum letzten Schnitt der Vorfrucht vor Umbruch (Ernte = Schnittgutabfuhr, Mulch: Schnittgut Verbleib als Mulch auf der Fläche) am Standort Struppen (Mittel  $\pm$  Standardabweichung bezogen auf die Summe 0 bis 120 cm)

#### 4.7.2.2 Standort Caßlau

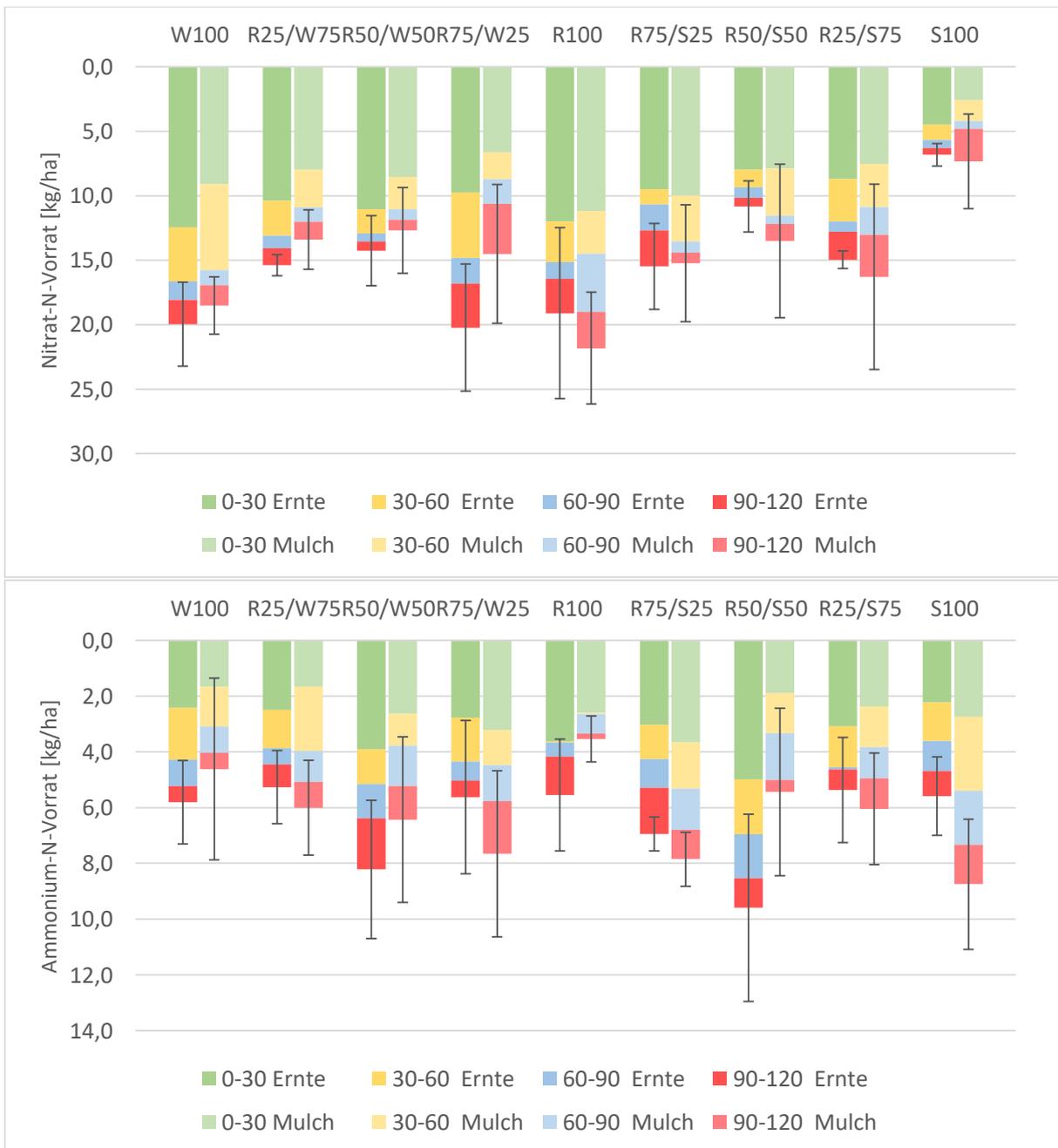


Abb. 85: Vorrat an Nitratstickstoff (oben) und Ammoniumstickstoff (unten) im Boden unter Winterweizen am 16.11.2021 nach Umbruch der Futterbestände aus Reinsaat und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) und unterschiedlicher Nutzung zum letzten Schnitt der Vorfrucht vor Umbruch (Ernte = Schnittgutabfuhr, Mulch: Schnittgut Verbleib als Mulch auf der Fläche) am Standort Caßlau (Mittel  $\pm$  Standardabweichung bezogen auf die Summe 0 bis 120 cm)

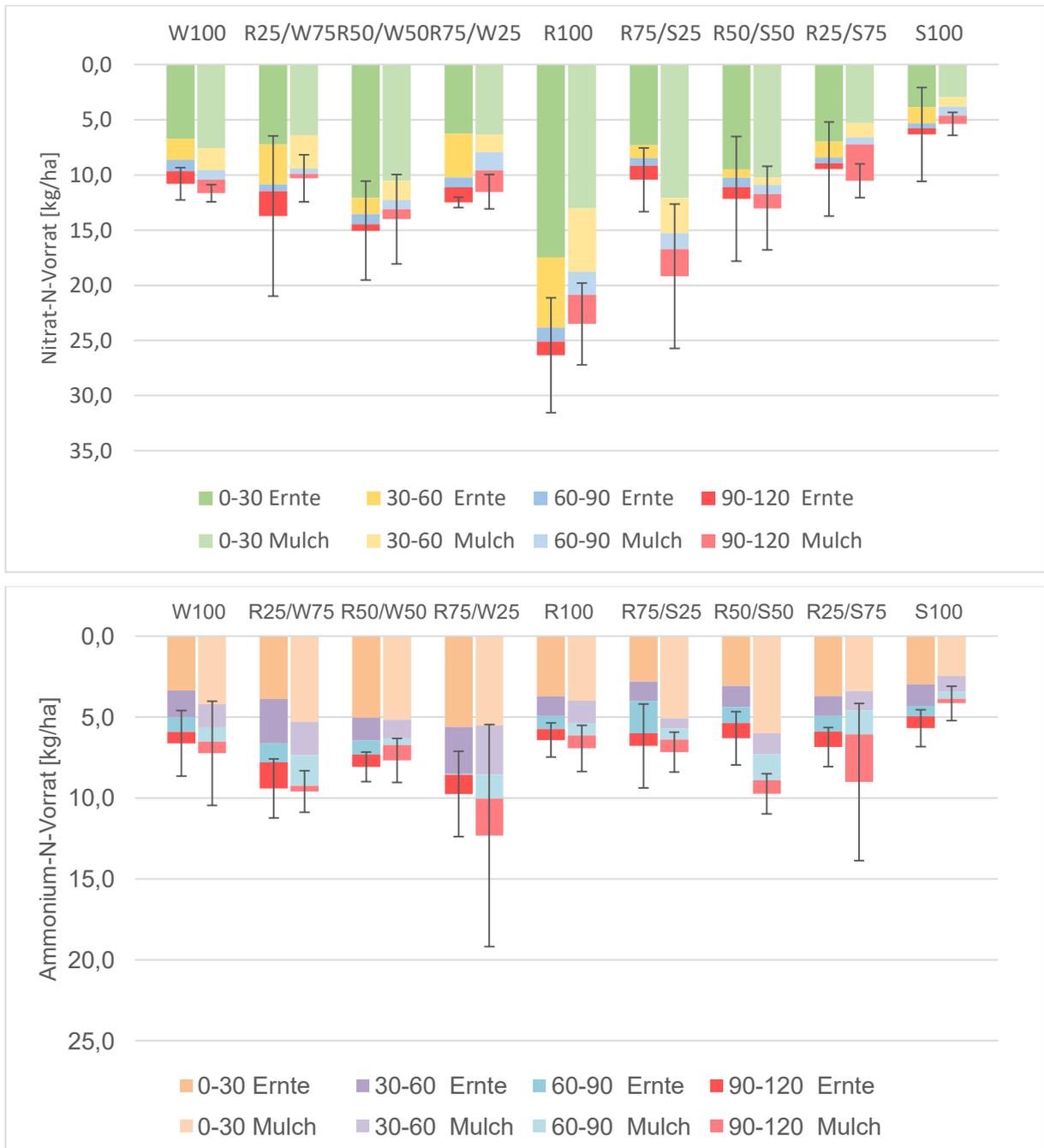


Abb. 86: Vorrat an Nitratstickstoff (oben) und Ammoniumstickstoff (unten) im Boden unter Winterweizen am 30.11.2021 nach Umbruch der Futterbestände aus Reinsaaten und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) und unterschiedlicher Nutzung zum letzten Schnitt der Vorfrucht vor Umbruch (Ernte = Schnittgutabfuhr, Mulch: Schnittgut Verbleib als Mulch auf der Fläche) am Standort Caßlau (Mittel  $\pm$  Standardabweichung bezogen auf die Summe 0 bis 120 cm)

Nach Umbruch im Herbst 2021 waren im Anschluss unter allen Prüfgliedern am Standort Caßlau nur sehr geringe Nitrat-N-Vorräte im Boden mit maximal 26,4 kg/ha ohne signifikante Unterschiede zwischen den Varianten nachzuweisen (Abb. 85, oben und 86, oben). Erst 8 Wochen nach Umbruch differenzierten sich signifikante Unterschiede zwischen den Vorfruchtbeständen hinsichtlich des Nitrat-N-Vorrates im Boden heraus. So wies zu diesem Zeitpunkt nach Vorfrucht Rotklee in Reinsaat der Boden (0 bis 120 cm) im Mittel 44,3 kg  $\text{NO}_3\text{-N/ha}$ , nach Welschem Weidelgras und Spitzwegerich in Reinsaat 17,9 bzw. 7,9 kg  $\text{NO}_3\text{-N/ha}$  auf (Abb.

87, oben). Die Gemenge aus Rotklee mit den Nichtleguminosen wiesen jeweils dazwischenliegende Nitrat-N-Vorräte im Boden auf, wobei jeweils mit Zunahme des Anteils Nichtleguminosen im Gemenge ein Rückgang an Nitrat-N-Vorräten zu verzeichnen war. Bis Mitte Februar stiegen die Vorräte an Nitratstickstoff im Boden aufgrund der Erwärmung des Bodens deutlich auf 60 bis 90 kg/ha mit Ausnahme der Vorfrucht Reinsaat Spitzwegerich mit im Mittel nur auf knapp 10 kg/ha an (Abb. 88, oben). Im Anschluss sanken die Vorräte dann mit Beginn der N-Aufnahme des Weizens aus dem Boden wieder leicht auf unter 70 kg NO<sub>3</sub>-N/ha ab (Abb. 89, oben). Zu keinem Zeitpunkt war allerdings ein signifikanter Einfluss des Belassens des Schnittgutes zum letzten Schnitt auf der Fläche (Variante Mulch) auf die Nitrat-N-Vorräte im Boden nachzuweisen (Abb. 85, oben bis Abb. 89, oben). Zudem nahmen weder die unterschiedlichen Pflanzenbestände noch die Art der Bewirtschaftung vor Umbruch signifikant Einfluss auf die Ammonium-N-Vorräte im Boden. Sie schwankten in der Summe aus 0 bis 120 cm Bodentiefe zwischen 3,6 und 12,3 kg/ha (Abb. 85, unten bis Abb. 89, unten). Leider waren auch die im Zeitraum Juni bis August am Standort Caßlau entnommenen Nmin-Proben von dem Defekt der Stromversorgung der Gefriertruhen betroffen, so dass hier keine weiteren Nmin-Ergebnisse für das Jahr 2022 vom Standort Caßlau präsentiert werden können.

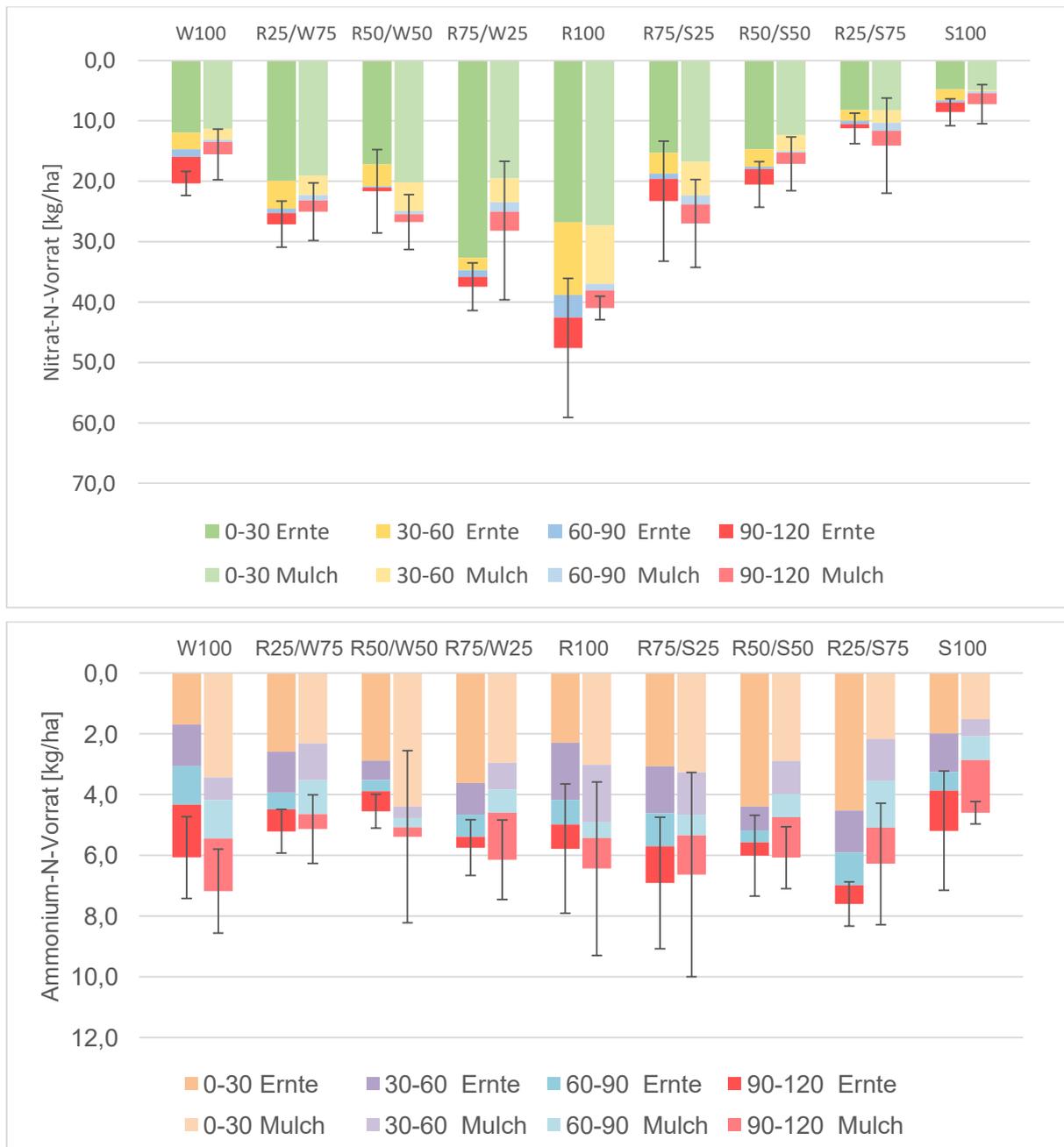


Abb. 87: Vorrat an Nitratstickstoff (oben) und Ammoniumstickstoff (unten) im Boden unter Winterweizen am 05.01.2022 nach Umbruch der Futterbestände aus Reinsaat und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) und unterschiedlicher Nutzung zum letzten Schnitt der Vorfrucht vor Umbruch (Ernte = Schnittgutabfuhr, Mulch: Schnittgut Verbleib als Mulch auf der Fläche) am Standort Caßlau (Mittel  $\pm$  Standardabweichung bezogen auf die Summe 0 bis 120 cm)

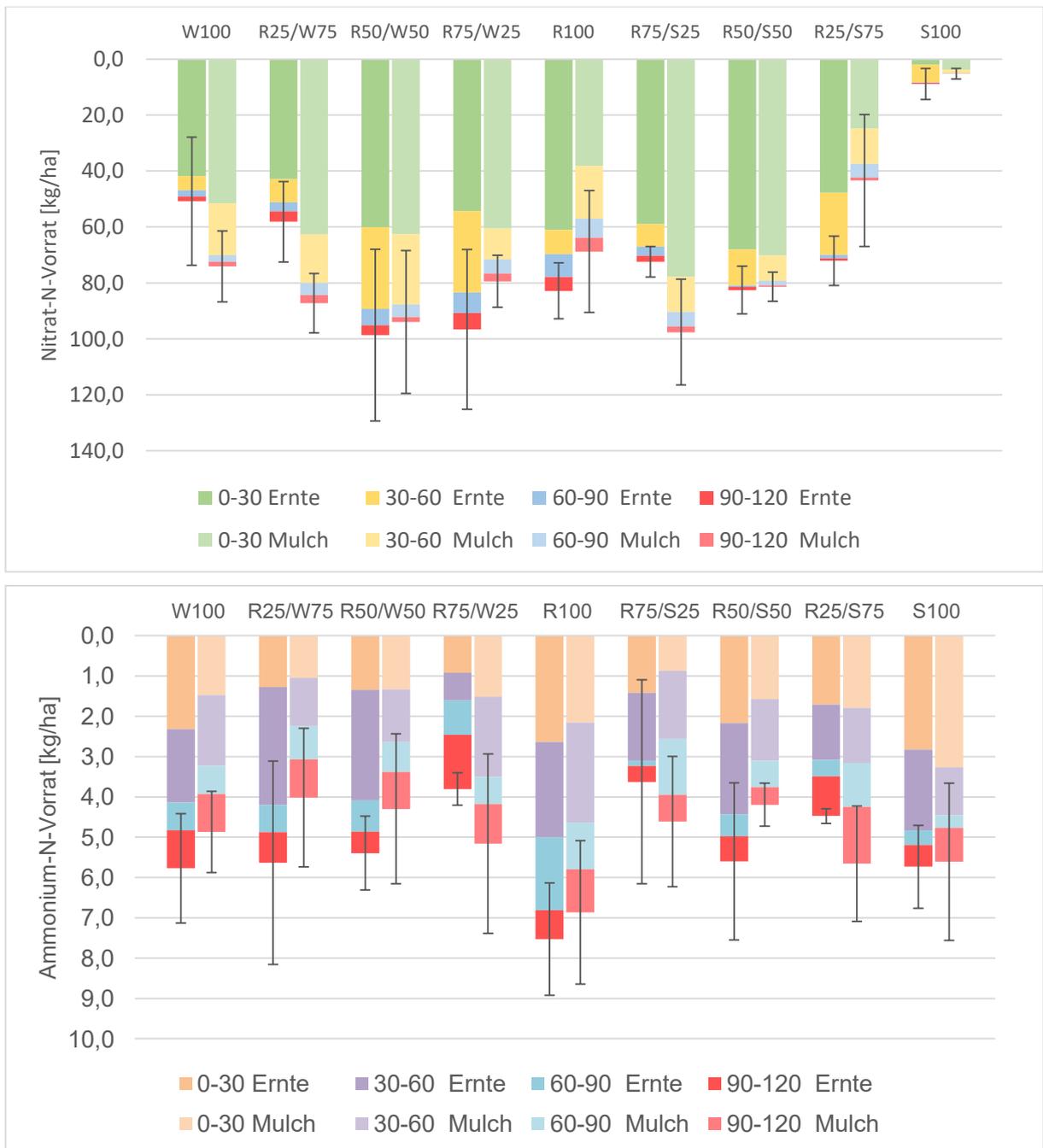


Abb. 88: Vorrat an Nitratstickstoff (oben) und Ammoniumstickstoff (unten) im Boden unter Winterweizen am 16.02.2022 nach Umbruch der Futterbestände aus Reinsaat und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) und unterschiedlicher Nutzung zum letzten Schnitt der Vorfrucht vor Umbruch (Ernte = Schnittgutabfuhr, Mulch: Schnittgut Verbleib als Mulch auf der Fläche) am Standort Caßlau (Mittel  $\pm$  Standardabweichung bezogen auf die Summe 0 bis 120 cm)

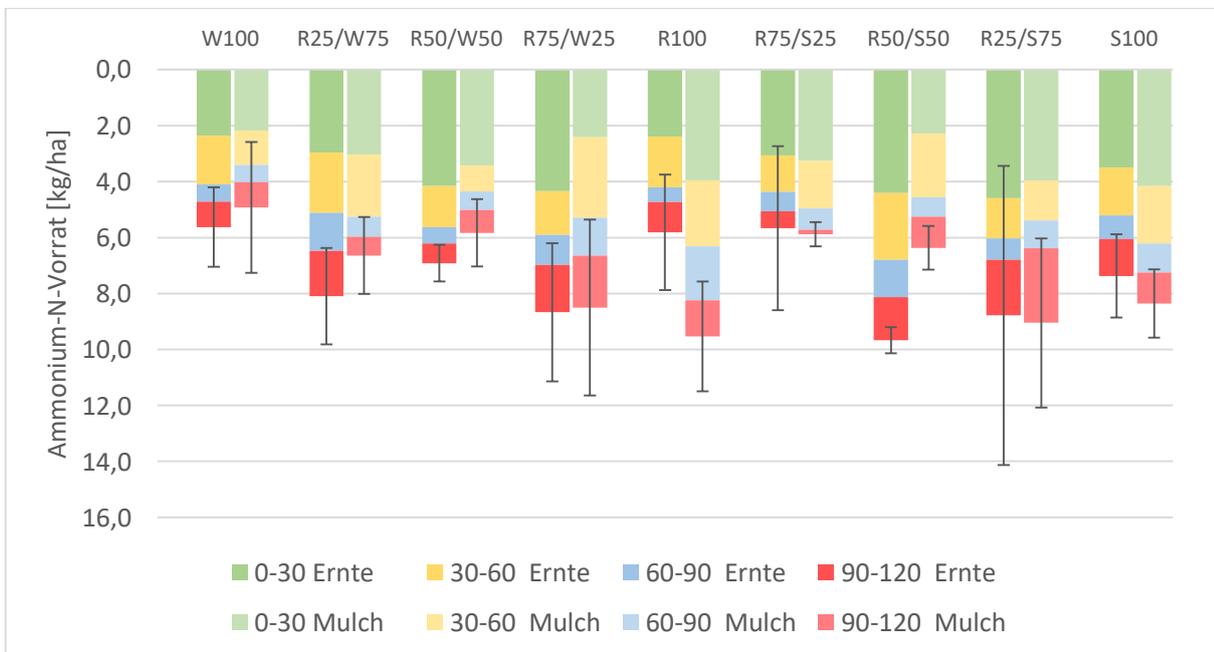
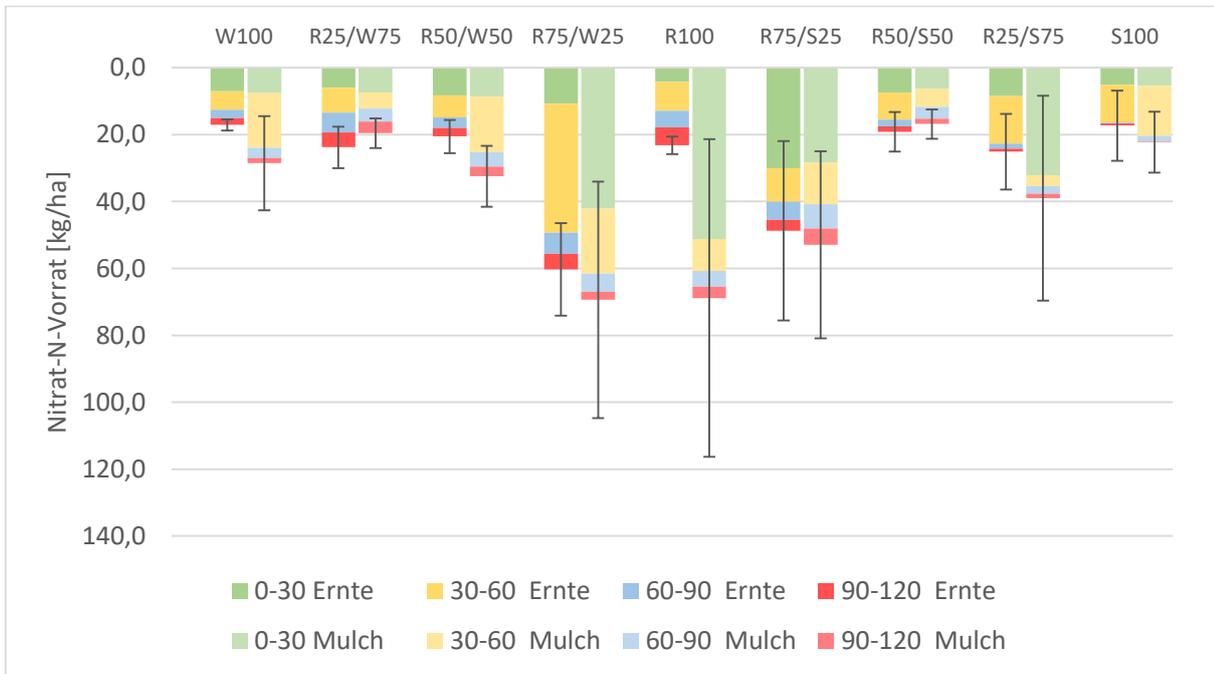


Abb. 89: Vorrat an Nitratstickstoff (oben) und Ammoniumstickstoff (unten) im Boden unter Winterweizen am 25.04.2022 nach Umbruch der Futterbestände aus Reinsaaten und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) und unterschiedlicher Nutzung zum letzten Schnitt der Vorfrucht vor Umbruch (Ernte = Schnittgutabfuhr, Mulch: Schnittgut Verbleib als Mulch auf der Fläche) am Standort Caßlau (Mittel  $\pm$  Standardabweichung bezogen auf die Summe 0 bis 120 cm)

## 4.8 N-Austräge durch Auswaschung nach Umbruch der Futterbestände

### 4.8.1 Sickerperiode 2020/2021

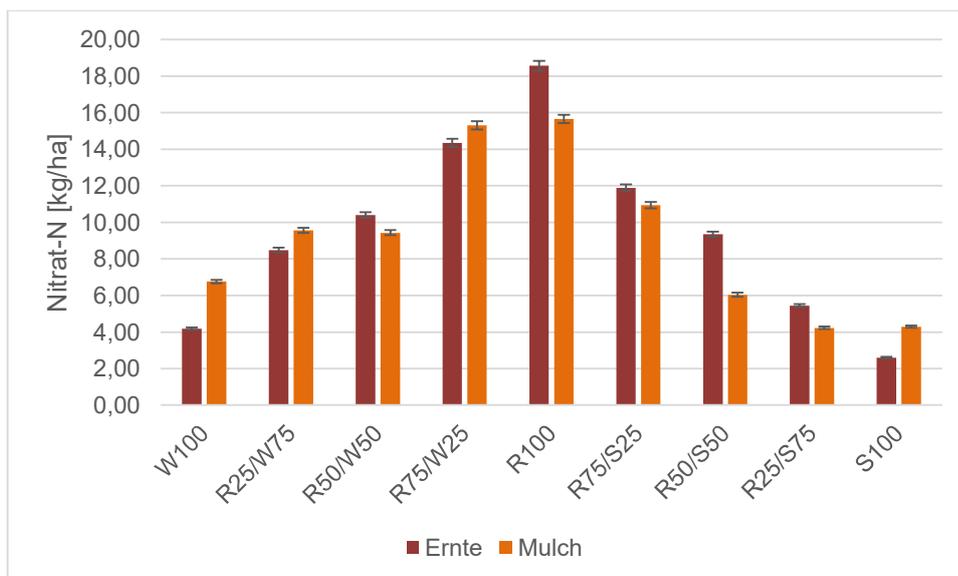


Abb. 90: Kumulierte Nitrat-N-Austräge nach Umbruch der Futterbestände aus Reinsaat und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) und unterschiedlicher Nutzung zum letzten Schnitt der Vorfrucht vor Umbruch (Ernte = Schnittgutabfuhr, Mulch: Schnittgut Verbleib als Mulch auf der Fläche, Mittel  $\pm$  Standardabweichung) am Standort Struppen

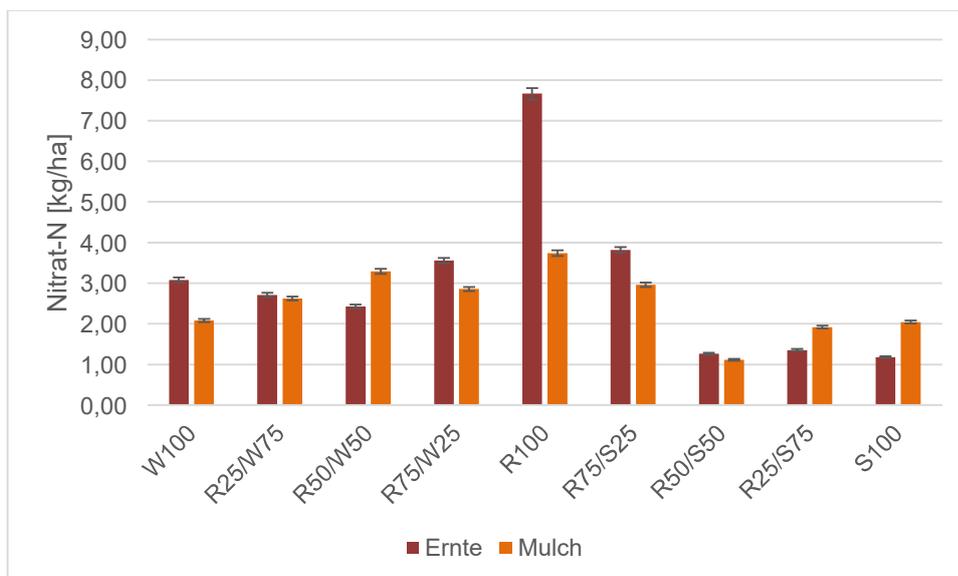


Abb. 91: Kumulierte Nitrat-N-Austräge nach Umbruch der Futterbestände aus Reinsaat und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) und unterschiedlicher Nutzung zum letzten Schnitt der Vorfrucht vor Umbruch (Ernte = Schnittgutabfuhr, Mulch: Schnittgut Verbleib als Mulch auf der Fläche, Mittel  $\pm$  Standardabweichung) am Standort Caßlau

Auf Grundlage der mittels dem Programm METVER berechneten täglichen Sickerwasserflüssen aus 120 cm Bodentiefe und der im Zeitraum Oktober bis April erfassten Nitratvorräte in der Bodenschicht 90 bis 120 cm wurden die N-Austräge über Nitrat in den Sickerwasserperioden 2020/2021 sowie 2021/2022 berechnet. Dabei wurden die N-Austräge erfasst, die nach Umbruch der unterschiedlichen Futterbestände unter Winterweizen an den Standorten Struppen und Caßlau zu verzeichnen waren.

Die Vorfrucht Rotklee in Reinsaat führte in der Sickerwasserperiode 2020/2021 am Standort Struppen mit im Mittel 17,1 kg/ha zu den höchsten, Spitzwegerich in Reinsaat mit 6,9 kg/ha zu den geringsten Nitrat-N-Austrägen (Abb. 90). Sowohl in Reinsaat (Mittel 9,8 kg/ha) als auch im Mittel der Gemenge mit Rotklee (11,3 kg/ha) trug Welsches Weidelgras zu etwa um 3 kg/ha höheren N-Austrägen als Spitzwegerich bei (Mittel im Gemenge

mit Rotklee: 8,0 kg/ha). Höhere Anteile Rotklee im Gemenge führten bei beiden Nichtleguminosen-Gemendepartnern zu einem leichten Anstieg der N-Austräge. Das Belassen des letzten Schnittguts der Futterbestände auf der Fläche steigerte die N-Austräge nicht (Mittel Mulch: 9,1 kg/ha, Mittel Ernte: 9,5 kg/ha).

Am Standort Caßlau zeichnete sich in der Sickerperiode 2020/2021 ein analoges Bild der Wirkungen der verschiedenen Vorfrüchte auf den N-Austrag nach Umbruch wie am Standort Struppen ab (Abb. 91). Allerdings wurden hier mit im Mittel der Prüfglieder deutlich geringere N-Mengen über Auswaschung ausgetragen (2,8 versus 9,3 kg/ha am Standort Struppen, Abb. 90). Rotklee in Reinsaat führte auch hier mit im Mittel 5,7 kg/ha zu den höchsten, Spitzwegerich in Reinsaat zu den geringsten (2,0 kg/ha) N-Austrägen unter der Nachfrucht Winterweizen. Die Gemenge aus Rotklee mit Welschem Weidelgras trugen im Mittel zu einem N-Austrag in Höhe von 2,9 kg/ha, die entsprechenden Gemenge mit Spitzwegerich im Mittel 2,1 kg/ha bei. Die Nutzungsart des letzten Schnitts hatte auch hier nur sehr geringe Auswirkungen auf die Höhe der N-Austräge (Mittel Variante Mulch: 2,5 kg/ha, Mittel Variante Ernte: 3,0 kg/ha).

#### 4.8.2 Sickerperiode 2021/2022



Abb. 92: Kumulierte Nitrat-N-Austräge nach Umbruch der Futterbestände aus Reinsaaten und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) und unterschiedlicher Nutzung zum letzten Schnitt der Vorfrucht vor Umbruch (Ernte = Schnittgutabfuhr, Mulch: Schnittgut Verbleib als Mulch auf der Fläche, Mittel ± Standardabweichung) am Standort Struppen

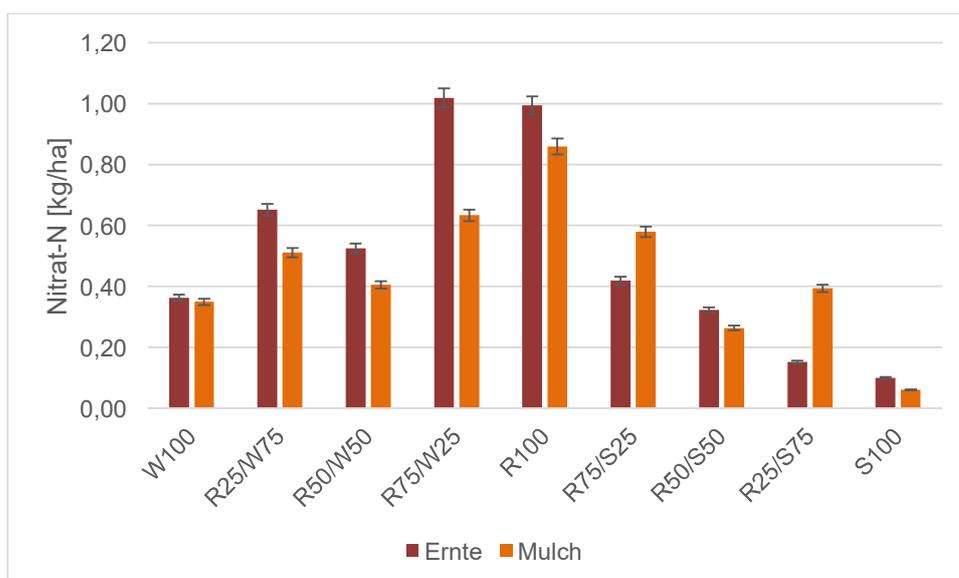


Abb. 93: Kumulierte Nitrat-N-Austräge nach Umbruch der Futterbestände aus Reinsaaten und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) und unterschiedlicher Nutzung zum letzten Schnitt der Vorfrucht vor Umbruch (Ernte = Schnittgutabfuhr, Mulch: Schnittgut Verbleib als Mulch auf der Fläche, Mittel ± Standardabweichung) am Standort Caßlau

In der zweiten Sickerperiode (2021/2022) lagen die mittleren N-Austräge nach den Futterbeständen am Standort Struppen mit 3,9 kg/ha (Abb. 92) niedriger als im Jahr zuvor mit 9,3 kg/ha (Abb. 90). Die Reihenfolge der Höhe der N-Austräge blieb aber erhalten: Nach Rotklee in Reinsaat im Mittel 10,8 kg/ha, nach Spitzwegerich in Reinsaat im Mittel 2,2 kg/ha im Vergleich zur Reinsaat von Welschem Weidelgras mit im Mittel 3,8 kg/ha. Spitzwegerich erwies sich erneut auch in den Gemengen mit Rotklee als stärker hemmend hinsichtlich der N-Austräge (im Mittel 2,5 kg/ha) als das Welsche Weidelgras (im Mittel 4,4 kg/ha). Auch im zweiten Jahr führte das Belassen des letzten Aufwuchses der Futterbestände nicht zu einem Anstieg der N-Austräge durch Auswaschung aus 120 cm Tiefe (Mittel Variante Mulch: 3,7 kg/ha, Mittel Variante Ernte: 4,0 kg/ha).

Mit im Mittel nur 0,5 kg/ha fielen die N-Austräge durch Auswaschung am Standort Caßlau insgesamt in der Sickerwasserperiode 2021/2022 sehr gering aus (Abb. 93). Dennoch zeichneten sich auch hier identische Muster der Bestände im Hinblick auf die N-Austräge ab. Nach Rotklee in Reinsaat wurden im Mittel 0,93 kg/ha, nach Spitzwegerich in Reinsaat im Mittel rechnerisch 0,06 kg/ha im Vergleich zur Reinsaat von Welschem Weidelgras mit im Mittel 0,36 kg/ha an Nitratstickstoff ausgetragen. Spitzwegerich erwies sich erneut auch in den Gemengen mit Rotklee als stärker hemmend hinsichtlich der N-Austräge (im Mittel 0,35 kg/ha) als das Welsche Weidelgras (im Mittel 0,62 kg/ha). Auch im zweiten Jahr führte das Belassen des letzten Aufwuchses der Futterbestände am Standort Caßlau nicht zu einem Anstieg der N-Austräge durch Auswaschung (Mittel Variante Mulch: 0,44 kg/ha, Mittel Variante Ernte: 0,50 kg/ha).

## 4.9 N-Aufnahme der Folgefrucht Winterweizen

### 4.9.1 Jahr 2021

#### 4.9.1.1 Standort Struppen

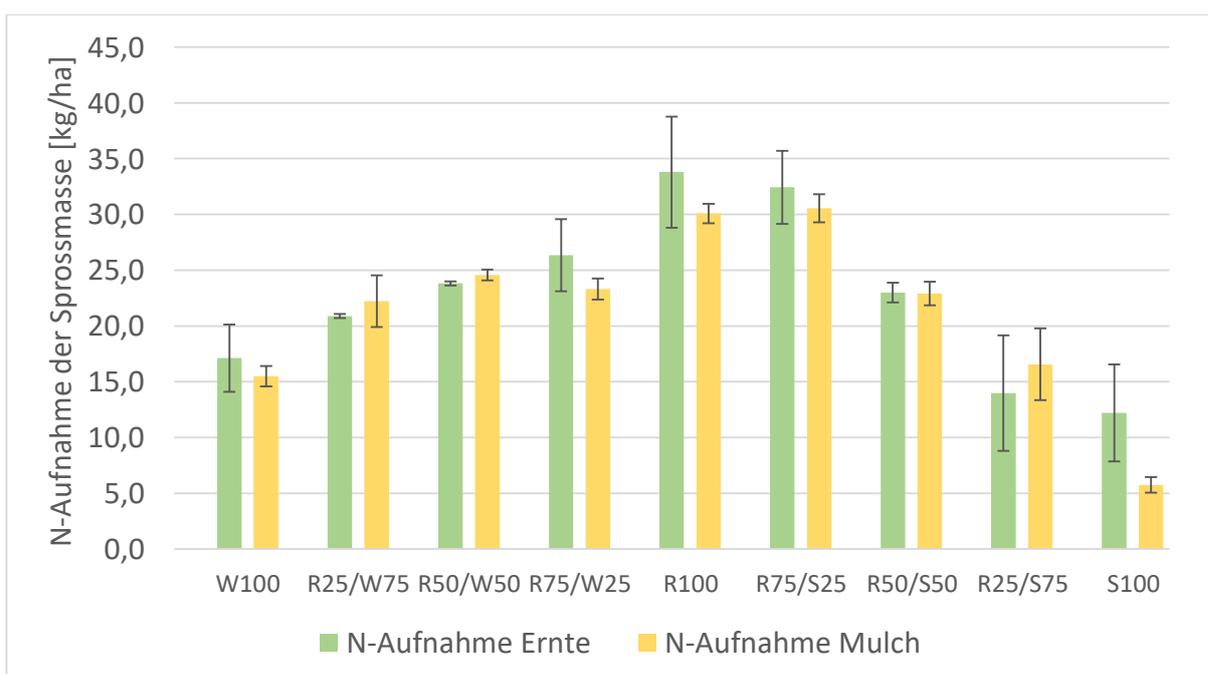


Abb. 94: N-Menge im Spross der Folgefrucht Winterweizen zum Ende der Bestockung (06.05.2021) am Standort Struppen als Funktion der Vorfrucht mit Futterbeständen aus Reinsaaten und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) und unterschiedlicher Nutzung zum letzten Schnitt der Vorfrucht vor Umbruch (Ernte = Schnittgutabfuhr, Mulch: Schnittgut Verbleib als Mulch auf der Fläche, Mittel  $\pm$  Standardabweichung)

Um die N-Vorfruchtwirkung der unterschiedlich zusammengesetzten Futterbestände und die Art der Nutzung zum letzten Schnitt der Futterbestände auf Winterweizen näher zu beschreiben, wurden zu Ende der Bestockung, zum Ährenschießen sowie zur physiologischen Reife des Winterweizens jeweils auf Kleinteilflächen die Spross-Trockenmasse und der N-Gehalt im Spross ermittelt, um daraus die N-Aufnahme des Weizens zu berechnen. In analoger Weise wurde das an beiden Standorten und in beiden Versuchsjahren (2021 und 2022) durchgeführt.

Am Standort Struppen wurde zur Bestockung (Abb. 94) und zum Zeitpunkt des Ährenscheidens (Abb. 95) im Mittel der Prüfglieder eine signifikant höhere N-Aufnahme im Spross nach Belassen des Schnittguts des letzten Schnitttermins (Variante Mulch) als nach dessen Abfuhr (Variante Ernte) festgestellt. Dieser Effekt war

zur physiologischen Reife des Winterweizens mit mittleren N-Aufnahmen in Stroh und Korn in Höhe von 123,7 kg (Variante Ernte) und 124,1 kg (Variante Mulch) nicht mehr festzustellen (Abb. 96).

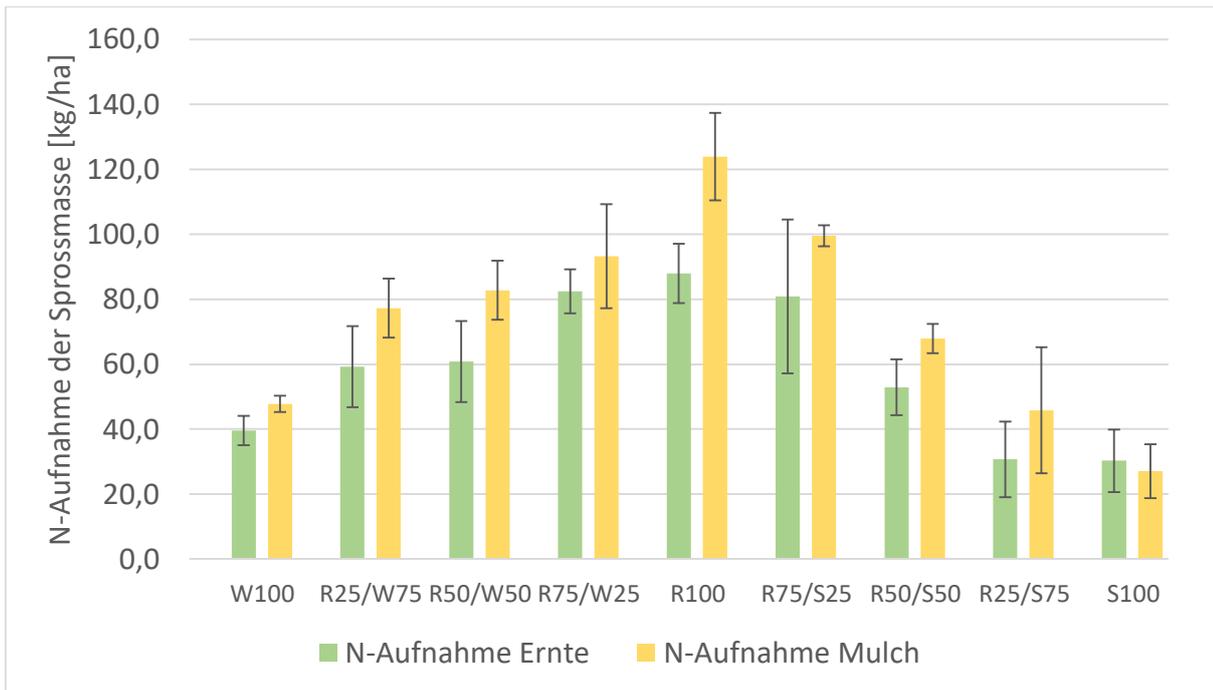


Abb. 95: N-Menge im Spross der Folgefrucht Winterweizen zum Ährenschieben (07.06.2021) am Standort Struppen als Funktion der Vorfrucht mit Futterbeständen aus Reinsaaten und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) und unterschiedlicher Nutzung zum letzten Schnitt der Vorfrucht vor Umbruch (Ernte = Schnittgutabfuhr, Mulch: Schnittgut Verbleib als Mulch auf der Fläche, Mittel  $\pm$  Standardabweichung)

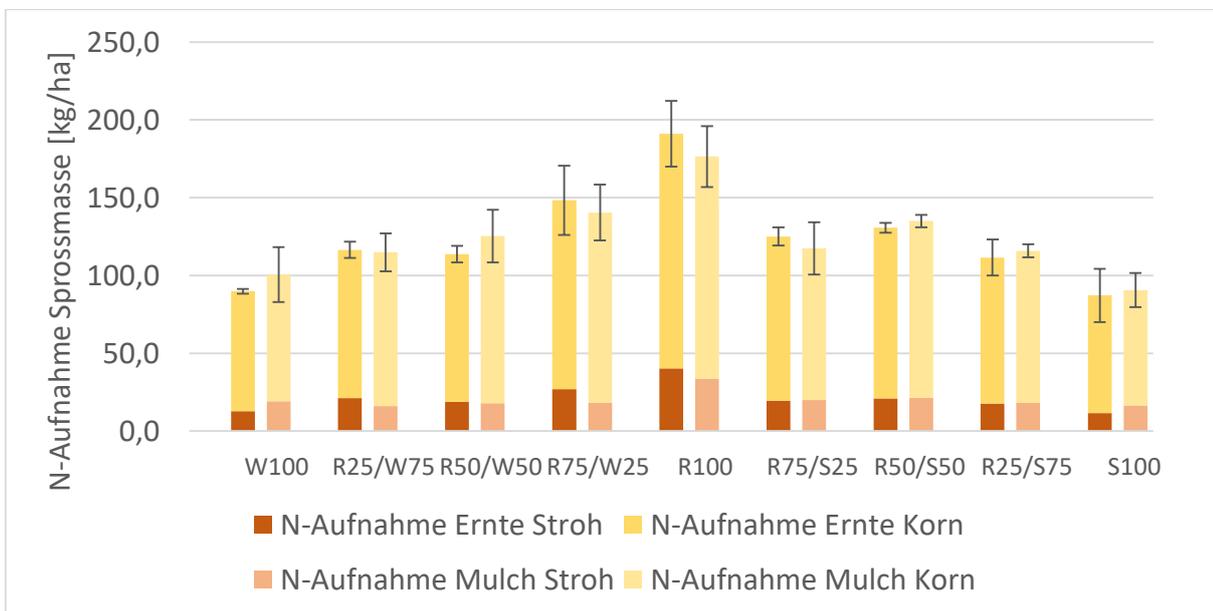


Abb. 96: N-Menge im Spross der Folgefrucht Winterweizen zum physiologischen Reife (13.08.2021) am Standort Struppen als Funktion der Vorfrucht mit Futterbeständen aus Reinsaaten und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) und unterschiedlicher Nutzung zum letzten Schnitt der Vorfrucht vor Umbruch (Ernte = Schnittgutabfuhr, Mulch: Schnittgut Verbleib als Mulch auf der Fläche, Mittel  $\pm$  Standardabweichung)

Sehr markant und durchgängig zu allen drei Probenahmeterminen zeigten sich Wirkungen der Bestandeszusammensetzung der Vorfrucht. Rotklee in Reinsaat führte stets zu einer signifikant höheren N-Aufnahme des Weizens im Vergleich zu den Reinsaaten der Nichtleguminosen. Zur physiologischen Reife des Winterweizens befanden sich im Mittel 183,8 kg N/ha nach Rotklee in Reinsaat, 95,3 kg N/ha nach Welschem Weidelgras und 89,4 kg N/ha nach Spitzwegerich in Reinsaat in Stroh und Korn des Weizens (Abb. 96). Die Gemenge mit Welschem Weidelgras und Spitzwegerich ordneten sich jeweils zwischen den jeweiligen Reinsaaten und Rotklee in der Höhe der N-Aufnahme der Folgefrucht Winterweizen ein. Hier spiegeln sich

zudem zunehmende Anteile Rotklee in der Saatmischung in einem Anstieg der N-Aufnahme des Winterweizens wider (Abb. 94 bis Abb. 96). Der Spitzwegerich führte in allen Beständen zu einer im Vergleich mit Welschem Weidelgras im Mittel leicht verringerten N-Aufnahme des Weizens.

#### 4.9.1.2 Standort Caßlau

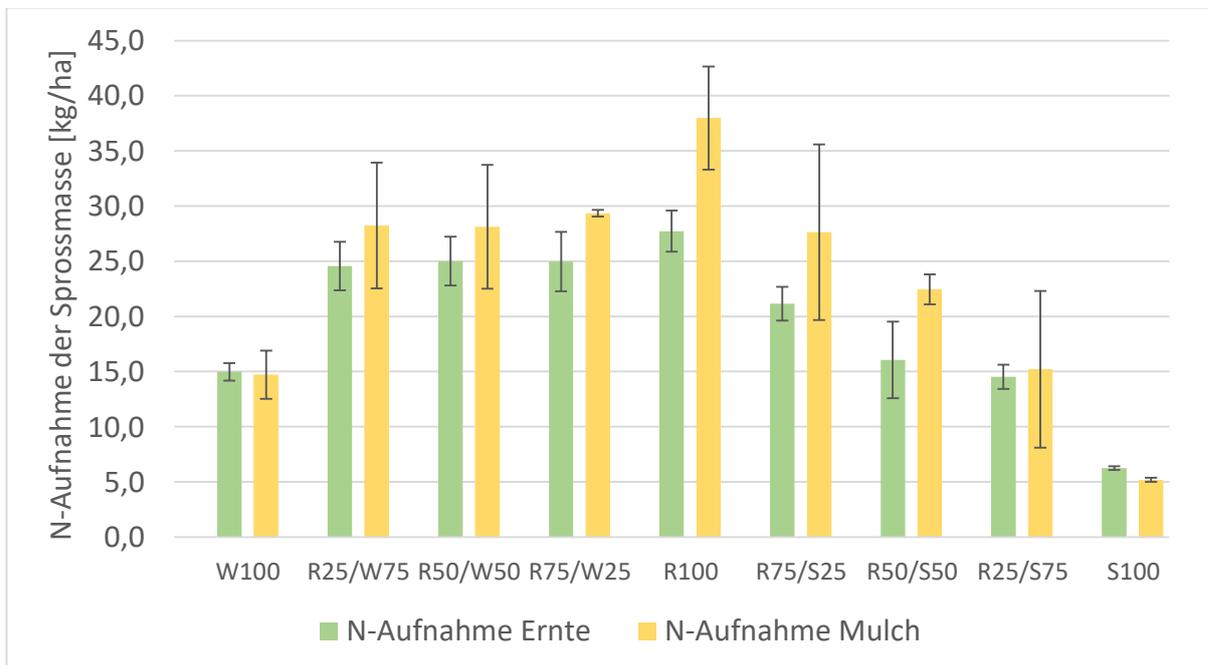


Abb. 97: N-Menge im Spross der Folgefrucht Winterweizen zum Ende der Bestockung (04.05.2021) am Standort Caßlau als Funktion der Vorfrucht mit Futterbeständen aus Reinsaat und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) und unterschiedlicher Nutzung zum letzten Schnitt der Vorfrucht vor Umbruch (Ernte = Schnittgutabfuhr, Mulch: Schnittgut Verbleib als Mulch auf der Fläche, Mittel  $\pm$  Standardabweichung)

Der Winterweizen nahm im Jahr 2021 am Standort Caßlau als Folgefrucht zu den unterschiedlichen Futterbeständen bis zu physiologischen Reife im Mittel aller Prüfglieder 47 kg N/ha weniger in Korn und Stroh auf (Abb. 99) als im gleichen Jahr am Standort Struppen (Abb. 96). Ein Belassen des letzten Aufwuchs auf der Fläche und anschließender Einarbeitung führte am Standort Caßlau zu keinem Termin der Probenahme des Winterweizens zu einer signifikanten Steigerung der N-Aufnahme im Spross des Weizens (Abb. 97 bis Abb. 99). Zur physiologischen Reife war im Mittel aller Prüfglieder mit 77 kg/ha nur eine leicht höhere N-Aufnahme des Winterweizens zu verzeichnen als nach Abfuhr des letzten Schnittgutes der Futterbestände im Jahr zuvor (68,2 kg/ha, Variante Ernte). Hingegen zeichneten die Winterweizenbestände im Hinblick auf deren N-Aufnahme analog zu den Ergebnissen am Standort Struppen die Zusammensetzung der Vorfrucht-Futterbestände sehr gut wider. Nasch Rotklee in Reinsaat akkumulierte der Winterweizen mit insgesamt 93,6 kg/ha signifikant mehr Stickstoff in Stroh und Korn als nach den Vorfrüchten Welsches Weidelgras in Reinsaat (49,5 kg/ha) und Spitzwegerich in Reinsaat (49,5 kg/ha, Abb. 99). Die Vorfrüchte Gemenge aus Rotklee und Welschem Weidelgras bzw. Rotklee und Spitzwegerich führten zu N-Aufnahmen des Winterweizens, die jeweils dazwischen lagen, wobei ein Rückgang der N-Aufnahme mit zunehmendem Anteil Nichtleguminosen in der Saatmischung der Vorfrucht zu verzeichnen war.

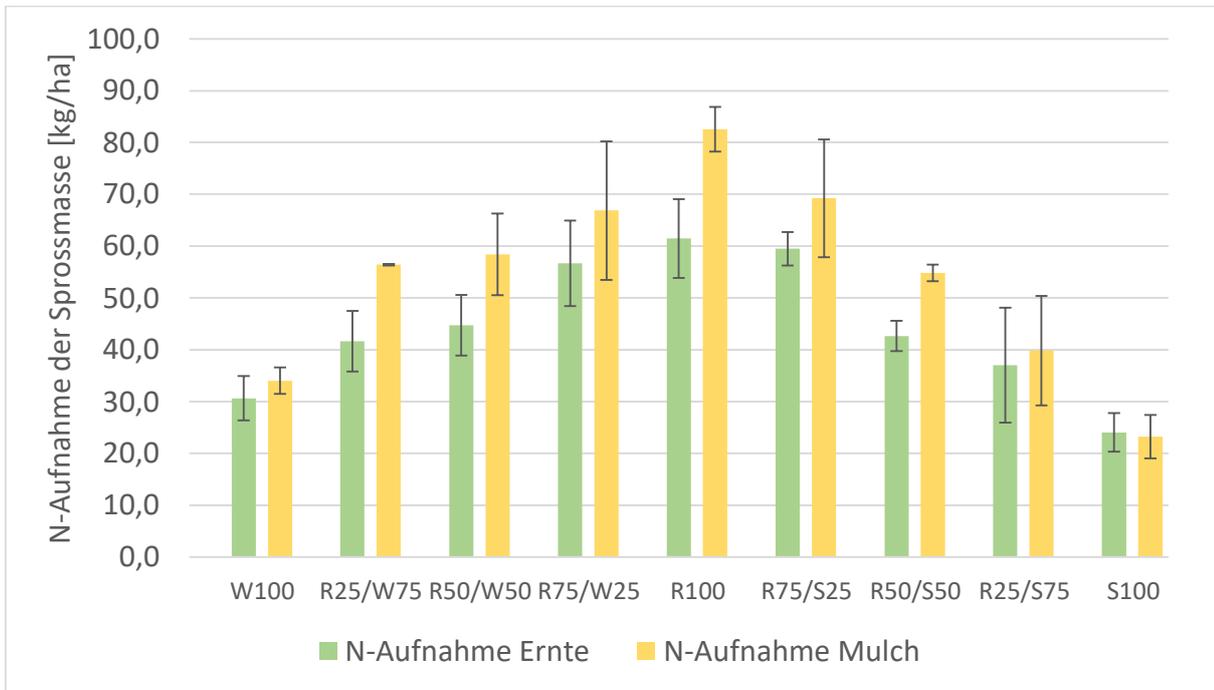


Abb. 98: N-Menge im Spross der Folgefrucht Winterweizen zum Ährenschieben (06.06.2021) am Standort Caßlau als Funktion der Vorfrucht mit Futterbeständen aus Reinsaaten und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) und unterschiedlicher Nutzung zum letzten Schnitt der Vorfrucht vor Umbruch (Ernte = Schnittgutabfuhr, Mulch: Schnittgut Verbleib als Mulch auf der Fläche, Mittel  $\pm$  Standardabweichung)

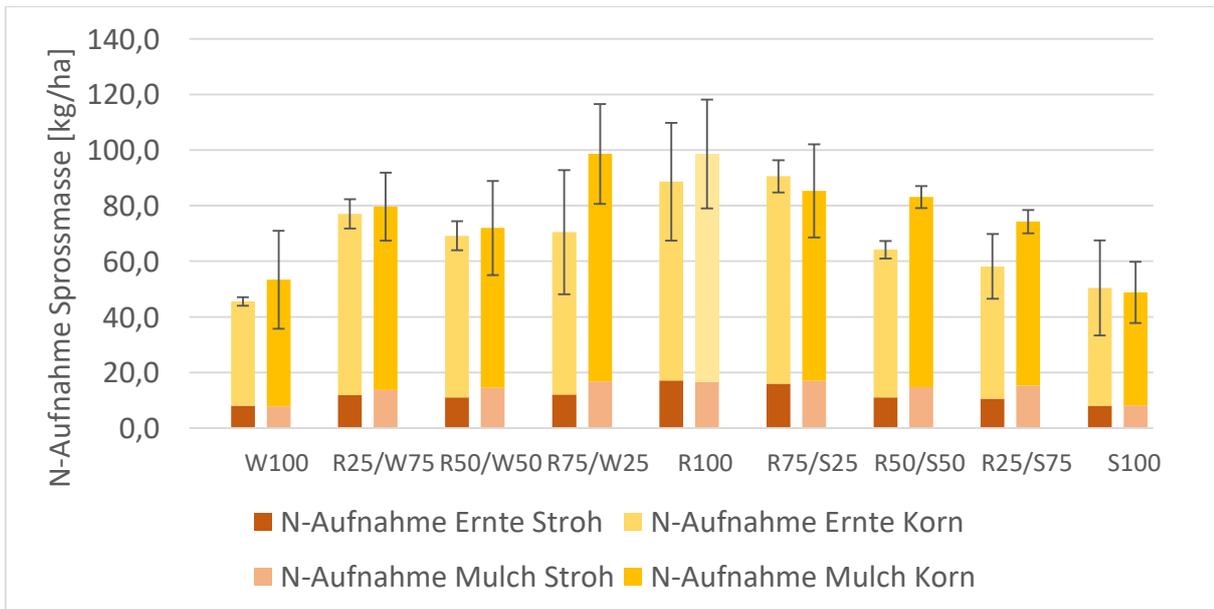


Abb. 99: N-Menge im Spross der Folgefrucht Winterweizen zum physiologischen Reife (15.08.2021) am Standort Caßlau als Funktion der Vorfrucht mit Futterbeständen aus Reinsaaten und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) und unterschiedlicher Nutzung zum letzten Schnitt der Vorfrucht vor Umbruch (Ernte = Schnittgutabfuhr, Mulch: Schnittgut Verbleib als Mulch auf der Fläche, Mittel  $\pm$  Standardabweichung)

## 4.9.2 Jahr 2022

### 4.9.2.1 Standort Struppen

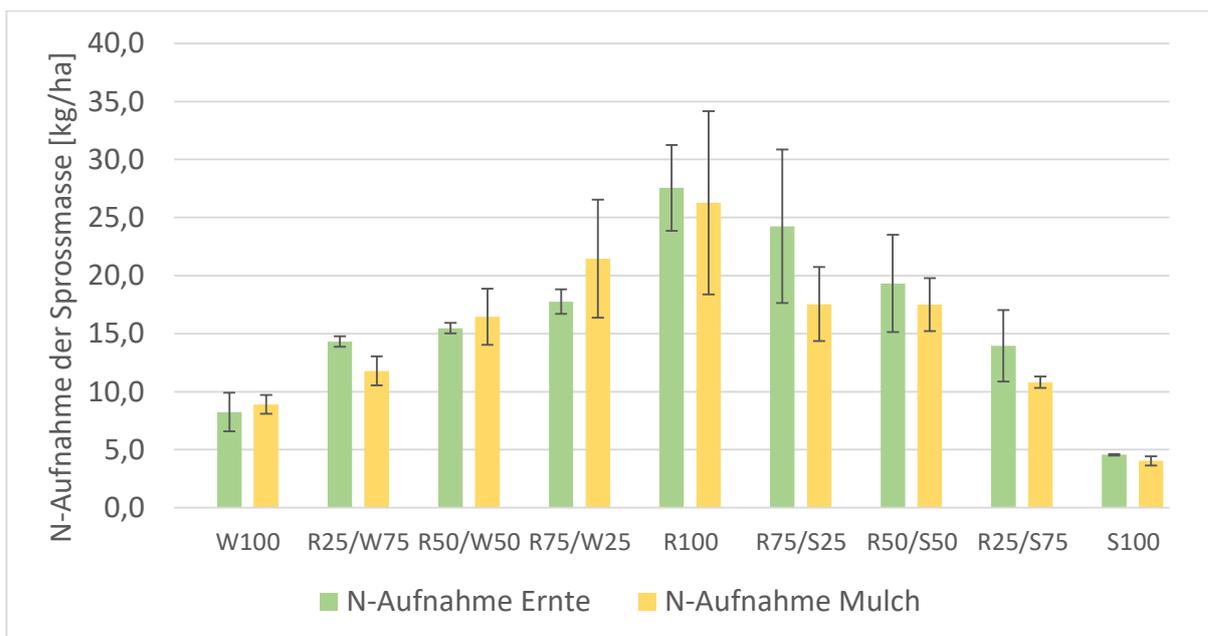


Abb. 100: N-Menge im Spross der Folgefrucht Winterweizen zum Ende der Bestockung (29.04.2022) am Standort Struppen als Funktion der Vorfrucht mit Futterbeständen aus Reinsaaten und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) und unterschiedlicher Nutzung zum letzten Schnitt der Vorfrucht vor Umbruch (Ernte = Schnittgutabfuhr, Mulch: Schnittgut Verbleib als Mulch auf der Fläche, Mittel  $\pm$  Standardabweichung)

Die unterschiedlich zusammengesetzten Futterbestände spiegelten sich in der Folgefrucht auch im Jahr 2022 am Standort Struppen nicht nur hinsichtlich der N-Aufnahme im Spross des Weizens wider (Abb. 100, Abb. 102 und Abb. 103), sondern unterschieden sich auch optisch im Feld in der Luftbildaufnahme (Abb. 103). Mit Ausnahme zur physiologischen Reife, zu dem die Vorfrucht rotklee-dominiertes Gemenge mit Spitzwegerich (S25/R75) mit im Mittel 137,2 kg N/ha (Abb. 103), wurden zu den ersten beiden Aufnahmetermi- nen (Stadium Schossen und Ährenschieben, Abb. 100 und Abb. 102) jeweils nach Rotklee in Reinsaat die höchsten N-Aufnahmen des Winterweizens ermittelt. Im Vergleich hierzu akkumulierte der Weizen nach Reinsaat Welsches Weidelgras nur 56,1 kg N/ha, nach Spitzwegerich in Reinsaat nur 57,0 kg N/ha in Stroh und Korn. Die Vorfruchtwirkung eines Gemengebaus von Rotklee mit Welschem Weidelgras bzw. Spitzwegerich wurde am Standort Struppen auch im zweiten Jahr (2022) analog der Ergebnisse des ersten Versuchsjahres 2021 sichtbar. Zunehmende Saatanteile der Nichtleguminosen im Gemenge führten auch hier zu einem deutlichen Rückgang der N-Aufnahme des Weizens. Die N-Aufnahme der Folgefrucht Winterweizen nach Gemengebau fiel aber stets höher aus als die jeweiligen Reinsaaten der Nichtleguminosen. Wie auch im ersten Versuchsjahr stellte der Spitzwegerich in Reinsaat zu Beginn des Vegetationszeitraumes des Winterweizens weniger Stickstoff bereit als das Welsche Weidelgras. Die zu Beginn vorhandenen Unterschiede hoben sich bis zur Druschreife des Weizens allerdings wieder auf.



R100 W25/R75 W50/R50 W75/R25 W100 S25/R75 S50/R50 S75/R25 S100

Abb. 101: Winterweizenbestand am 23.05.2022 am Standort Struppen (von links nach rechts: ein Sästreifen Randparzelle anschließend je 4 Sästreifen der unterschiedlichen Varianten, rechts ein Sästreifen Randparzelle)

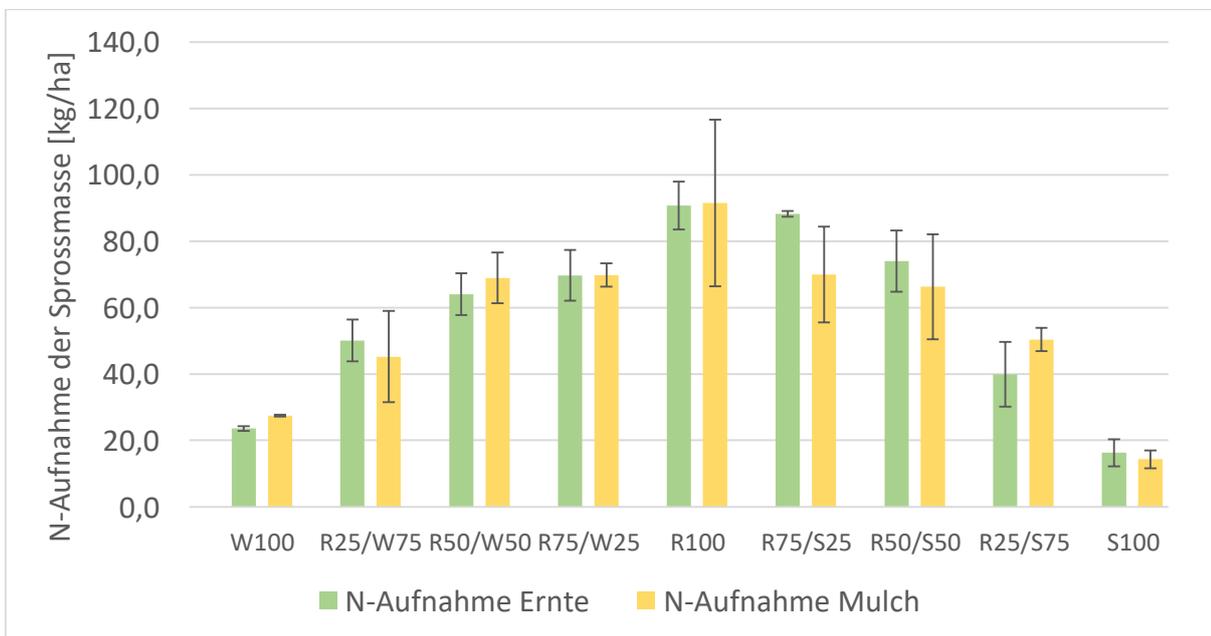


Abb. 102: N-Menge im Spross der Folgefucht Winterweizen zum Ährenschieben (04.06.2022) am Standort Struppen als Funktion der Vorfrucht mit Futterbeständen aus Reinsaat und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) und unterschiedlicher Nutzung zum letzten Schnitt der Vorfrucht vor Umbruch (Ernte = Schnittgutabfuhr, Mulch: Schnittgut Verbleib als Mulch auf der Fläche, Mittel  $\pm$  Standardabweichung)

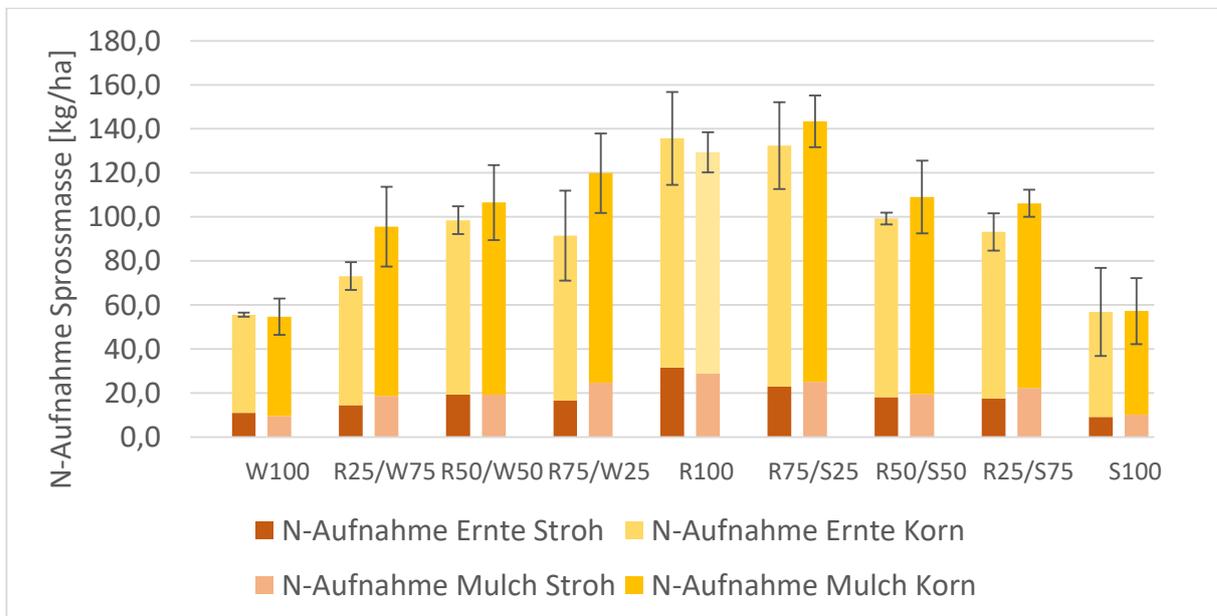


Abb. 103: N-Menge im Spross der Folgefrucht Winterweizen zum physiologischen Reife (25.07.2022) am Standort Struppen als Funktion der Vorfrucht mit Futterbeständen aus Reinsaaten und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) und unterschiedlicher Nutzung zum letzten Schnitt der Vorfrucht vor Umbruch (Ernte = Schnittgutabfuhr, Mulch: Schnittgut Verbleib als Mulch auf der Fläche, Mittel  $\pm$  Standardabweichung)

#### 4.9.2.2 Standort Caßlau

Die N-Aufnahmen des Winterweizens im zweiten Versuchsjahr (2022) am Standort Caßlau (Abb. 104 bis Abb. 106) waren im zeitlichen Verlauf wie auch in der Höhe der N-Aufnahme nahezu deckungsgleich zu den Resultaten des ersten Versuchsjahres (2021, Abb. 99 bis Abb. 101). Es waren wiederum keine signifikanten Wirkungen der Art der Nutzung zum letzten Schnitttermin der Futterbestände (Ernte: Abfuhr des Erntegutes bzw. Mulch: Belassen des Schnittgutes auf der Fläche) zu verzeichnen. Allenfalls tendenziell stieg die N-Aufnahme des Winterweizens zum Ährenschieben (Abb. 105) durch das Mulchen des letzten Aufwuchses leicht an ( $P = 0,0648$ ). Im Mittel führte auch hier die Vorfrucht Rotklee in Reinsaat zu den signifikant höheren N-Aufnahmen des nachgebauten Winterweizens (84,4 kg/ha) im Vergleich zu den Vorfrüchten aus Reinsaaten des Welschen Weidelgrases (47,6 kg/ha) und Spitzwegerichs (41,8 kg/ha). Die unterschiedlichen Gemenge mit Welschem Weidelgras oder Spitzwegerich unterschieden sich im Mittel der Gemengevarianten nicht im N-Vorfruchtwert zu Winterweizen (N-Aufnahme in Stroh und Korn: 67,2 bzw. 69,3 kg/ha).

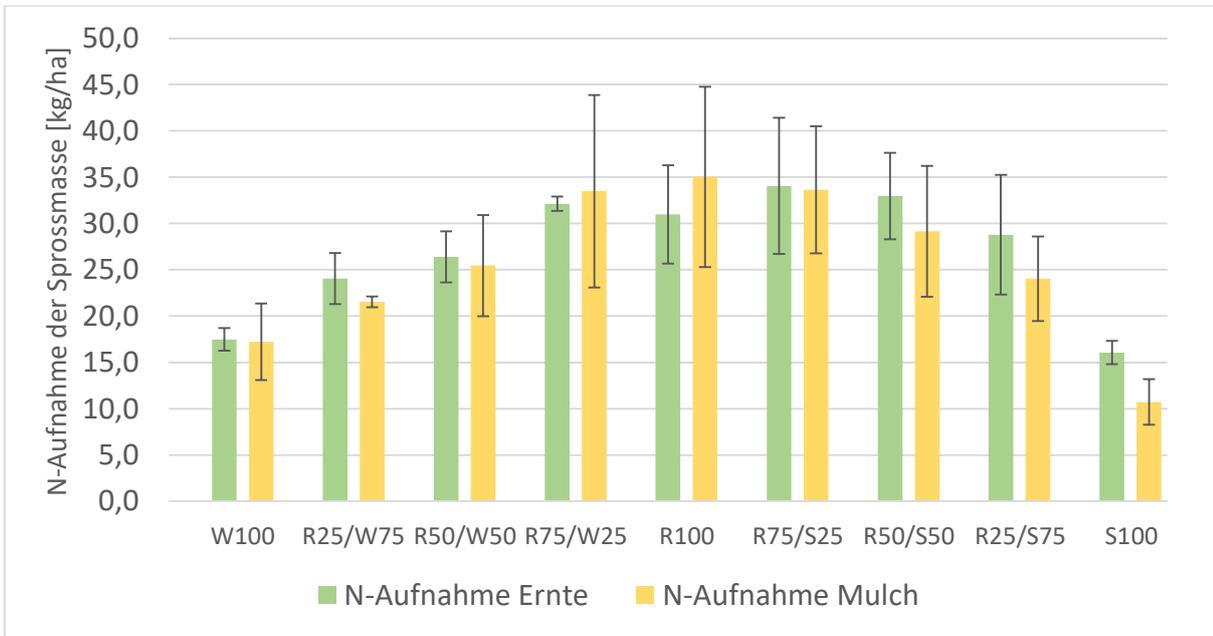


Abb. 104: N-Menge im Spross der Folgefrucht Winterweizen zum Ende der Bestockung (02.05.2022) am Standort Caßlau als Funktion der Vorfrucht mit Futterbeständen aus Reinsaaten und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) und unterschiedlicher Nutzung zum letzten Schnitt der Vorfrucht vor Umbruch (Ernte = Schnittgutabfuhr, Mulch: Schnittgut Verbleib als Mulch auf der Fläche, Mittel  $\pm$  Standardabweichung)

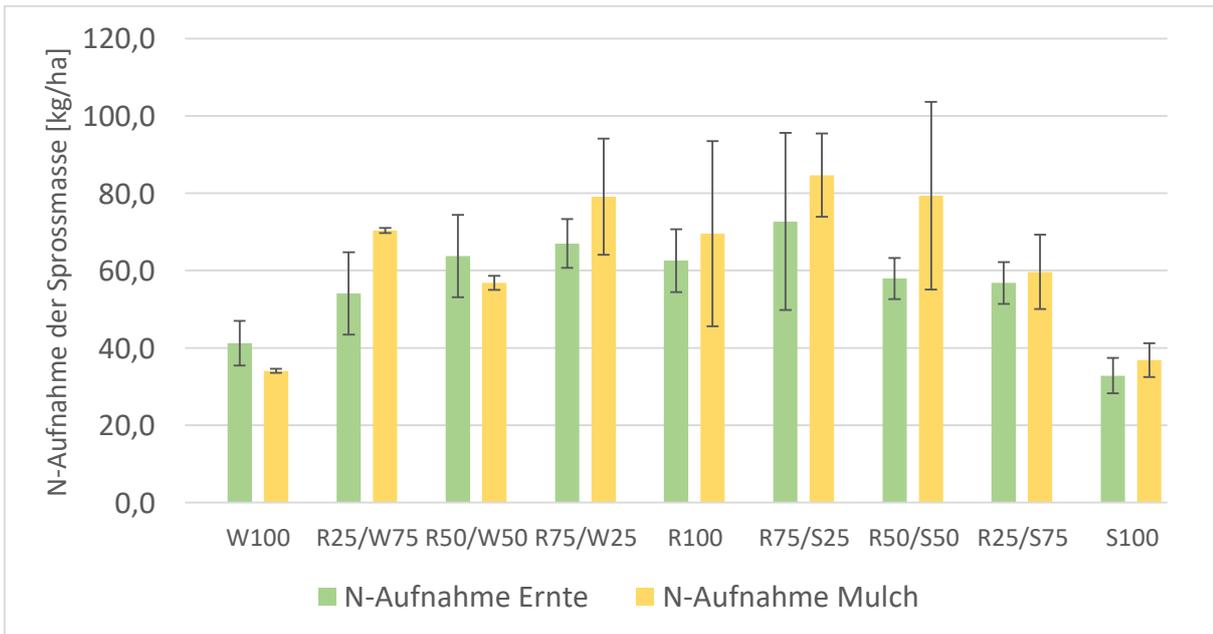


Abb. 105: N-Menge im Spross der Folgefrucht Winterweizen zum Ährenschieben (01.06.2022) am Standort Caßlau als Funktion der Vorfrucht mit Futterbeständen aus Reinsaaten und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) und unterschiedlicher Nutzung zum letzten Schnitt der Vorfrucht vor Umbruch (Ernte = Schnittgutabfuhr, Mulch: Schnittgut Verbleib als Mulch auf der Fläche, Mittel  $\pm$  Standardabweichung)

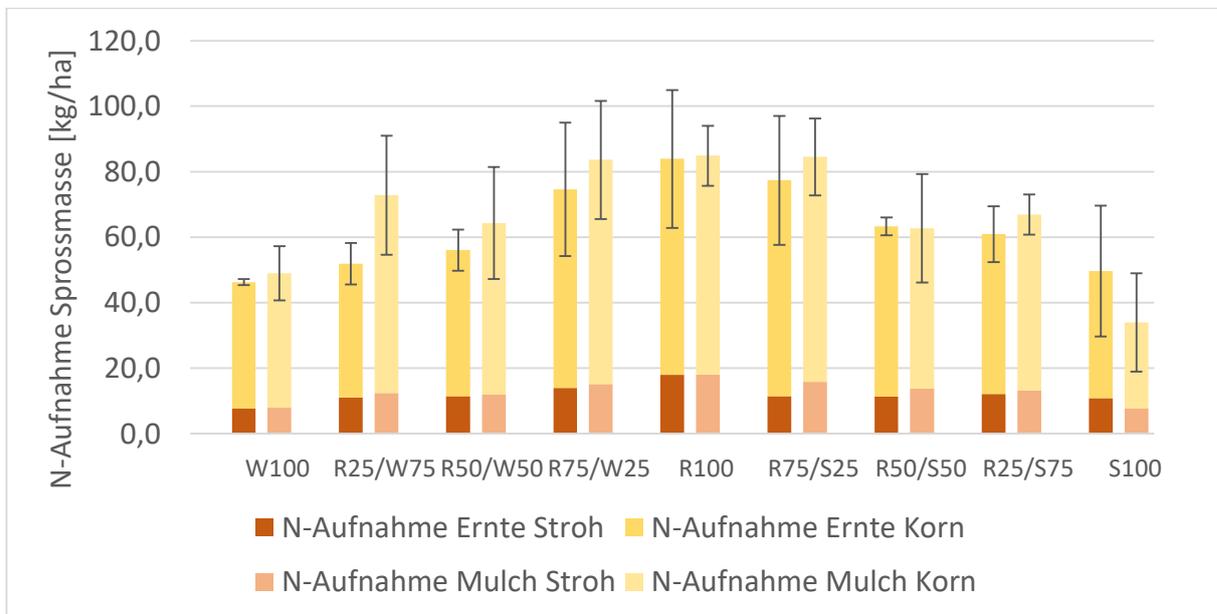


Abb. 106: N-Menge im Spross der Folgefrucht Winterweizen zum physiologischen Reife (18.07.2022) am Standort Caßlau als Funktion der Vorfrucht mit Futterbeständen aus Reinsaat und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) und unterschiedlicher Nutzung zum letzten Schnitt der Vorfrucht vor Umbruch (Ernte = Schnittgutabfuhr, Mulch: Schnittgut Verbleib als Mulch auf der Fläche, Mittel  $\pm$  Standardabweichung)

#### 4.10 Kornertrag Winterweizen und Kornproteingehalt

##### 4.10.1 Ernte 2021

Der Winterweizen wurde zur Ermittlung einer flächenrepräsentativen Kornertragsleistung zusätzlich mit dem Parzellenmähdrescher parzellenweise beerntet. Im Erntegut wurde anschließend der N-Gehalt im Korn ermittelt und mit dem Faktor 5,7 der Kornproteingehalt rechnerisch ermittelt. Im Jahr 2021 wurden am Standort Struppen vergleichsweise hohe Kornerträge des Weizens erzielt, die zwischen 37 und 71 dt TM/ha lagen (Abb. 107). Die unterschiedlichen Vorfrucht-Futterbestände führten zu signifikant verschiedenen Kornertragsleistungen des Winterweizens mit den höchsten Erträgen nach Rotklee in Reinsaat (im Mittel 68,5 dt TM/ha) und geringsten Ertragsleistungen nach den Reinsaaten von Welschem Weidelgras (im Mittel 38,4 dt TM/ha) und Spitzwegerich (im Mittel 38,2 dt TM/ha). Die Vorfrüchte der Gemenge aus Rotklee und den jeweiligen Nichtleguminosen führten zu Kornertragsleistungen des Winterweizens, die zwischen den Reinsaaten aus Rotklee und den jeweiligen Nichtleguminosen lagen und mit zunehmenden Saatanteilen der Nichtleguminosen im Gemenge systematisch abnahmen (Abb. 107). Dabei erreichte der Winterweizen im Mittel der Gemenge mit Welschem Weidelgras mit 54,8 dt TM/ha nur wenig höhere Kornerträge als nach den Gemengen mit Spitzwegerich (53,7 dt/ha). Das Belassen des Schnittgutes zum letzten Schnitttermin der Futterbestände (Variante Mulch) führte im Mittel aller Prüfglieder nur zu leicht höheren Kornertragsleistungen des Winterweizens (53,5 dt TM/ha) im Vergleich zur Variante mit Abfuhr des letzten Schnittgutes (Variante Ernte: 51,1 dt TM/ha) und war nicht signifikant verschieden. Dieses konnte auch beim Gehalt an Kornprotein entsprechend festgestellt werden, der jeweils im Mittel der Prüfglieder bei 9,9 % nach Mulchen bzw. 9,9 % Abfuhr des letzten Schnitttermines lag. Signifikante Unterschiede zeichneten sich aber hinsichtlich der Vorfruchtbestände auf den Proteingehalt im Korn ab. Mit im Mittel 11,3 % wies der Winterweizen nach Spitzwegerich in Reinsaat die höchsten Kornproteingehalte auf (Abb. 107)

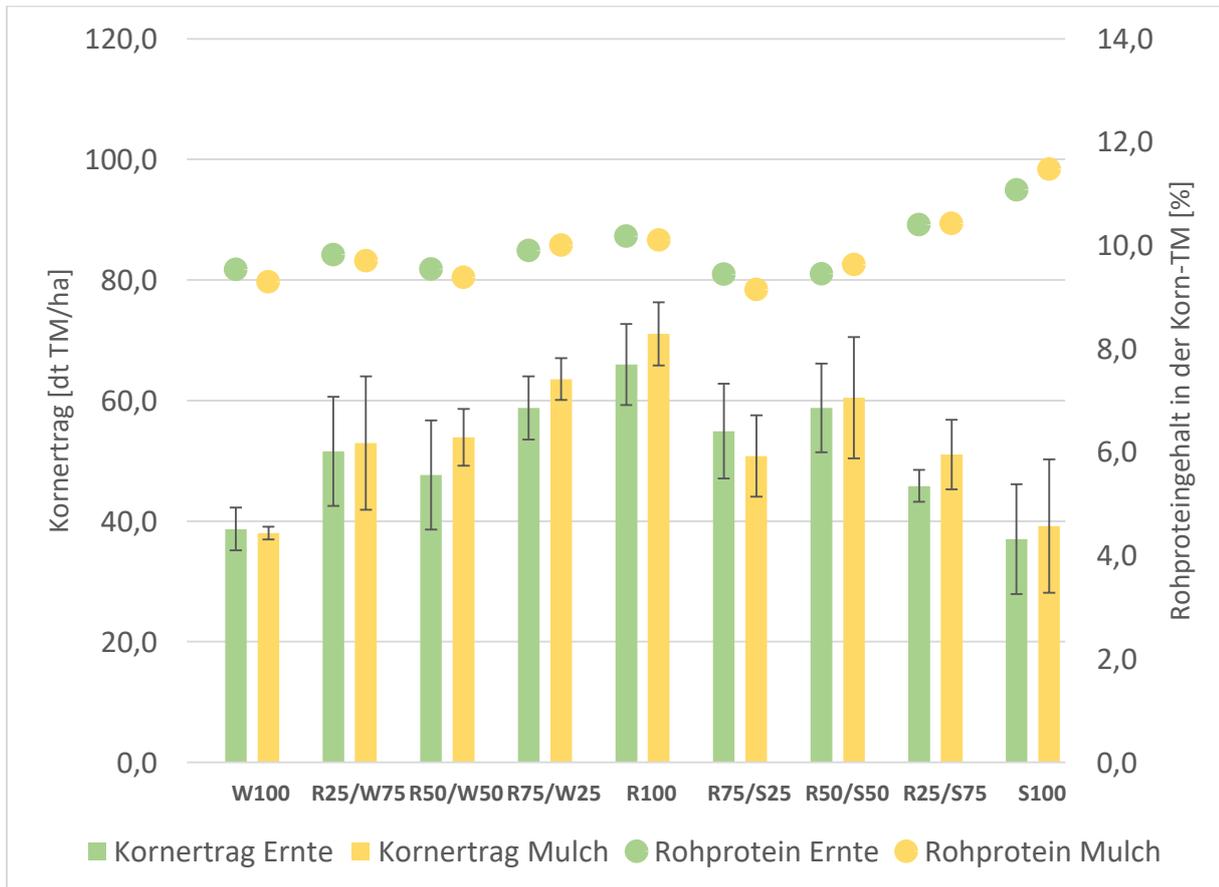


Abb. 107: Kornertrag und Proteingehalt im Korn der Folgefrucht Winterweizen zur Druschreife (13.08.2021) am Standort Struppen als Funktion der Vorfrucht mit Futterbeständen aus Reinsaaten und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) und unterschiedlicher Nutzung zum letzten Schnitt der Vorfrucht vor Umbruch (Ernte = Schnittgutabfuhr, Mulch: Schnittgut Verbleib als Mulch auf der Fläche, Mittel  $\pm$  Standardabweichung)

In Caßlau wurden mit im Mittel aller Prüfglieder im Jahr 2021 nur eine Kornertrag von 19,5 dt TM/ha erreicht (Abb. 108), d.h. rund 33 dt TM/ha weniger als am Standort Struppen. Nur die mittleren Kornerträge des Winterweizen nach Welschem Weidelgras (11,5 dt TM/ha) und Spitzwegerich (7,8 dt TM/ha) grenzten sich signifikant von den Beständen mit Rotklee als Vorfrucht ab (im Mittel: 22,4 dt TM/ha). Anders als am Standort Struppen führte der Rotklee in Reinsaat hier nicht zu den höchsten Ertragsleistungen der Nachfrucht Winterweizen. Die Gemenge aus Rotklee mit Welschem Weidelgras waren auch am Standort Caßlau mit einem (nicht signifikanten) Mehrertrag der Folgefrucht Winterweizen im Vergleich zu den Gemengen mit Spitzwegerich verbunden (23,2 versus 21,2 dt TM/ha). Die unterschiedliche Bewirtschaftung der Vorfruchtbestände zum letzten Schnitttermin im Jahr 2020 war auch am Standort Caßlau im Jahr 2021 nur mit geringen und nicht signifikant verschiedener Kornertragsleistung des Winterweizens verbunden (Mulch: 20,3 dt TM/ha; Ernte: 18,7 dt TM/ha). Der Kornproteingehalt des Weizens wurde hingegen nicht durch die unterschiedliche Bewirtschaftung der Vorfrüchte zum letzten Schnitt beeinflusst (jeweils im Mittel 11,5% Protein im Korn, Abb. 108). Signifikant unterschiedlich stellten sich die Kornproteingehalte des Weizens zwischen der Vorfrucht Rotklee/Welsches Weidelgras (R25/W75) mit im Mittel 10,9% und Spitzwegerich in Reinsaat mit im Mittel 12,2% dar.

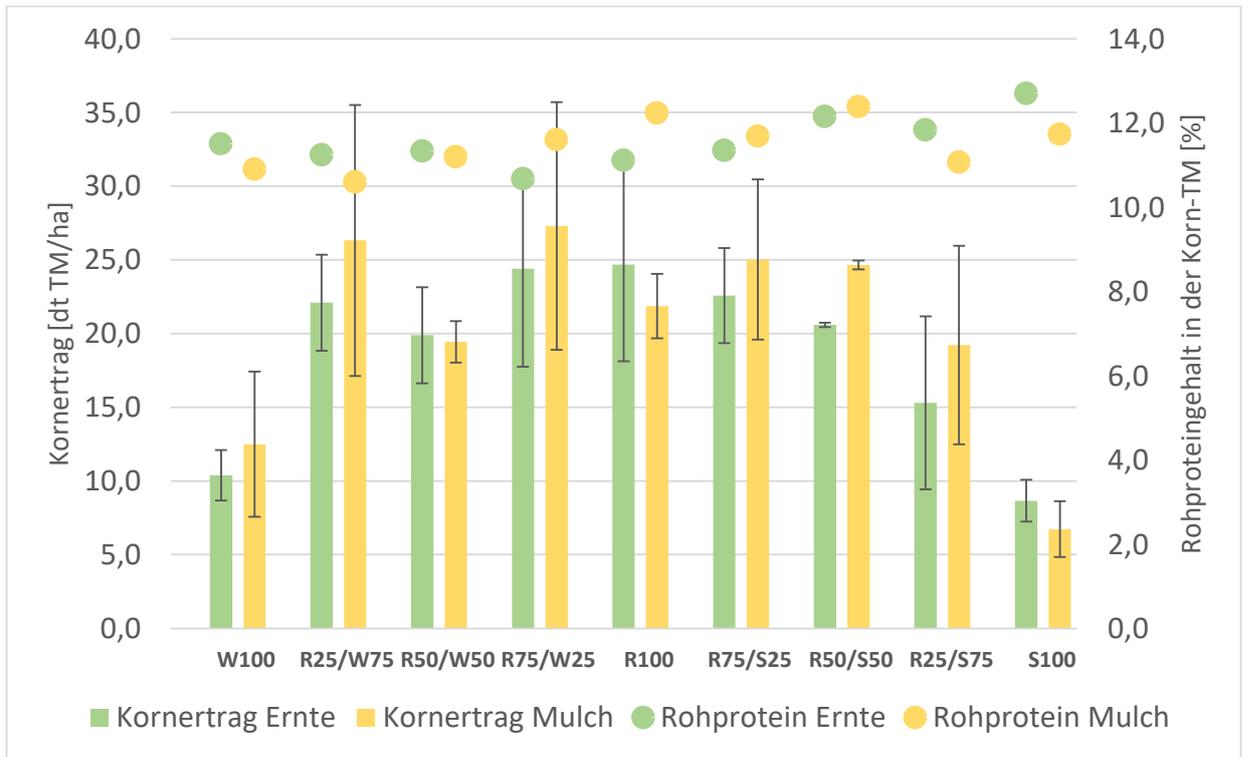


Abb. 108: Kornertrag und Proteingehalt im Korn der Folgefrucht Winterweizen zur Druschreife (15.08.2021) am Standort Caßlau als Funktion der Vorrucht mit Futterbeständen aus Reinsaat und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) und unterschiedlicher Nutzung zum letzten Schnitt der Vorrucht vor Umbruch (Ernte = Schnittgutabfuhr, Mulch: Schnittgut Verbleib als Mulch auf der Fläche, Mittel  $\pm$  Standardabweichung)

#### 4.10.2 Ernte 2022

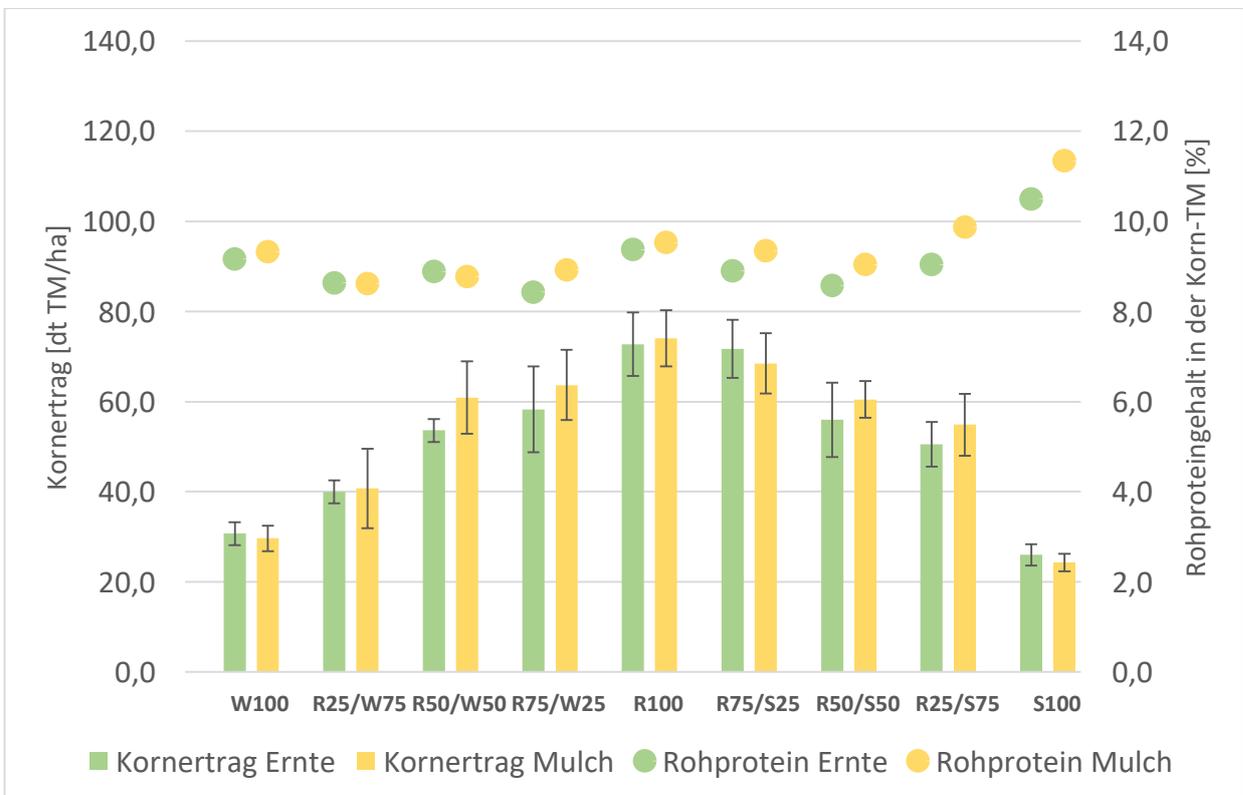


Abb. 109: Kornertrag und Proteingehalt im Korn der Folgefrucht Winterweizen zur Druschreife (29.07.2022) am Standort Struppen als Funktion der Vorrucht mit Futterbeständen aus Reinsaat und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) und unterschiedlicher Nutzung zum letzten Schnitt der Vorrucht vor Umbruch (Ernte = Schnittgutabfuhr, Mulch: Schnittgut Verbleib als Mulch auf der Fläche, Mittel  $\pm$  Standardabweichung)

Trotz um 17 Tage früherer Ernte im Vergleich zu 2021 wurden im Jahr 2022 am Standort Struppen mit im Mittel aller Prüfglieder 52,0 dt TM/ha (Abb. 109) nahezu identisch hohe Kornerträge beim Weizen realisiert wie im Jahr 2021 (52,3 dt TM/ha, Abb. 103). Auch die Abstufungen zwischen den Vorfruchtbeständen entsprachen denen, die bereits im Jahr 2021 ermittelt wurden: Nach Rotklee in Reinsaat wurden die höchsten Kornerträge (im Mittel 73,4 dt TM/ha), nach Welschem Weidelgras und Spitzwegerich in Reinsaat die geringsten Kornerträge aller Vorfrüchte realisiert (im Mittel 30,2 bzw. 25,1 dt TM/ha). Diese Unterschiede waren zum Rotklee in Reinsaat auch signifikant. Zunehmende Saatanteile Nichtleguminosen im Gemenge mit Rotklee in der Vorfrucht waren auch im Jahr 2022 in der Nachfrucht Winterweizen mit einem Rückgang der Kornerträge verbunden (Abb. 109), wobei die Vorfruchtbestände mit Spitzwegerich/Rotklee sich als im Mittel ertragsüberlegen beim Weizen erwiesen (Mittel 60,4 dt TM/ha) als die entsprechenden Gemenge aus Rotklee mit Welschem Weidelgras (im Mittel: 52,9 dt TM/ha). Das Mulchen des letzten Aufwuchses vor Umbruch der Vorfrüchte war wie im Jahr 2021 mit einem leichten, allerdings nicht signifikant verschiedenen Zuwachs in der Kornertragsleistung des Weizens (im Mittel 2 dt TM/ha) verbunden. Hingegen konnte eine im Mittel aller Prüfglieder festgestellte Zunahme des Gehaltes an Kornprotein um 0,3 Prozentpunkte infolge des Belassens des letzten Schnittgutes auf der Fläche statistisch gesichert werden ( $P = 0,0035$ ). Signifikant unterschiedlich erwiesen sich auch die Vorfrucht-Bestände auf den Gehalt an Protein im Korn des folgenden Winterweizens: Wie am Standort Struppen im Jahr 2021 stellten sich die Kornproteingehalte des Weizens zwischen der Vorfrucht Rotklee/Welsches Weidelgras (R25/W75) mit im Mittel 8,6% und Spitzwegerich in Reinsaat mit im Mittel 10,9% als signifikant zwischen den Eckpunkten des geringsten und höchsten Werten dar. Zugleich fiel der mittlere Gehalt an Kornprotein trotz höherer Ertragsleistung nach den Gemengen aus Rotklee mit Spitzwegerich höher dar (im Mittel 9,1%) als nach Rotklee mit Welschem Weidelgras (im Mittel 8,7%, Abb. 109).

In Caßlau wurden im Mittel aller Prüfglieder mit 27,6 dt TM/ha (Abb. 110) rund 8 dt TM/ha mehr Kornertrag bei der Nachfrucht Weizen geerntet als im Jahr 2021 (Abb. 108), wobei jedoch trotz insgesamt höherer Ertragsleistung die Abstufungen zwischen den Vorfruchtbeständen sich nicht änderte. So resultierte aus der Vorfrucht Reinsaat Welsches Weidelgras (im Mittel 21,1 dt TM/ha) und Reinsaat Spitzwegerich (im Mittel 14,9 dt TM/ha) eine deutlich und signifikant geringere Ertragsleistung als nach allen Beständen, die Rotklee in der Vorfrucht enthielten (im Mittel 29,9 dt TM/ha). Rotklee in Reinsaat stellte auch im Jahr 2022 am Standort Caßlau nicht die beste Vorfrucht für den Winterweizen dar (Abb. 110). Die Art der Bewirtschaftung der Vorfrüchte wirkte sich nicht signifikant auf den Kornertrag des Weizens aus (Mulch: 27,9 dt TM/ha, Ernte: 26,5 dt TM/ha). Der Kornproteingehalt des Weizens wurde hierdurch im Mittel nicht signifikant beeinflusst (jeweils nach Mulch und Ernte im Mittel 10,3%, Abb. 110). Hingegen spiegelten sich die unterschiedlichen Vorfruchtbestände signifikant ( $P = 0,001$ ) zwischen der Vorfrucht Rotklee in Reinsaat (im Mittel 11,3%) und den Reinsaaten Welsches Weidelgras (im Mittel 9,8 %) und Spitzwegerich (im Mittel 10,1%) hinsichtlich des Kornproteingehaltes des Winterweizens wider.

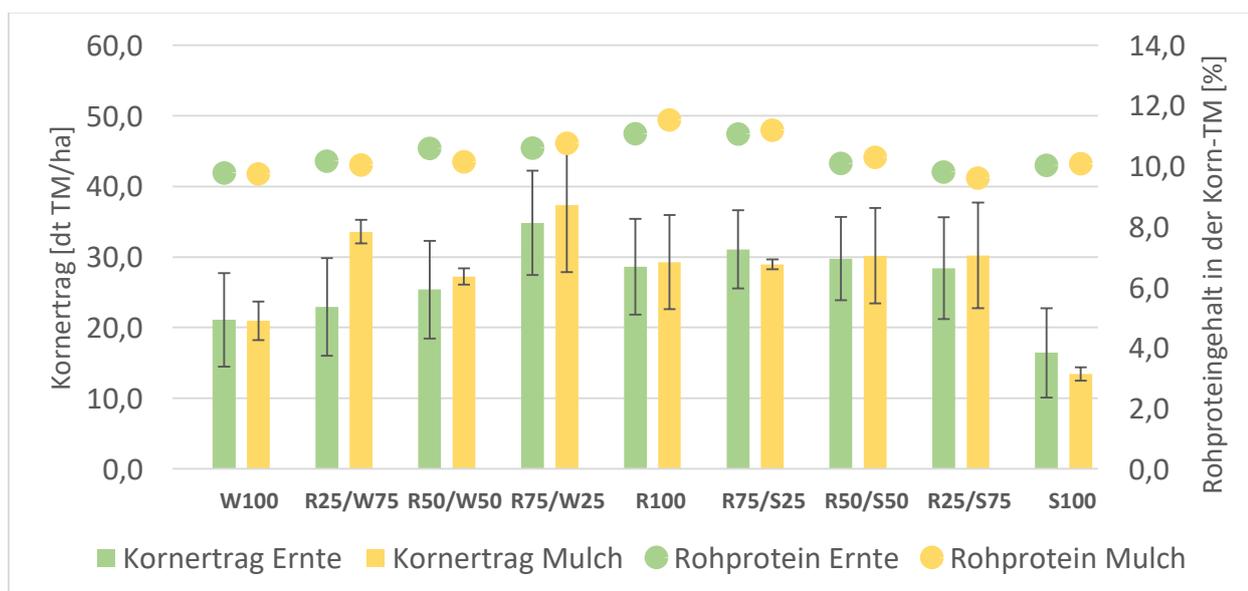


Abb. 110: Kornertrag und Proteingehalt im Korn der Folgefrucht Winterweizen zur Druschreife (22.07.2022) am Standort Caßlau als Funktion der Vorfrucht mit Futterbeständen aus Reinsaaten und Gemenge aus Welschem Weidelgras (W), Rotklee (R) und Spitzwegerich (S) und unterschiedlicher Nutzung zum letzten Schnitt der Vorfrucht vor Umbruch (Ernte = Schnittgutabfuhr, Mulch: Schnittgut Verbleib als Mulch auf der Fläche, Mittel  $\pm$  Standardabweichung)

## 4.11 Ergebnisse Inkubationversuche

### 4.11.1 Versuchsserie 1

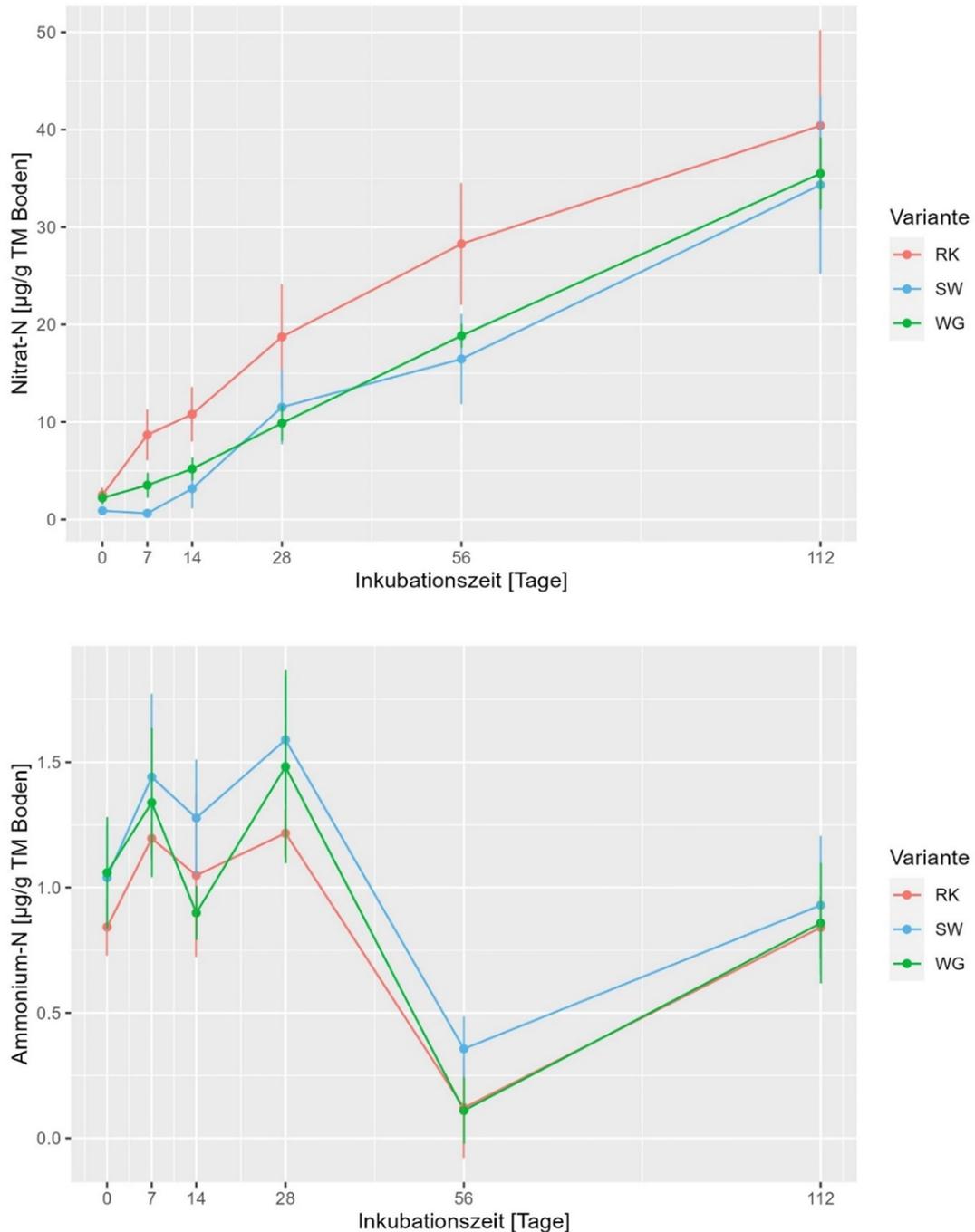


Abb. 110: Verlauf des Gehalts an Nitratstickstoff (oben) und Ammoniumstickstoff (unten) im Boden nach Inkubation von Boden aus den Beständen der Rotklee-Reinsaat (RK), Reinsaat Welsches Weidelgras (WG) und Spitzwegerich (SW) vom Standort Struppen

Die unterschiedlich bewirtschafteten Böden setzten über den gesamten Inkubationszeitraum kontinuierlich Nitratstickstoff aus der Mineralisation organisch gebundener N-Mengen im Boden frei. Der Boden aus Rotklee in Reinsaat setzte vor allem zu Beginn in den ersten 28 Tagen der Bebrütung mehr Nitratstickstoff frei als die Böden, die mit Spitzwegerich oder Welschem Weidelgras bestellt waren. Von zu Beginn der Bebrütung (Tag 0) mit 2,5 stieg der Wert auf 40,5  $\mu\text{g NO}_3\text{-N/g TM Boden}$  der Rotklee Reinsaat nach 112 Tagen an, während der Wert bei Welschem Weidelgras ausgehend von einem ähnlich hohem Wert am Tag 0 nur auf 35,5  $\mu\text{g NO}_3\text{-$

N/g TM Boden anstieg. Der Boden, der aus den Parzellen des Spitzwegerichs in Reinsaat stammte, zeigte ein von Welschem Weidelgras wenig abweichende Freisetzung an Nitrat-N von 1 µg/g TM Boden am Tag 0 auf 34,5 µg/g TM Boden am Tag 112. Somit sind die Unterschiede zwischen Welschem Weidelgras und Spitzwegerich, die bereits zu Beginn der Bebrütung im Boden vorlagen, auch noch in nahezu gleicher Höhe bis zu Versuchsende erhalten geblieben, so dass die Böden der beiden Pflanzenarten ein nahezu identisches Mineralisationsverhalten gezeigt haben (Abb. 110, oben). Unterschiede ergaben sich aber hinsichtlich des Vorrates an Ammonium-N im Boden: Ab dem 7. Tag der Bebrütung wies der Boden aus den Parzellen, auf denen Spitzwegerich gestanden hat, einen höheren Gehalt an Ammoniumstickstoff auf als Böden des Rotklees und des Welschen Weidelgrases (Abb. 110, unten), was auf eine Hemmung der Nitrifikation hindeuten könnte.

Die Böden vom Standort Caßlau zeigten ein deutlich differenziertes Mineralisationsverhalten als die des Standortes Struppen. Der Boden aus den Rotklee-Parzellen der Reinsaat setzte ab dem 7. Tag deutlich mehr Nitratstickstoff frei als die Böden aus den Parzellen der Reinsaaten von Welschem Weidelgras und Spitzwegerich (Abb. 111, oben). Gleichzeitig war auch eine deutlich geringere Freisetzung an Nitratstickstoff im Boden aus den Böden der Parzellen mit Spitzwegerich im Vergleich zu den Böden der Parzellen mit Welschem Weidelgras zu verzeichnen. So startete der „Rotklee“-Boden mit 4,5 µg/g TM Boden, die von Welschem Weidelgras und Spitzwegerich mit mit 4 bzw. 0,7 µg/g TM Boden am Tag 0. Nach 112 Tagen Bebrütung waren 27,3, 23,6 bzw. 16,8 µg/g TM Boden im Boden enthalten (Abb. 111, oben). Hingegen unterschieden sich die Ammonium-N-Gehalte des Bodens zwischen den Prüfgliedern am Standort Caßlau nur wenig. Die Gehalte waren mit in der Regel stets unter 1,5 µg/g TM Boden (Abb. 115, unten) ähnlich niedrig wie in den Böden vom Standort Struppen (Abb. 110, unten).

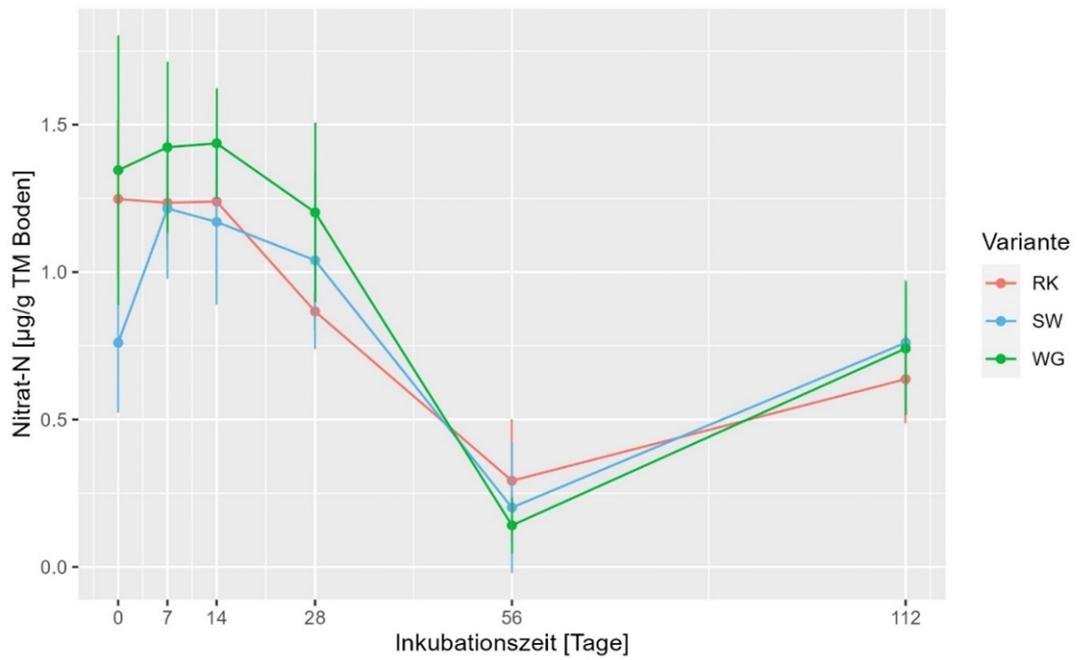
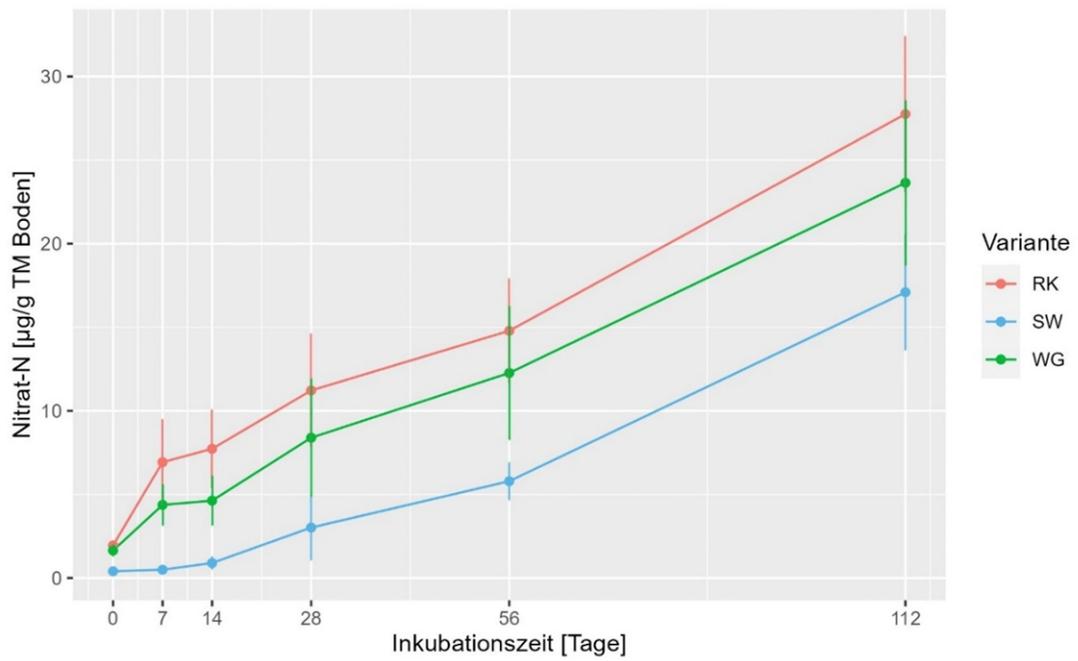


Abb. 111: Verlauf des Gehalts an Nitratstickstoff (oben) und Ammoniumstickstoff (unten) im Boden nach Inkubation von Boden aus den Beständen mit Rotklee-Reinsaat (RK), Reinsaat Welsches Weidelgras (WG) und Spitzwegerich (SW) vom Standort Caßlau

#### 4.11.2 Versuchsserie 2

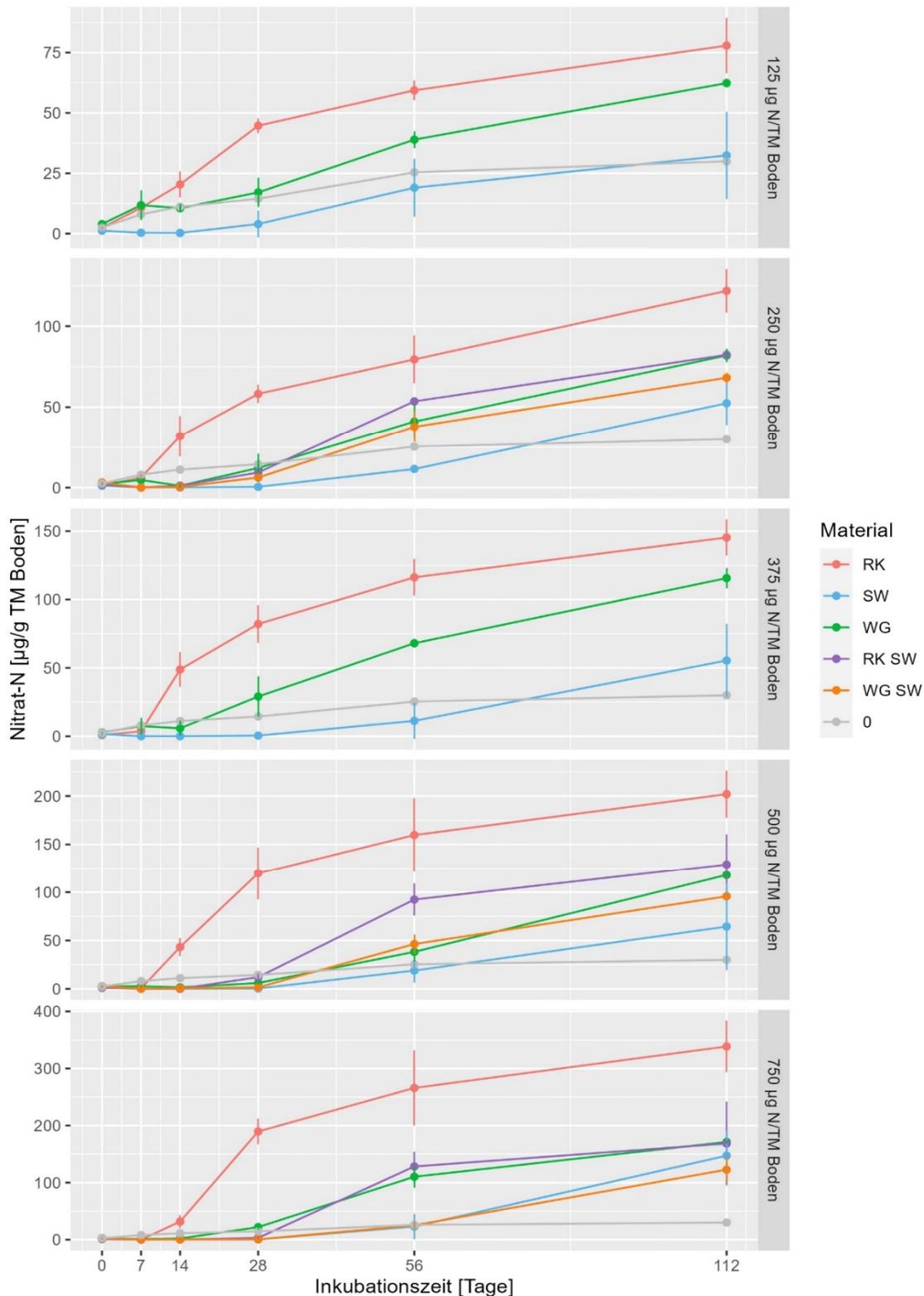


Abb. 112: Verlauf des Gehalts an Nitratstickstoff im Boden nach Zugabe 125, 250, 375, 500 bzw. 750 µg N/g TM Boden in Form der Sprossmasse von Rotklee (RK), Welschem Weidelgras (WG) und Spitzweigerich (SW) bzw. zu Anteilen von je 50% zusammengesetzten Gemischen RK/SW bzw. WG/SW (0 = Kontrolle ohne Zugabe von Sprossmasse)

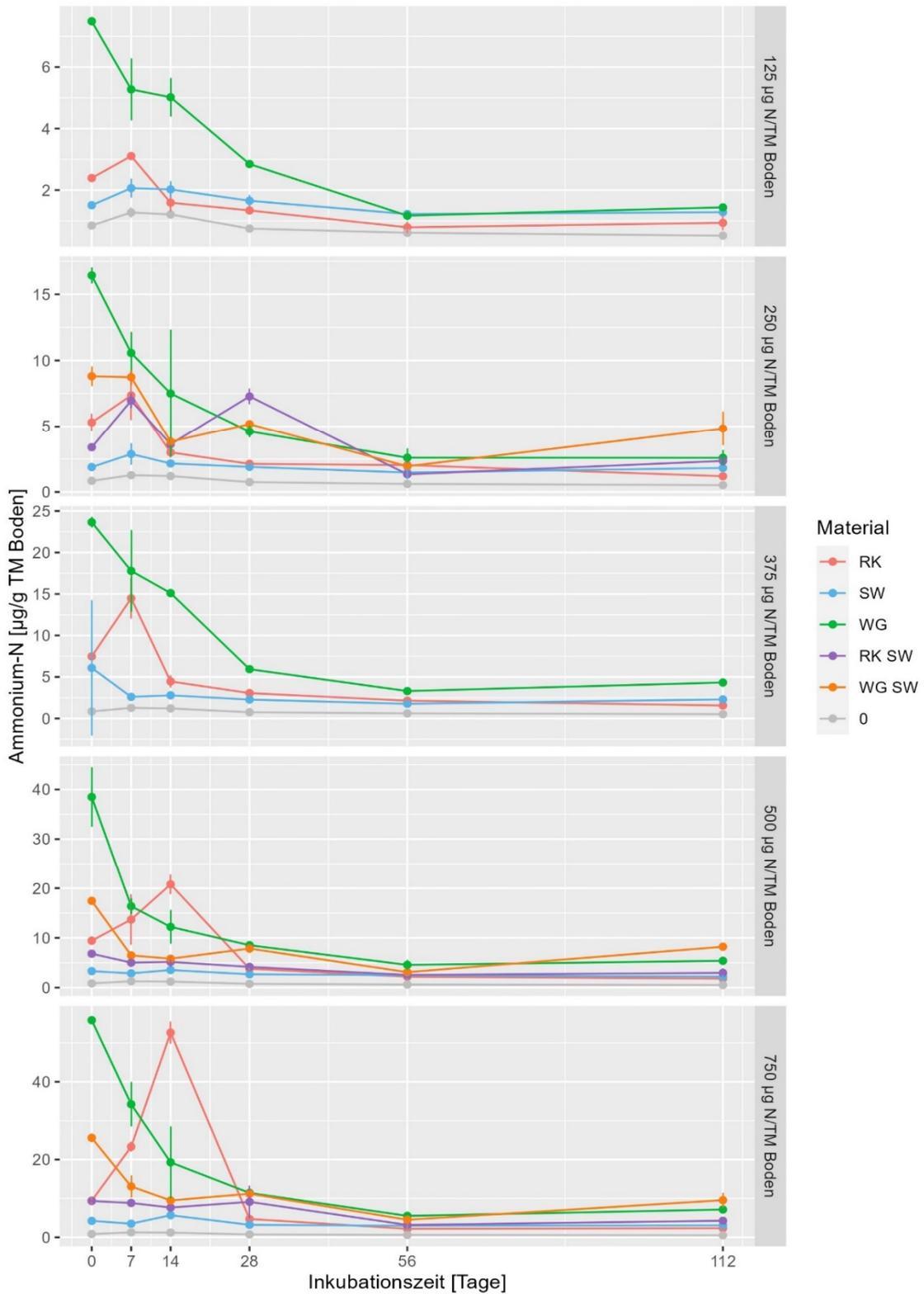


Abb. 113: Verlauf des Gehalts an Ammoniumstickstoff im Boden nach Zugabe 125, 250, 375, 500 bzw. 750 µg N/g TM Boden in Form der Sprossmasse von Rotklee (RK), Welschem Weidelgras (WG) und Spitzwegerich (SW) bzw. zu Anteilen von je 50% zusammengesetzten Gemischen RK/SW bzw. WG/SW (0 = Kontrolle ohne Zugabe von Sprossmasse)

Die Netto-Freisetzung an Nitratstickstoff setzte unabhängig von der Höhe der zugegebenen N-Menge durch Rotklee sprossmasse sehr rasch nach 14 Tagen Bebrütung ein und setzte sich bis zum Ende (112 Tage) kontinuierlich fort (Abb. 112). Die Nettofreisetzung an Nitratstickstoff war nach Zugabe von Welschem Weidelgras über den gesamten Untersuchungszeitraum und unabhängig von der Höhe zugegebenen N-Menge geringer und setzte erst nach 28 bis 56 Tagen Bebrütung ein. Zuvor führte die Zugabe von Welschem Weidelgras zu einer Immobilisierung an Nitratstickstoff im Boden wie an der geringeren Menge Nitratstickstoff im Boden im Vergleich zur Kontrolle sichtbar ist. Die Zugabe von Spitzwegerich führte unabhängig zur Höhe der zugeführten N-Menge erst nach 112 Tagen Inkubation zu einer Netto-Freisetzung an Nitrat-N im Boden, d.h. Spitzwegerich bewirkte zu einer ausgeprägte N-Immobilisierung oder Hemmung der Nitrifikation im Boden (Abb. 112). Da das C/N-Verhältnis in der zugeführten Sprossmasse des Spitzwegerichs nur marginal unterschiedlich im Vergleich zu Welschem Weidelgras war (Tab. 9), ist zu vermuten, dass im Wesentlichen die nitrifikationshemmende Wirkung des Spitzwegerichs für die geringere Nitratfreisetzung im Boden im Vergleich zu Welschem Weidelgras verantwortlich zeichnete. Das Gemisch aus Rotklee und Spitzwegerich führte zu einer gegenüber einer alleinigen Zugabe von Rotklee deutlich geringeren Nettofreisetzung an Nitratstickstoff im Boden, die in der Regel auch geringer ausfiel als die nach Zugabe von Welschem Weidelgras und anders als bei einer alleinigen Zugabe von Rotklee erst 56 Tage nach Beginn der Inkubation einsetzte. Aussagekräftig auch im Hinblick auf die Wirkung zugegebener N-Mengen sind die in Tab. 23 verzeichneten scheinbaren N-Mineralisationsraten in Bezug zur zugeführten N-Menge. Sie bringen zum Ausdruck wie viel Prozent der zugeführten N-Menge im Boden netto (d.h. im Vergleich zur Kontrolle ohne Zugabe von Pflanzenmaterial) freigesetzt (positive Prozentangaben) bzw. immobilisiert (negative Prozentangaben) wurden. So wurde bei Rotklee bereits 14 Tage nach Beginn der Bebrütung zwischen 2,7 und 8,3% der zugeführten N-Menge als Nitrat-N netto im Boden mineralisiert. Die Werte stiegen kontinuierlich im Verlauf der Bebrütung auf 34 bis 41% an und nahmen in der Regel zu späteren Bebrütungszeitpunkten mit Zunahme der zugeführten N-Menge auch zu. Die Zugabe der Sprossmasse des Welschen Weidelgras führte erst nach 56 Tagen zu einer Netto-Freisetzung von 2,6 bis 11,2% der zugeführten N-Menge und stieg nach 112 Tagen der Bebrütung weiter auf 17,5 bis 20,8% der zugeführten N-Menge an. Spitzwegerich führte hingegen bis einschließlich 56 Tage nach der Bebrütung zu einer gegenüber der Kontrolle geringeren N-Freisetzung und erreichte mit 6,8 bis 15,6% erst zum Tag 112 der Bebrütung eine geringe Netto-Freisetzung des zugeführten Stickstoffs.

Die Zugabe von Spitzwegerich spiegelte sich in der Kombination sowohl mit Rotklee als auch mit Welschem Weidelgras in einer Verzögerung der Netto-Freisetzung wider, so dass diese in beiden Fällen erst nach 56 Tagen der Bebrütung einsetzte. Gleichzeitig führte die Mischung mit Spitzwegerich dazu, dass bis Ende des Versuches (Tag 112) deutlich geringere Mengen Nitrat-N freigesetzt (im Falle des Rotklees zwischen 14,6 und 22,7 Prozentpunkten, im Falle des Welschen Weidelgrases bis maximal 6,4 Prozentpunkte) wurden als nach reinem Rotklee bzw. Welschem Weidelgras (Tab. 23).

In Tabelle 8 sind die prozentualen Abweichungen aus den berechneten Erwartungswerten (ermittelt aus dem Verhalten der Pflanzen bei alleiniger Zufuhr) wiedergegeben. Danach unterschritt die gemessene N-Freisetzung im Gemisch aus Spitzwegerich mit Rotklee die erwartete Nitrat-N-Freisetzung bis einschließlich 112 Tage der Inkubation in nahezu allen Stufen der N-Zugabe (Tab. 24). Im Falle des Gemisches aus Spitzwegerich mit Welschem Weidelgras war dieses nur bei hoher N-Zugabe der Fall, bei geringer und mittlerer N-Zugabe wich die erwartete Netto-N-Mineralisation vom gemessenen nur wenig ab.

Die Inkubationsexperimente erbrachten hinsichtlich der Entwicklung des Gehaltes an Ammoniumstickstoff deutlich weniger Unterschiede zwischen den getesteten Pflanzenmaterialien. Lediglich zu Beginn war die Zugabe der Sprossmasse von Welschem Weidelgras, in Teilen auch Rotklee mit einem kurzfristigen (bis Tag 14) deutlichen Anstieg der Ammonium-Mengen im Boden verbunden. Zu späteren Untersuchungsterminen unterschieden sich die Prüfglieder nicht mehr (Abb. 113).

Tab. 23: Mittlere Scheinbare N-Mineralisationsrate bezogen auf Nitrat-N des zugeführten Stickstoffs der Sprossmasse der unterschiedlichen Pflanzen (RK = Rotklee, WG = Welsches Weidelgras, SW = Spitzwegerich als Funktion der Höhe der zugeführten N-Menge und der Dauer der Inkubation im Inkubationsversuch 2 (Angaben in %)

Inkubationszeitraum in Tagen	250 µg/TM Boden	500 µg/TM Boden	750 µg/TM Boden
Rotklee			
14	+8,3	+6,4	+2,7
28	+17,5	+21,0	+23,3
56	+21,6	+26,8	+32,0
112	+36,7	+34,4	+41,2
Welsches Weidelgras			
14	-4,0	-1,9	-1,2
28	-0,9	-1,7	+1,0
56	+6,3	+2,6	+11,2
112	+20,8	+17,6	+18,8
Spitzwegerich			
14	-4,4	-2,2	-1,4
28	-5,6	-2,8	-1,9
56	-5,5	-1,3	-0,4
112	+8,9	+6,9	+15,6
Gemisch Rotklee/Spitzwegerich (50/50)			
14	-4,0	-2,2	-1,4
28	-2,0	-0,5	-1,5
56	+11,2	+13,4	+13,6
112	+20,9	+19,8	+18,5
Gemisch Welsches Weidelgras/ Spitzwegerich (50/50)			
14	-4,3	-2,1	-1,5
28	-3,2	-2,6	-1,9
56	+4,1	+4,2	0,0
112	+15,3	+18,1	+12,4

Tab. 24: Mittlere Abweichung vom Erwartungswert in der scheinbare N-Mineralisationrate bezogen auf Nitrat-N des zugeführten Stickstoffs der Sprossmasse der unterschiedlichen Pflanzen (RK = Rotklee, WG = Welsches Weidelgras, SW = Spitzwegerich) als Funktion der Höhe der zugeführten N-Menge und der Dauer der Inkubation im Inkubationsversuch 2 (Angaben in %)

Inkubationszeitraum in Tagen	250 µg/TM Boden	500 µg/TM Boden	750 µg/TM Boden
Gemisch Rotklee/Spitzwegerich			
14	-6,0	-4,3	-2,1
28	-8,0	-9,6	-12,2
56	+3,2	+0,7	-2,2
112	-1,9	-0,9	-9,9
Gemisch Welsches Weidelgras/Spitzwegerich			
14	-0,1	-0,1	-0,2
28	+0,1	-0,4	-1,5
56	+3,7	+3,6	-5,4
112	+0,5	+5,9	-4,8

Hinsichtlich der N-Mineralisation aus den zugeführten Wurzelmassen der Pflanzen zeichnete sich nur ein markanter Unterschied ab: Die Wurzeln des Rotklees setzten wie auch die Sprossmasse spätestens nach 28 Tagen Nitratstickstoff netto frei im Gegensatz zu den Wurzeln von Welschem Weidelgras und Spitzwegerich, die bis zum Tag 112 der Bebrütung eine starke Immobilisation oder Hemmung der Nitrifikation im Boden bewirkten. Es konnte hier nahezu kein Nitratstickstoff im Boden detektiert werden (Abb. 114). Dieses traf auch dann zu, wenn Wurzelmasse von Rotklee im Gemisch mit Welschem Weidelgras oder Spitzwegerich zugegeben wurde.

Die Wurzeln von Rotklee und Welschem Weidelgras induzierten zu Beginn der Bebrütung, d.h. bis etwa 14 Tage nach Zugabe der Wurzeln in den Boden, einen starken Anstieg der Ammonium-N-Vorräte im Boden, der aber nur temporärer Natur war (Abb. 115).

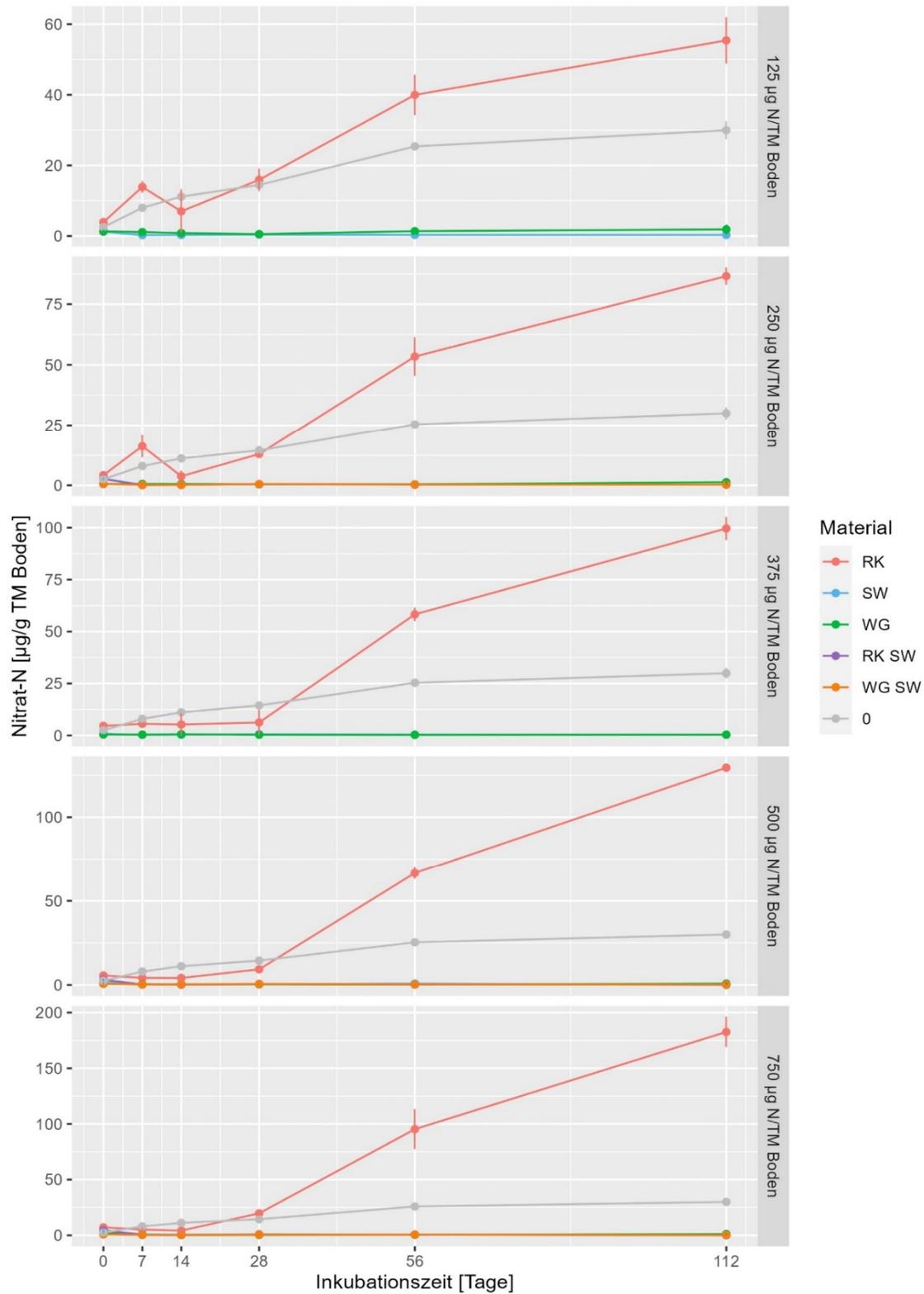


Abb. 114: Verlauf des Gehalts an Nitratstickstoff im Boden nach Zugabe 125, 250, 375, 500 bzw. 750 µg N/g TM Boden in Form der Wurzelmasse von Rotklee (RK), Welschem Weidelgras (WG) und Spitzweigerich (SW) bzw. zu Anteilen von je 50% zusammengesetzten Gemischen RK/SW bzw. WG/SW (0 = Kontrolle ohne Zugabe von Sprossmasse)

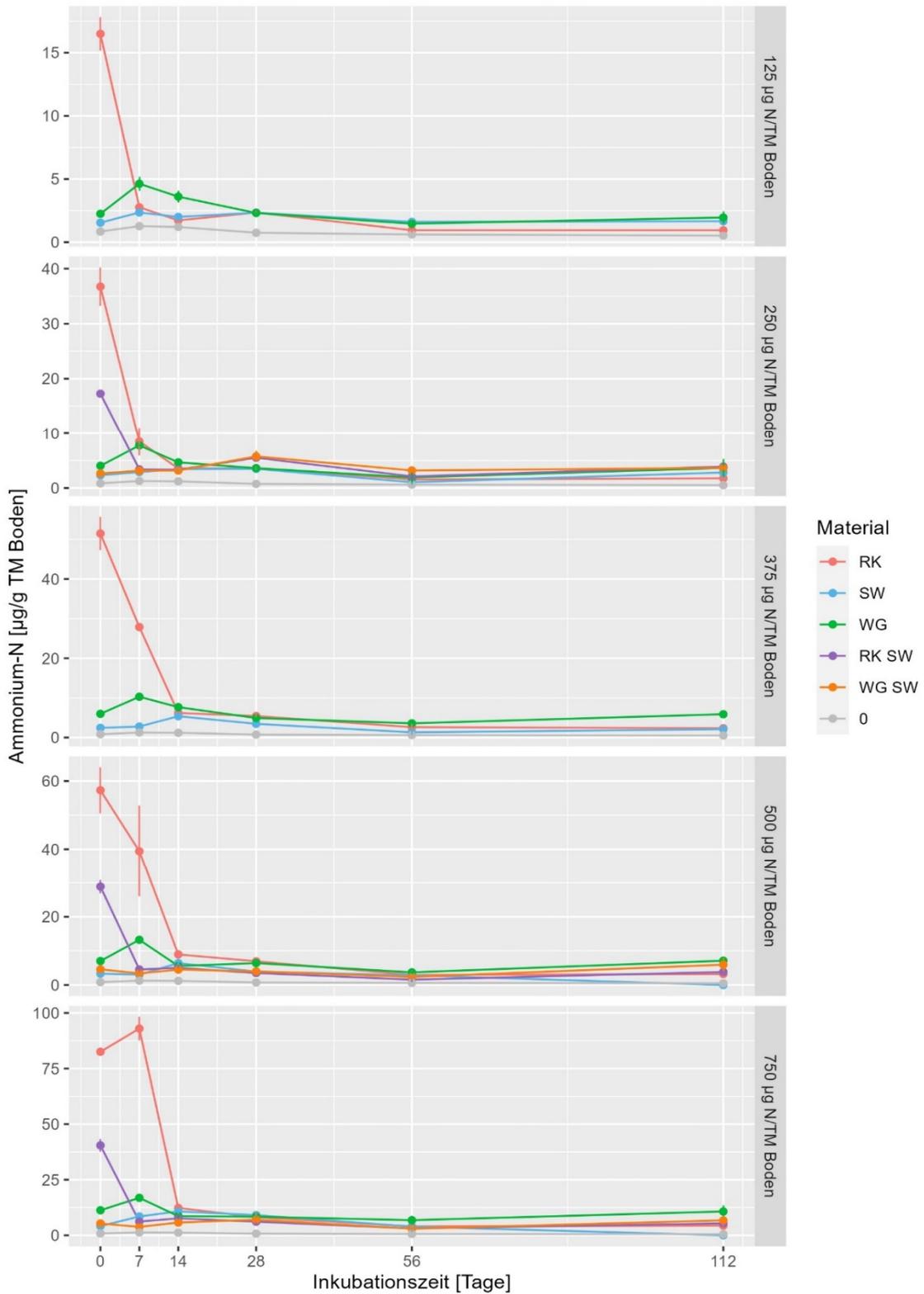


Abb. 115: Verlauf des Gehalts an Ammoniumstickstoff im Boden nach Zugabe 125, 250, 375, 500 bzw. 750 µg N/g TM Boden in Form der Wurzelmasse von Rotklee (RK), Welschem Weidelgras (WG) und Spitzwegerich (SW) bzw. zu Anteilen von je 50% zusammengesetzten Gemischen RK/SW bzw. WG/SW (0 = Kontrolle ohne Zugabe von Sprossmasse)

### 4.11.3 Versuchsserie 3

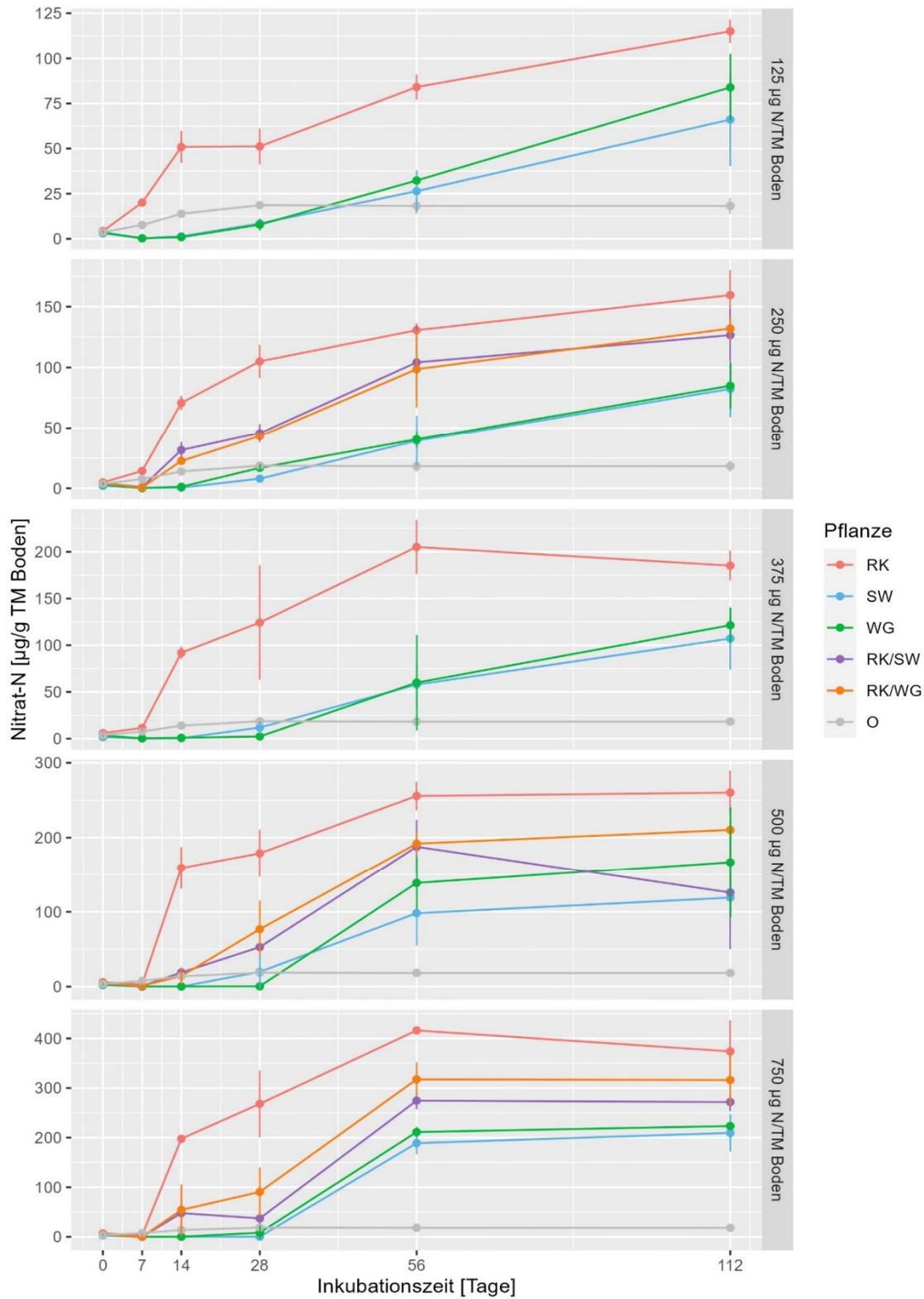


Abb. 116: Verlauf des Gehalts an Nitratstickstoff im Boden nach Zugabe 125, 250, 375, 500 bzw. 750 µg N/TM Boden in Form der Sprossmasse von Rotklee (RK), Welschem Weidelgras (WG) und Spitzwegerich (SW) bzw. zu Anteilen von je 50% zusammengesetzten Gemischen RK/SW bzw. WG/SW (0 = Kontrolle ohne Zugabe von Sprossmasse)

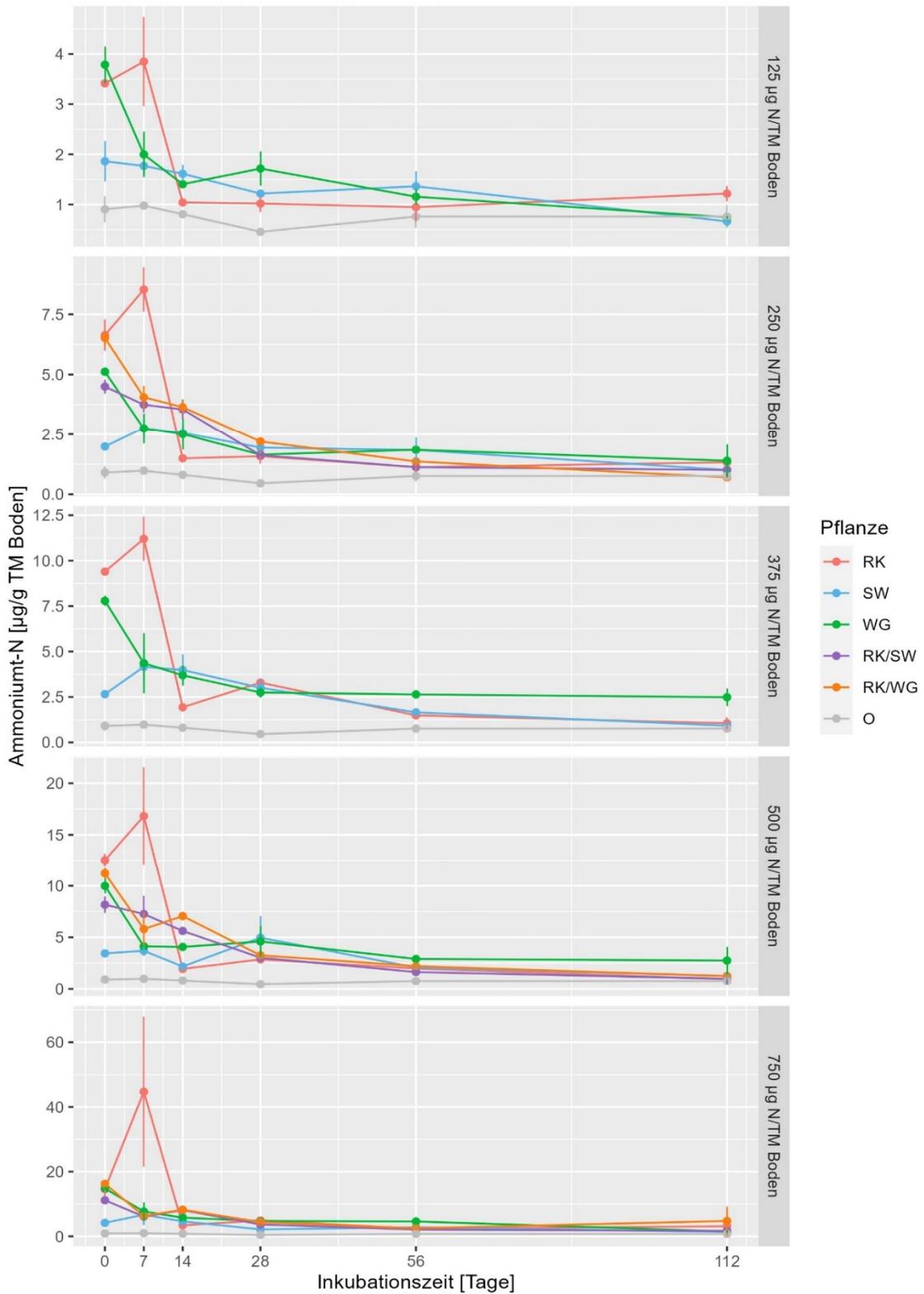


Abb. 117: Verlauf des Gehalts an Ammoniumstickstoff im Boden nach Zugabe 125, 250, 375, 500 bzw. 750 µg N/g TM Boden in Form der Sprossmasse von Rotklee (RK), Welschem Weidelgras (WG) und Spitzwegerich (SW) bzw. zu Anteilen von je 50% zusammengesetzten Gemischen RK/SW bzw. WG/SW (0 = Kontrolle ohne Zugabe von Sprossmasse)

Im Jahr 2021 wurde ein zusätzlicher Versuch zur Inkubation verschiedener Sprossmassen hinsichtlich der N-Mineralisation im Boden durchgeführt. Neben den Sprossmassen des Rotklees, des Welschen Weidelgrases und des Spitzwegerichs, die einzeln und mit unterschiedlich hohen Mengen dem Boden zugesetzt wurden,

wurden 50/50 Gemische bezogen auf die zugeführten N-Mengen aus Rotklee und Spitzwegerich sowie Rotklee und Welschem Weidelgras getestet. Zusätzliche Untersuchungen mit Wurzelmassen wurden nicht durchgeführt, da diese in der Versuchsserie 2 nur zwischen Rotklee auf der einen und Spitzwegerich und Welschem Weidelgras auf der anderen Seite Differenzierungen ergaben, nicht aber zwischen den beiden nichtlegumigen Pflanzenarten, da deren C/N-Verhältnisse in der Wurzelmasse sehr weit waren und das Mineralisationsgeschehen überprägten. Nitrifikationshemmende Wirkungen des auch in den Wurzeln des Spitzwegerichs enthaltenen Aucubins konnten deshalb an dessen Wurzelmasse nicht experimentell verifiziert werden.

Die Netto-Freisetzung an Nitratstickstoff setzte auch in der Versuchsserie 3 nach Zugabe von Rotkleesprossmasse und unabhängig von der Höhe der zugegebenen N-Menge sehr rasch nach 7 bis 14 Tagen Bebrütung ein und setzte sich bis zum Ende (112 Tage) kontinuierlich mit höheren Netto-Freisetzungsraten als in der Versuchsserie 2 fort (Abb. 116). Die Netto-Freisetzung an Nitratstickstoff war nach Zugabe von Welschem Weidelgras über den gesamten Untersuchungszeitraum und unabhängig von der Höhe zugegebenen N-Menge deutlich geringer und setzte später als in der Versuchsserie 2 erst bei allen Varianten nach 56 Tagen der Inkubation ein. Zuvor führte die Zugabe von Welschem Weidelgras zu einer Immobilisierung an Nitratstickstoff im Boden wie an der geringeren Menge Nitratstickstoff im Boden im Vergleich zur Kontrolle sichtbar ist. Die Zugabe von Spitzwegerich führte unabhängig zur Höhe der zugeführten N-Menge anders als in der Versuchsserie 2 bereits erstmals nach 56 Tagen Inkubation zu einer Netto-Freisetzung an Nitrat-N im Boden, d.h. Spitzwegerich bewirkte bis 56 Tage nach Beginn der Inkubation eine N-Immobilisierung oder Hemmung der Nitrifikation im Boden (Abb. 116). Die Netto-Freisetzung an Nitrat-N des zugeführten Stickstoffs lag nach 112 Tagen Bebrütung in allen Stufen der N-Zufuhr unter der des Welschen Weidelgrases. Das Gemisch aus Rotklee und Spitzwegerich führte zu einer gegenüber einer alleinigen Zugabe von Rotklee deutlich geringeren Netto-Freisetzung an Nitratstickstoff im Boden, die in der Regel auch geringer ausfiel als nach Zugabe des Gemisches von Welschem Weidelgras und Rotklee. Aussagekräftig auch im Hinblick auf die Wirkung zugegebener N-Mengen sind die in Tab. 9 verzeichneten scheinbaren N-Mineralisationsraten in Bezug zur zugeführten N-Menge.

So wurde bei Rotklee bereits 14 Tage nach Beginn der Bebrütung zwischen 23 und 29% der zugeführten N-Menge netto als Nitrat-N im Boden mineralisiert, nach 114 Tagen waren es sogar 47 bis 56% und damit deutlich mehr als in der Versuchsserie 2. Die zugeführte Rotkleesprossmasse war in der Versuchsserie 3 durch einen höheren N-Gehalt und engeres C/N-Verhältnis gekennzeichnet als diejenige, die in Versuchsserie 2 eingesetzt wurden (Tab. 9 und Tab. 10). Dieses dürfte die höheren Netto-Freisetzungsraten in der Versuchsserie 3 begründen. Die Zugabe der Sprossmasse des Welschen Weidelgras führte erst nach 56 Tagen zu einer Netto-Freisetzung von 9 bis 26% der zugeführten N-Menge und stieg nach 112 Tagen der Bebrütung weiter auf 27 bis 30% an (Tab. 25). Die Freisetzung lag damit auch deutlich höher als in Versuchsserie 2 (Tab. 24). Auch beim Welschen Weidelgras waren höhere N-Gehalte und ein engeres C/N-Verhältnis in der Sprossmasse, die in Versuchsserie 3 eingesetzt wurden, vermutlich ursächlich für die höheren Netto-N-Freisetzungsraten. Dieses war auch bei Spitzwegerich der Fall. Spitzwegerich führte in Versuchsserie 3 nur bis einschließlich 28 Tage nach Beginn der Bebrütung zu einer gegenüber der Kontrolle geringeren N-Freisetzung, so dass nach 112 Tagen Inkubation vermutlich aufgrund eines engeren C/N-Verhältnisses in der Sprossmasse als in Versuchsserie 2 sogar 21 bis 26% des zugeführten Stickstoffs netto freigesetzt wurden (Tab. 25).

Die Zugabe von Spitzwegerich spiegelte sich in der Kombination sowohl mit Rotklee als auch mit Welschem Weidelgras in einer Verzögerung der Netto-Freisetzung an Nitrat-N wider, so dass diese in beiden Fällen in geringerem Maße als nach Zugabe von reinem Rotklee zu verzeichnen war. So wurde im Falle von Spitzwegerich 14 Tage nach Beginn der Bebrütung nur zwischen 1 und 7%, im Falle der Beimengung von Spitzwegerich nur bis zu 5% im Falle des Welschen Weidelgrases netto an Nitrat-N freigesetzt. 112 Tage der Bebrütung resultieren dann zu einer Netto-N-Freisetzung zwischen 22 und 43% (Gemisch mit Spitzwegerich) und 38 und 46 % (Gemisch mit Welschem Weidelgras, Tab. 25).

In Tabelle 26 sind die prozentualen Abweichungen aus den berechneten Erwartungswerten (ermittelt aus dem Mittel der Pflanzen bei alleiniger Zufuhr) wiedergegeben. Spitzwegerich führte in der Mischung mit Rotklee bis einschließlich 28 Tage generell und in einigen Prüfgliedern auch bis Versuchsende (112) der Inkubation zu einer deutlichen Unterschreitung der Erwartung im Gegensatz zu Welschem Weidelgras, das in der Mischung mit Rotklee in allen Fällen die erwartete Freisetzung an Nitrat-N im Vergleich zum Mittel der N-Freisetzung der reinen Pflanzenarten deutlich übertraf (Tab. 26). Insofern haben beide Versuchsserien sehr konsistente Resultate hinsichtlich der Hemmung der Nitrifikation im Boden durch Zugabe von Spitzwegerich-Sprossmasse erbracht. Frische in den Boden eingearbeitete Sprossmasse des Spitzwegerichs führte in beiden Fällen zu einer offensichtlich durch Nitrifikationshemmung ausgelösten verzögerten Freisetzung von Nitrat-N im Boden.

Die Inkubationsexperimente der Versuchsserie 3 erbrachten hinsichtlich der Entwicklung des Gehaltes an Ammoniumstickstoff erneut deutlich weniger Unterschiede zwischen den getesteten Pflanzenmaterialien. Lediglich zu Beginn war die Zugabe der Sprossmasse vor allem von Rotklee, in Teilen auch bei Welschem Weidelgras und in geringerem Maße auch bei Spitzwegerich temporär bis zum Tag 14 ein deutlicher Anstieg der Ammonium-N-Mengen im Boden zu verzeichnen. Der zu Beginn erhöhte Gehalt an Ammonium-N im Boden ging im Anschluss aber wieder stark zurück (Abb. 117). Somit zeichnete sich in allen drei Versuchsserien ab, dass die durch Spitzwegerich induzierte Nitrifikationshemmung sich nicht in einem Anstieg an  $\text{CaCl}_2$ -extrahierbarem Ammonium-N im Boden widerspiegelte.

Tab. 25: Mittlere Scheinbare N-Mineralisationsrate bezogen auf Nitrat-N des zugeführten Stickstoffs der Sprossmasse der unterschiedlichen Pflanzen (RK = Rotklee, WG = Welsches Weidelgras, SW = Spitzwegerich) als Funktion der Höhe der zugeführten N-Menge und der Dauer der Inkubation im Inkubationsversuch 3 (Angaben in %)

Inkubationszeitraum in Tagen	250 µg/TM Boden	500 µg/TM Boden	750 µg/TM Boden
Rotklee			
14	+22,8	+29,1	+24,5
28	+34,5	+32,1	+33,3
56	+45,0	+47,5	+53,0
112	+56,5	+48,4	+47,4
Welsches Weidelgras			
14	-5,1	-2,7	-1,8
28	-0,7	-3,6	-1,4
56	+8,9	+24,1	+25,7
112	+26,7	+29,7	+27,3
Spitzwegerich			
14	-5,3	-2,7	-1,8
28	-4,2	+0,2	-2,4
56	+8,4	+16,0	+22,8
112	+25,6	+20,1	+25,5
Gemisch Rotklee/Spitzwegerich (50/50)			
14	+7,0	+1,0	+4,5
28	+10,8	+6,8	+2,5
56	+34,3	+33,9	+34,2
112	+43,3	+21,5	+33,8
Gemisch Rotklee/ Welsches Weidelgras (50/50)			
14	+3,5	+0,1	+5,4
28	+9,8	+11,6	+9,6
56	+32,1	+34,7	+39,9
112	+45,5	+38,4	+39,7

Tab. 26: Mittlere Abweichung vom Erwartungswert in der scheinbare N-Mineralisationrate bezogen auf Nitrat-N des zugeführten Stickstoffs der Sprossmasse der unterschiedlichen Pflanzen (RK = Rotklee, WG = Welsches Weidelgras, SW = Spitzwegerich) als Funktion der Höhe der zugeführten N-Menge und der Dauer der Inkubation im Inkubationsversuch 3 (Angaben in %)

Inkubationszeitraum in Tagen	250 µg/TM Boden	500 µg/TM Boden	750 µg/TM Boden
Gemisch Rotklee/Spitzwegerich			
14	-1,8	-12,2	-6,9
28	-4,4	-9,4	-13,0
56	+7,6	+2,2	-3,7
112	+2,3	-12,8	-2,7
Gemisch Welsches Weidelgras/Spitzwegerich			
14	8,7	2,8	7,2
28	12,3	13,3	11,5
56	23,5	14,7	15,7
112	19,5	13,5	13,3

## 5. Diskussion der Ergebnisse

Die erzielten Versuchsergebnisse werden im folgenden anhand der Arbeitshypothesen diskutiert und eingeordnet.

Arbeitspaket 1: Anbau von Rotklee im Gemenge mit Welschem Weidelgras versus im Gemenge mit Spitzwegerich

1. *Gemengebau von Rotklee mit Spitzwegerich führt zu einem rascheren Absinken und anhaltend niedrigeren Nitratvorrat im Boden als das Gemenge mit Welschem Weidelgras und ist eine Funktion des Ertragsanteiles des Spitzwegerichs im Gemenge.*

Spitzwegerich war nach Ansaat im August nicht in der Lage im Gemenge mit Rotklee im Vergleich zu den entsprechenden Gemengen von Rotklee mit Welschem Weidelgras den Vorrat an Nitratstickstoff im Boden schneller und tiefgreifender zu entleeren. Erst nach über einjährigem Wachstum und drei bzw. vier Schnitten zeigte im Oktober vor Umbruch der Bestände, dass Spitzwegerich im Gemenge mit Rotklee zu geringeren residualen Nitrat-N-Mengen im Boden führte als die entsprechenden Gemenge aus Rotklee und Welschem Weidelgras (Abb. 48, Abb. 53, Abb. 58 und Abb. 63). Mit Zunahme des Anteils Spitzwegerich im Gemenge verstärkte sich dieser Effekt und war in der Reinsaat des Spitzwegerichs am deutlichsten ausgeprägt.

2. *Die Gemenge aus Spitzwegerich mit Rotklee sind mit zunehmender Wasserknappheit am Standort (in der Regel zum zweiten und dritten Schnitttermin) ertragsstärker als die Gemenge mit Welschem Weidelgras.*

Die Hypothese konnte in beiden Jahren am Standort Struppen bestätigt werden: Hier lag der Ertrag der Gemenge mit Spitzwegerich zum zweiten und dritten Schnitttermin und trockenen Bedingungen im Sommer höher als bei den entsprechenden Gemengen mit Welschem Weidelgras (Abb. 4, Abb. 5, Abb. 15, Abb. 16). Dieses führte aber nicht dazu, dass der entsprechende Jahresschnittgutertrag der Gemenge mit Spitzwegerich über dem lag der Gemenge mit Welschem Weidelgras (Abb. 6 und Abb. 18), da das Welsche Weidelgras jeweils zum ersten Schnitttermin deutlich dem Spitzwegerich im Gemenge mit Rotklee überlegen war (Abb. 1 und Abb. 14). Aufgrund dessen dürften Gemenge aus den drei Arten Rotklee, Welsches Weidelgras und Spitzwegerich im Gesamtjahresertrag den jeweiligen Gemengen aus nur zwei Arten überlegen sein, da hierüber die jeweiligen Vorteile eines erhöhten Wachstums im Frühjahr von Welschem Weidelgras und eines verstärkten Wachstums des Spitzwegerichs im Sommer unter insgesamt trockenen Bedingungen kombiniert werden könnten. Hierzu bedarf es aber einer experimentellen Bestätigung, die im hier durchgeführten Vorhaben nicht erfolgen konnte. Voraussetzung für die Ausbildung eines Ertragsvorteiles des Spitzwegerichs im Sommer scheint allerdings zu sein, dass der Boden tiefgründig durchwurzelbar ist. So haben ergänzende Untersuchungen am Standort Struppen gezeigt, dass Spitzwegerich hier nach einem Jahr Wachstum eine maximale Durchwurzelungstiefe von 190 cm erreichte, währenddessen die Wurzeln von Rotklee und Welschem Weidelgras unter gleichen Bedingungen nur eine maximale Tiefe von 140 cm bzw. 100 cm erreichten (Tröber & Schmidtke, 2022; Pol et al. 2023).

Am Standort Caßlau waren in beiden Versuchsjahren weder zum zweiten und dritten Schnitttermin noch im Gesamtjahresertrag ein Ertragsvorteil der Gemenge mit Spitzwegerich erzielt worden (Abb 9, Abb 11, Abb. 21, Abb. 22 sowie Abb. 12 und Abb. 24). Im Unterboden war hier ab einer Tiefe von 60 bis 80 cm eine Schicht mit zum Teil grobem Sand bzw. Kies vorhanden, den die Wurzeln aller geprüften Pflanzen nicht durchdringen konnten. Deshalb konnte der Spitzwegerich hier im Sommerhalbjahr kein höheres Wachstum als das Welsche Weidelgras realisieren, so dass die Gemenge aus Welschem Weidelgras und Rotklee hier im Jahresertrag die Gemenge mit Spitzwegerich überragten. Es kann daraus geschlossen werden, dass Ertragsvorteile des Spitzwegerichs gegenüber Welschem Weidelgras im Gemenge mit Rotklee vermutlich nur unter Bedingungen realisiert werden können, unter denen der Boden tiefreichend, d.h. tiefer als 80 cm von Wurzeln erschlossen werden kann.

3. *Die Ertragsvorteile im Gemenge mit Spitzwegerich sind auf dem Sandboden größer als auf lehmigem Boden.*

Es konnten in den Untersuchungen keine Anhaltspunkte ermittelt werden, die diese These bestätigen. Relevant für die Realisierung von Ertragsvorteilen durch Spitzwegerich scheint die tiefreichende Durchwurzelbarkeit des Bodens am Standort und das Auftreten einer Sommertrockenheit zu sein. Die Bodenart scheint hierfür eine untergeordnete Rolle zu spielen.

4. *Die symbiotische N<sub>2</sub>-Fixierleistung des Rotkleees im Gemenge mit Spitzwegerich übertrifft aufgrund der Nitrifikationshemmung des Spitzwegerichs im Boden die entsprechende N<sub>2</sub>-Fixierleistung des Rotkleees im Gemenge mit Welschem Weidelgras.*

Auf dem Standort mit tiefreichend durchwurzelbarem Boden (Struppen) führte der Anbau von Spitzwegerich zu einer gegenüber den Gemengen mit Welschem Weidelgras höheren N-Akkumulation der Bestände im Schnittgut (Abb. 29 und Abb. 33), die im zweiten Jahr auch mit deutlich höheren N<sub>2</sub>-Fixierleistungen verbunden war (Abb. 33). Dieses war am Standort Caßlau im zweiten Jahr der Untersuchung (2021, Abb. 43) im geringeren Umfang ebenfalls der Fall, während im ersten Jahr (2020, Abb. 33) jeweils höhere Leistungen im Gemenge mit Welschem Weidelgras zu verzeichnen waren. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass Spitzwegerich in einigen Fällen, jedoch nicht immer zu einer höheren N<sub>2</sub>-Fixierleistung von Rotklee im Gemenge im Vergleich zu Welschem Weidelgras beitragen kann. Ob dieses Ergebnis ursächlich mit einer Nitrifikationshemmung des Spitzwegerichs in Verbindung steht, ist aus den vorliegenden Untersuchungsergebnissen nicht kausal ableitbar.

#### Arbeitspaket 2: N-Mineralisation im Laborbebrütungsversuch

Durch die Laborbebrütungsversuche sollten insbesondere nachstehende Hypothesen im AP 2 beantwortet werden:

1. *Während mit Zunahme des Ertrages an Welschem Weidelgras im Gemenge mit Rotklee keine nitrifikationshemmende Wirkung im Boden zu verzeichnen ist, steigt diese mit Zunahme des Spitzwegerichertrages im Pflanzenbestand signifikant an.*

Es konnte während des Wachstums der Pflanzenbestände kein signifikanter Unterschied in der Ammoniumkonzentration in der Bodenlösung zwischen den Beständen nachgewiesen werden, so dass die Hypothese aus den im Feld ermittelten Daten zumindest während des Wachstums der Bestände nicht bestätigt werden konnte. Nach Umbruch der Bestände zeigte sich allerdings in den ersten vier Wochen nach Umbruch eine verzögerte Freisetzung von Nitratstickstoff im Boden nach Gemengen mit Spitzwegerich im Vergleich zu Gemengen mit Welschem Weidelgras (Abb. 73, Abb. 74 sowie Abb. 80 und Abb. 81), die auch mit höheren Anteilen des Spitzwegerichs im Gemenge zunahm. Diese Beobachtung stützt die Hypothese, da allerdings der Effekt nicht konsistent in allen untersuchten Fällen beobachtet werden konnte, nicht hinreichend stark genug.

2. *Die nitrifikationshemmende Wirkung des Spitzwegerichs im Boden ist im Sandboden deutlich größer als im lehmigen Boden.*

Trotz des geringeren Wachstums des Spitzwegerichs in Reinsaat am Standort Caßlau mit sandigen Bodenbedingungen im Vergleich zum Standort Struppen mit lehmigem Boden fielen die Unterschiede in der Höhe der Nitratfreisetzung im Boden zwischen den Bodenproben, die auf Parzellen entnommen wurden, auf dem zuvor über 14 Monate Spitzwegerich gewachsen war, und den Bodenproben, auf dem zuvor Welsches Weidelgras gewachsen war, für den Standort Caßlau deutlich größer als für den Standort Struppen aus (Abb. 110 und Abb. 111). Das deutet darauf hin, dass die nitrifikationshemmende Wirkung von Spitzwegerich auf sandigem Boden, vermutlich aufgrund geringerer Sorptionskapazität (Tongehalt), höher als auf lehmig-schluffigem Boden aus. Die Hypothese konnte durch die Untersuchungsergebnisse gestützt werden.

3. *Eine durch Zugabe von Rotkleebiomasse im Boden induzierte erhöhte Freisetzung von Nitrat im Boden wird durch Zugabe von Spitzwegerichbiomasse überproportional gesenkt.*

Die Zugabe von Rotkleesprossmasse zum Boden führte in beiden Fällen zu einer sehr rasch einsetzenden und anhaltend hohen Nettomineralisation an Nitrat-N im Boden, während die Zugabe von Spitzwegerich über die ersten 28 Tage (Abb. 117, oben) bzw. 56 Tage (Abb. 112, oben) geringeren Nitratfreisetzung im Boden im Vergleich zur Kontrolle führte, die vermutlich aufgrund einer Nitrifikationshemmung hervorgerufen wurde. Wurde Rotklee und Spitzwegerich zu je 50% der insgesamt zugeführten N-Menge dem Boden zugesetzt, so lag die Nettomineralisation an Nitrat-N bis einschließlich 28 Tage nach Beginn der Bebrütung unterhalb der aus dem Mineralisationsverhalten der in Reinsaat zugesetzten Sprossmassen (Tab. 24 und Tab. 26). Daraus kann geschlussfolgert werden, dass zumindest in den ersten 28 Tagen nach Einarbeitung von Rotkleesprossmasse in den Boden eine Zugabe von Sprossmasse des Spitzwegerichs zu einer überproportionalen Senkung der Nitratfreisetzung im Boden führt. Dieser Effekt dürfte auf die nitrifikationshemmende Wirkung des im Spitzwegerich enthaltenen Aucubins (Abb. 64 und Abb. 65) zurückzuführen sein. Somit konnte die Hypothese bestätigt werden und die Befunde von Dietz et al. (2013) gestützt werden.

4. *Mit Steigerung der Zufuhr von Spitzwegerichbiomasse zum Boden hält die nitrifikationshemmende Wirkung länger im Boden an.*

In beiden Inkubationsversuchen konnte diese Hypothese nicht bestätigt werden, da unabhängig von der Höhe der Zufuhr an Spitzwegerichsprossmasse nach 28 Tagen (Abb. 117) bzw. 56 Tagen (Abb. 112) die Nettofreisetzung an Nitratstickstoff im Vergleich zur Kontrolle einsetzte. Deshalb ist zu vermuten, dass die Wirkung des Aucubins auf die Nitrifikation durch Sorption an Bodenpartikel und/oder mikrobiellem Abbau reduziert wird und deshalb durch die Zugabe höherer Mengen an Spitzwegerichsprossmasse dessen Wirkung nicht verlängert werden konnte.

### Arbeitspaket 3: N-Mineralisation im Boden nach Umbruch unter Winterweizen sowie Ertragsbildung und N-Aufnahme des Winterweizens

Durch die Feldversuche sollten nachstehende Hypothesen im AP 3 bearbeitet werden:

1. *Durch den Gemengepartner Spitzwegerich in Rotklee kann anders als mit Welschem Weidelgras auch unter Feldbedingungen eine deutliche Hemmung der Nitrifikation im Boden nach Umbruch der Bestände erreicht werden.*

Eine nitrifikationshemmende Wirkung des Spitzwegerichs ließ sich im Feld nur in geringem Umfang und nicht in allen Umwelten nachweisen. Die Ammoniumvorräte im Boden nach Umbruch der Bestände variierten zwischen den Gemengen aus Welschem Weidelgras und Spitzwegerich mit Rotklee nur gering und nicht systematisch durch die Bestände beeinflusst. Hinsichtlich des Nitrat-N-Vorrates im Boden ließ sich allenfalls eine Tendenz vor Winter (Standort Caßlau im Jahr 2020, Abb. 73 bis Abb. 75 sowie Standort Struppen im Jahr 2021 Abb. 80 bis Abb. 82) ableiten, dass nach Einarbeitung von Rotklee-Spitzwegerich-Gemengen im Vergleich zu Rotklee-Weidelgras-Gemengen eine verzögerte Freisetzung an Nitrat-N erfolgte, die auf eine nitrifikationshemmende Wirkung hinweist. Die Hypothese konnte deshalb nicht generell hinsichtlich in allen Umwelten bestätigt werden.

2. *Die Einarbeitung des letzten Aufwuchses des Spitzwegerichs in den Boden erhöht und verlängert die nitrifikationshemmende Wirkung im Boden.*

Weder die Nitrat- noch die Ammoniumvorräte im (Ober-)Boden spiegelten nach Einarbeitung des letzten Aufwuchses von Spitzwegerich in Reinsaat oder im Gemenge mit Rotklee gerichtete Wirkungen wider (Abb. 66 bis Abb. 89). Es waren temporär sowohl leicht höhere als auch geringere Vorräte an Ammonium und Nitrat im Boden nach Belassen des letzten Aufwuchses im Vergleich zur Beerntung im Boden zu verzeichnen, obwohl Spitzwegerich erhöhte Mengen an Aucubin in der eingearbeiteten Sprossmasse enthielt (Abb. 64 und Abb. 65). Auch bei vergleichsweise hohen N-Mengen (bis 97 kg/ha, Tab. 18), die mit dem Aufwuchs auf der Fläche verblieben und eingearbeitet wurden, waren zunächst unabhängig von der Zusammensetzung der eingearbeiteten Pflanzenmasse keine Wirkungen auf den Vorrat an Nitrat- und Ammoniumstickstoff im Boden nachzuweisen. Erst im darauffolgenden Frühjahr (April 2022) waren leicht höhere Vorräte an Nitrat-N im Boden nachzuweisen, sofern der Aufwuchs auf der Fläche belassen wurde (Abb. 84). Die Hypothese konnte deshalb im Feld nicht bestätigt werden.

3. *Die Integration von Spitzwegerich führt auf dem Sandboden zu einer stärkeren Reduktion der Nitrat- auswaschung als auf dem lehmigen Boden.*

Insgesamt lagen die N-Austräge nach Umbruch der Futterleguminosen-Bestände unter allen Umwelten auf einem vergleichsweise geringen Niveau mit maximalen Austrägen von 19 kg NO<sub>3</sub>-N/ha (Abb. 90 bis Abb. 94). Heß (1989) fand nach Kleeumbruch deutlich höhere Auswaschungsraten von zum Teil über 50 kg N/ha. Geringe N-Austräge waren in der hier vorliegenden Untersuchung sicherlich durch den späten Umbruch und die geringe Menge an Sickerwasseranfall in den vier geprüften Umwelten bedingt. Dennoch zeichneten sich in allen Umwelten sehr deutliche Effekte der unterschiedlichen Pflanzenbestände ab: Nach Rotklee in Reinsaat waren stets die höchsten, gefolgt von Gemengen aus Rotklee mit Welschem Weidelgras, N-Austräge zu verzeichnen. Gemenge aus Rotklee und Spitzwegerich und vor allem der Spitzwegerich in Reinsaat führte zu den geringsten N-Austrägen über Auswaschung. Hierfür dürfte die Fähigkeit des Spitzwegerichs zur tiefreichenden Entlerung des Nitratvorrates vor allem im Unterboden während seines Wachstums beigetragen haben, weniger stark hingegen die nitrifikationshemmende Wirkung des Spitzwegerichs, die unter Feldbedingungen kaum nachweisbar war. Im Vergleich zu Welschem Weidelgras war die reduzierende Wirkung des Spitzwegerichs im Gemenge mit Rotklee und in Reinsaat am Standort Caßlau mit sandigen Bodenbedingungen im Hinblick auf die Nitrat-N-Austräge auch größer. Im Mittel der beiden Jahre waren nach den Beständen mit Welschem Weidelgras etwa 58% am Standort Struppen und etwa 93 % am Standort Caßlau höhere Mengen Nitrat-N ausgewaschen worden als nach den entsprechenden Beständen mit Spitzwegerich. Zu berücksichtigen ist allerdings, dass die Unterschiede sich auf insgesamt sehr geringem, absolutem Niveau der N-Auswaschung zeigten.

4. *Die durch Spitzwegerich bewirkte Hemmung der Nitrifikation im Boden führt auch zu einer Steigerung der N-Versorgung und der Ertragsleistung des Winterweizens.*

Hinsichtlich der N-Akkumulation in Korn und Stroh ließ sich keine systematische Steigerung der N-Aufnahme des Weizens durch Spitzwegerich in den vier geprüften Umwelten nachweisen (Abb. 96, Abb. 99, Abb. 103 und Abb. 106). Lediglich im zweiten Versuchsdurchlauf am Standort Struppen führte der Gemengeanbau mit Spitzwegerich nicht nur zu durchschnittlich höheren symbiotischen N<sub>2</sub>-Fixierleistungen der Bestände (Abb. 38), sondern auch zu einer höheren Kornertragsleistung des nachgebauten Winterweizens (Abb. 109). Inwieweit dieses auch durch eine temporäre Hemmung der Nitrifikation im Boden hervorgerufen wurde, ließ sich aus den erzielten Ergebnissen allerdings nicht beantworten.

## **6 Angaben zum Voraussichtlichen Nutzen und zur Verwertung der Ergebnisse**

Die hier erzielten Ergebnisse lassen erwarten, dass sie in vielfacher Hinsicht in der landwirtschaftlichen Praxis verwertet werden:

1. Durch einen Gemengebau von Rotklee mit Spitzwegerich lässt sich auf tiefgründigen Böden und unter sommertrockenen Bedingungen ein Mehrertrag an Schnittgut erzielen. Hierbei sollten Saatanteile von Rotklee etwa 70 bis 80 % der Reinsaatstärke (8 bis 12 kg/ha) und 20 bis 30 % der Reinsaatstärke (800 g bis 1000 g/ha) gewählt werden. Vermutlich lässt sich durch ein Gemenge aus drei Arten – Rotklee, Spitzwegerich und Welsches bzw. Deutsches Weidelgras – auch eine Erhöhung des Jahresschnittgutertrages gegenüber den entsprechenden Gemengen aus zwei Arten erzielen.
2. Der Gemengebau mit Spitzwegerich wirkte sich in einigen Fällen auch förderlich auf die symbiotische N<sub>2</sub>-Fixierleistung des Gemengepartners Rotklee aus, so dass auch der Ertrag der Nachfrucht Winterweizen positiv beeinflusst werden kann. Allerdings setzt dieses einen Ertragsanteil von Spitzwegerich im Gemenge von nur 20 bis 25% voraus.
3. Die Nitratauswaschung nach Umbruch von Rotklee kann durch einen Gemengebau mit Spitzwegerich noch stärker reduziert werden als durch einen Gemengebau mit Welschem Weidelgras.
4. Spitzwegerich weist einen Futterwert auf, der nahe an die hohen Qualitätseigenschaften von Weidelgräsern reichen kann, so dass er in Anteil von 20% im Gemenge als förderlich für die Futteraufnahme und Tiergesundheit einzustufen sein dürfte.
5. Die Vermehrung von Spitzwegerichsorten mit hohem Aucibingehalt kann für einige Landwirtschaftsbetriebe ein neues Geschäftsfeld darstellen, insbesondere wenn Spitzwegerich zu einem regulären Bestandteil im Futterleguminosenanbau wird.

## **7 Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Ziele sowie Hinweise auf weiterführende Fragestellungen**

Es konnte uneingeschränkt alle Vorhabensziele mit dem Projekt erreicht werden. Hinsichtlich der geplanten Untersuchungen kam es nur durch einen technischen Defekt einer Gefriertruhe zum Verderb von Probenmaterial, so dass nicht alle Proben analysiert werden konnten. Es kam allerdings bedingt durch die Corona-Pandemie zu einer deutlichen Verzögerung in der Probenaufbereitung und Analyse, so dass das Vorhaben erst verspätet abgeschlossen werden konnte. Weder die Pandemie noch der Defekt der Gefriertruhe haben aber zu signifikanten Einschränkungen in der Zielerreichung des Vorhabens geführt.

## 8 Zusammenfassung

In den Jahren 2019 bis 2022 wurden an zwei Standorten in Sachsen, Struppen mit lehmig schluffigen Boden und Caßlau mit sandigem Boden, Untersuchungen zur Ertragsbildung, symbiotischen N<sub>2</sub>-Fixierleistung, Vorrat an pflanzenverfügbarem Nitrat- und Ammoniumstickstoff im Boden von Reinsaaten und Gemengen aus Rotklee, Welschem Weidelgras und Spitzwegerich durchgeführt. Die überjährig angebauten Futterbestände wurden an beiden Standorten in einer Verdrängungsserie nach de Wit in Form von Gemengen aus zwei Arten und relativen Saatanteilen zur jeweiligen Reinsaat von 25% zu 75%, 50% zu 50% sowie 75% zu 25% im Vergleich zu den jeweiligen Reinsaaten in einer faktoriellen, randomisierten Feldversuchsanlage mit 4 Wiederholungen geprüft. Erfasst wurde auch der Aucubingehalt in Spross und Wurzel des Spitzwegerichs aus Rein- und Gemengesaat. Die Futterbestände wurden nach 14-monatiger Wachstumsdauer im Oktober mit dem Pflug umgebrochen und Winterweizen als Folgekultur nachgebaut. Unter Winterweizen wurde der Vorrat an pflanzenverfügbarem Nitrat- und Ammoniumstickstoff im Boden sowie die Ertragsbildung und N-Aufnahme des Winterweizens zu mehreren Terminen in der Vegetationsperiode erfasst. Vor Umbruch der Futterbestände wurden zum letzten Schnittermin die Bestände, wie zu den vorherigen Nutzungsterminen, beerntet und das Schnittgut abgefahren oder das Schnittgut auf der Fläche als Mulchmaterial belassen und eingearbeitet. Die Untersuchungen wurden ergänzt durch die Nitrat- und Ammoniumfreisetzung im Boden im Verlauf einer Inkubation bei 20°C über 112 Tage ohne und nach Zugabe von unterschiedlich hohen N-Mengen in Form von Spross- und Wurzelmasse der drei im Feld gewachsenen Pflanzenarten. Übergeordnetes Ziel war es zu prüfen, inwieweit Spitzwegerich eine höhere Resilienz gegenüber trockenen Phasen im Sommer als Welsches Weidelgras im Gemenge mit Rotklee aufweist und Spitzwegerich auch im Feld zu einer Hemmung der Nitrifikation im Boden führt, so dass Nitratstickstoff in geringerem Maße bzw. verzögert im Boden freigesetzt wird, um die Auswaschung an Nitratstickstoff im Vergleich zu einem Gemenge mit Welschem Weidelgras und Rotklee nach Umbruch der Bestände zu verringern.

Auf tiefgründig durchwurzelbarem Boden erwies sich der Spitzwegerich aufgrund seines tiefer in den Boden reichenden Wurzelsystems als trockenresilienter als das Welsche Weidelgras im Gemenge mit Rotklee. Dieses führte dann zu entsprechend höheren Ertragsleistungen des Rotklee-Spitzwegerichgemenges im Vergleich zum Gemenge aus Rotklee mit Welschem Weidelgras. Welsches Weidelgras zeigte sich allerdings unter diesen Standortbedingungen als ertragsstärker im ersten Aufwuchs im Frühjahr, so dass die Jahresschnittguterträge der entsprechenden Gemenge sich nicht wesentlich unterschieden. Optimale Gesamtertragsleistungen ließen sich mit relativen Saatanteilen des Spitzwegerich von etwa 30% der Reinsaatstärke im Gemenge mit Rotklee erzielen. Beim Gemengepartner Welsches Weidelgras waren ebenfalls Höchsterträge mit realiven Saatanteilen von etwa 30% gegeben. Auf dem Standort Caßlau mit sandigen Bodenbedingungen und einer maximalen Durchwurzelbarkeit des Boden von 60 bis 80 cm (bedingt durch eine Schicht aus Grobsand und Kies), waren in vielen Fällen die Gemenge aus Rotklee mit Welschem Weidelgras ertragstärker als die entsprechenden Gemenge mit Spitzwegerich. In der Tendenz konnten im Gemenge mit Spitzwegerich aber höhere symbiotische N<sub>2</sub>-Fixierleistungen der Gemenge mit Rotklee ermittelt werden. Während im Laborbebrütungsversuch deutlich nachgewiesen werden konnte, dass insbesondere die in der Sprossmasse des Spitzwegerichs enthaltenen Mengen an Aucubin zu einer Hemmung der Nitrifikation führte, konnte dieses im Feld nur in der Tendenz nachgewiesen werden. Spitzwegerich im Gemenge mit Rotklee stellte sich als nicht nachteilig im Vergleich zu Welschem Weidelgras hinsichtlich des Vorfruchtwertes zu Winterweizen heraus, in einigen Fällen war auch ein höherer Vorfruchtwert der Gemenge mit Spitzwegerich festzustellen. Spitzwegerich führte im Gemenge, vor allem aber in Reinsaat nach 14-monatiger Wachstumszeit zu geringeren Restnitratgehalten im Boden. Nach Umbruch von Beständen mit Spitzwegerich (Reinsaat sowie Gemenge mit Rotklee) waren zudem unter der Folgefrucht Winterweizen geringere Nitrat austräge durch Auswaschung festzustellen als nach Umbruch entsprechender Bestände mit Welschem Weidelgras. Spitzwegerich erwies sich auf tiefgründig durchwurzelbarem Boden somit als klimaresilienter als Welsches Weidelgras und trug gleichzeitig auf allen geprüften Standorten zu einer Verminderung der Nitrat austräge durch Auswaschung bei.

## 9 Literaturverzeichnis

- Anthes, J., 2005: Beitrag von Ackerbohne (*Vicia faba* L.), Luzerne (*Medicago sativa* L.) und Saatwicke (*Vicia sativa* L.) zur Selbstregulierung der N-Zufuhr in leguminosenbasierten Fruchtfolgen. Dissertationsschrift, Georg-August-Universität Göttingen.
- Dietz, M., Machill S., Hoffmann, H.C. Schmidtke, K., 2013: Inhibitory effects of *Plantago lanceolata* L. on soil N mineralization. *Plant and Soil* 368, 445-458.
- Dreymann, S. 2005: N-Haushalt unterschiedlich bewirtschafteter Rotklee-Bestände und deren Bedeutung für die Folgefrucht Weizen im Ökologischen Landbau. Dissertationsschrift, Universität Kiel.
- Heß, J. 1995: Residualer Stickstoff aus mehrjährigem Feldfutterbau: Optimierung seiner Nutzung durch Fruchtfolge und Anbauverfahren unter den Bedingungen des Ökologischen Landbaus. Habilitationsschrift, Universität Bonn. Wissenschaftlicher Fachverlag, Gießen.
- Heß, J., 1989: Klee grasumbruch im Organischen Landbau: Stickstoffdynamik im Fruchtfolgeglied „Klee gras-Klee gras-Weizen-Roggen. Dissertationsschrift, Universität Bonn.
- Isselstein, J., 1994: Zum futterbaulichen Wert verbreiteter Grünlandkräuter. Habilitationsschrift, Justus-Liebig-Universität Gießen.
- Jung, R. 2003: Stickstoff-Fixierleistung von Luzerne (*Medicago sativa* L.), Rotklee (*Trifolium pratense* L.) und Persischem Klee (*Trifolium resupinatum* L.) in Reinsaat und im Gemenge mit Poaceen. Experimentelle Grundlagen und Kalkulationsverfahren zur Ermittlung der Stickstoff-Flächenbilanz. Dissertationsschrift, Georg-August-Universität Göttingen.
- Kenyon, P. R., Morel, P.C.H., Corner-Thomas, R. A., Perez, H. L., Somasiri, S. C., Kemp, P. D., Morris, S. T., 2017: Improved per hectare production in a lamb finishing system using mixtures of red and white clover with plantain and chicory compared to ryegrass and white clover. *Small Ruminant Research* 151, 90–97.
- Leithold, G., Becker, K., Riffel, A., Schulz, F., Schmid-Eisert, A., Brock, C., 2015: Stickstoff und Schwefel im ökologischen Landbau. Praxis-Ratgeber für eine optimierte Versorgung von Ackerkulturen. Verlag Dr. Koester, Berlin, Deutschland.
- Lodge, G., Scott, J., Wheatley, W. 2011: Grassland farmers-opportunities, threats & realities. 26th annual conference of the Grassland Society of NSW Inc. Bathurst, N.S.W.: Grassland Society of NSW.
- Loges, R., 1998: Ertrag, Futterqualität, N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung und Vorfruchtwert von Rotklee- und Rotklee grasbeständen. Dissertationsschrift, Christian-Albrechts-Universität Kiel.
- Lorenz, A., 2017: Wie werden Ertrag und Qualität von Futterpflanzen insbesondere Deutsches Weidel gras (*Lolium perenne* L.), Welsches Weidel gras (*Lolium perenne* L.) und Spitzwegerich (*Plantago lanceolata* L.) bei Anbau im Gemenge mit Rotklee (*Trifolium pratense* L.) beeinflusst? Masterrarbeit im Fachgebiet Ökologischer Landbau, HTW Dresden.
- Müller, A., 2015: Einfluss des Gemengepartners Deutsches Weidel gras (*Lolium perenne* L.) beziehungsweise Spitzwegerich (*Plantago lanceolata* L.) auf den Ertrag und die Qualität von Rotklee (*Trifolium pratense* L.) im Futterbau. Bachelorarbeit im Fachgebiet Ökologischer Landbau, HTW Dresden.
- Pol, M., Schmidtke, K., Lewandowska, S., 2021: *Plantago lanceolata* – An overview of its agronomically and healing valuable features. *Open Agriculture*, 479-488. Doi:10.1515/opag-2021-0+035
- Pol, M., Potterat, O., Tröber, F., Lewandowska, S., Schmidtke, K., 2024: Rooting patterns and aucubin content of *Plantago lanceolata* varieties. *Scientific Reports* (under review), <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3748622/v1>
- Rauber, R., Liebenau, S., Friedrich, E., Schmidtke, K., 2008: Agronomic effects of underseeding ribwort plantain (*Plantago lanceolata* L.) in organically grown potatoes. *Pflanzenbauwissenschaften* 12, 32-40.
- Reiter, K., 2001: Einfluß langjährig differenzierter Bodenbearbeitung auf die N<sub>2</sub>-Fixierleistung von Erbse und Rotklee, ermittelt mit Hilfe einer großflächigen <sup>15</sup>N-Spurenanreicherung. Diss. (agr.) Universität Göttingen.
- Reiter, K., Schmidtke, K., Rauber, R., 2002: The influence of long-term tillage systems on symbiotic N<sub>2</sub> fixation of pea (*Pisum sativum* L.) and red clover (*Trifolium pratense* L.). *Plant and Soil* 238, 41-55.
- Schmidtke, K., 1997: Einfluß von Rotklee (*Trifolium pratense* L.) in Reinsaat und Gemenge mit Poaceen auf symbiontische N<sub>2</sub>-Fixierung, bodenbürtige N-Aufnahme und CaCl<sub>2</sub>-extrahierbare N-Fractionen im Boden. Diss (agr.) Universität Gießen.
- Schmidtke, K., 2001: Umweltgerechter Anbau von Leguminosen – Entwicklung und Anwendung eines Verfahrens zur Quantifizierung der N-Flächenbilanz (Az. 07312). Abschlussbericht des Forschungsvorhabens, gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück (Dezember 2001), 1-234.
- Skiba, M.W., George, T.S., Baggs, E.M., Daniell, T.J., 2011: Plant influence on nitrification. *Biochem. Soc. Trans.* 39, 275-278.
- Somasiri, S. C., Kenyon, P. R., Kemp, P. D., Morel, P.C.H., Morris, S. T., 2015: Growth performance and carcass characteristics of lambs grazing forage mixes inclusive of plantain (*Plantago lanceolata* L.) and chicory (*Cichorium intybus* L.). *Small Ruminant Research* 127, 20–27.
- Stopes, C., E.I. Lord, E.L., L. Philipps, L., Woodward, L., 2002: Nitrate leaching from organic farms and conventional farms following best practice. *Soil Use and Management* 18, 256-263.

Subbarao, G.V., Sahrawat, I.O., Berry, K.L., Nakahara, W.L., K, Ishikawa, T., Watanabe T., Suenaga, K., Rondon, M., Rao, I.M. 2006: Scope and strategies for regulation of nitrification in agricultural systems—challenges and opportunities. *Crit. Rev. Plant Sci.* 25, 1–33.

## 10 Übersicht Veröffentlichungen zum Projekt

Pol, Michal, Schmidtke, Knut, Lewandowska, Sylwia (2021) *Plantago lanceolata* – An overview of its agronomically and healing valuable features. *Open Agriculture*, 479-488. Doi:10.1515/opag-2021-0+035

Pol, Michal, Potterat, Olivier, Tröber, Florian, Lewandowska, Sylwia, Schmidtke, Knut (2024) Rooting patterns and aucubin content of *Plantago lanceolata* varieties. *Scientific Reports* (under review), <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3748622/v1>

Tröber, Florian, Schmidtke Knut (2022) Mit Spitzwegerich zu mehr Futter und weniger Nitrat auswaschung. *BioTopp* 3/2022, 32-33.

Tröber, Florian; Scholz, Martin, Schmidtke, Knut (2023) Mit Spitzwegerich zu höherer Klimaresilienz und geringeren N-Verlusten im Futterbau? In: Bibic, Vanessa, Schmidtke, Knut (Hrsg.) *One Step Ahead - einen Schritt voraus! Beiträge zur 16. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau*, Frick (CH), 7. bis 10. März 2023, Verlag Dr. Köster, Berlin, <https://orgprints.org/id/eprint/50674/>

Video zum Projekt:



<https://www.youtube.com/watch?v=XeKQrMvOxh8>

<https://www.youtube.com/watch?v=To3c99B53Yo>

Die Autoren danken Martin Scholz und vielen studentischen Hilfskräften für die Mitarbeit im Projekt und Dr. Guido Lux für die Unterstützung des Vorhabens. Danken möchten die Autoren auch den beiden landwirtschaftlichen Betrieben in Struppen und Caßlau, die Ackerflächen für die Durchführung der Versuche zur Verfügung gestellt haben.

## 11 Anhang

### 1. Schnitftermin Futterbestände am 02.06.2021 am Standort Struppen





WG 50 % / RK 50 %



SW 50 % / RK 50 %



WG 25 % / RK 75 %



SW 25 % / RK 75 %



RK 100%

1. Schnitftermin Futterbestände am 30.05.2021 am Standort Caßlau

	
WG 100 %	SW 100 %
	
WG 75 % / RK 25 %	SW 75 % / RK 25 %
	
WG 50 % / RK 50 %	SW 50 % / RK 50 %



WG 25 % / RK 75 %



SW 25 % / RK 75 %



RK 100%

2. Schnittermin Futtebestände am 08.07.2021 am Standort Struppen



WG 100 %



SW 100 %



WG 75 % / RK 25 %



SW 75 % / RK 25 %



WG 50 % / RK 50 %



SW 50 % / RK 50 %



WG 25 % / RK 75 %



SW 25 % / RK 75 %



RK 100%

2. Schnitftermin Futterbestände am 06.07.2021 am Standort Caßau



WG 100 %



SW 100 %



WG 75 % / RK 25 %



SW 75 % / RK 25 %



WG 50 % / RK 50 %



SW 50 % / RK 50 %



WG 25 % / RK 75 %



SW 25 % / RK 75 %



RK 100%

### 3. Schnitttermin Futterbestände am 19.08.2021 am Standort Struppen



WG 100 %



SW 100 %



WG 75 % / RK 25 %



SW 75 % / RK 25 %



WG 50 % / RK 50 %



SW 50 % / RK 50 %



WG 25 % / RK 75 %



SW 25 % / RK 75 %



RK 100%

Futterbestände vor Umbruch am 29.11.2021 am Standort Caßau



WG 100 %



SW 100 %



WG 75 % / RK 25 %



SW 75 % / RK 25 %



WG 50 % / RK 50 %



SW 50 % / RK 50 %



WG 25 % / RK 75 %



SW 25 % / RK 75 %



RK 100%

Winterweizenbestand am 10.07.2021 am Standort Struppen



WG 100 %



SW 100 %



WG 75 % / RK 25 %



SW 75 % / RK 25 %



WG 50 % / RK 50 %



SW 50 % / RK 50 %



WG 25 % / RK 75 %



SW 25 % / RK 75 %

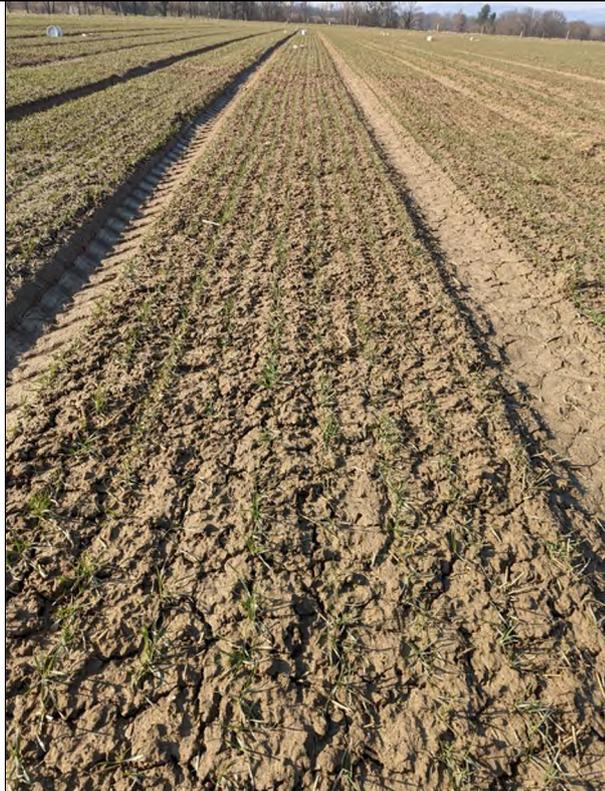


RK 100%

Winterweizenbestand am 03.03.2022 am Standort Struppen



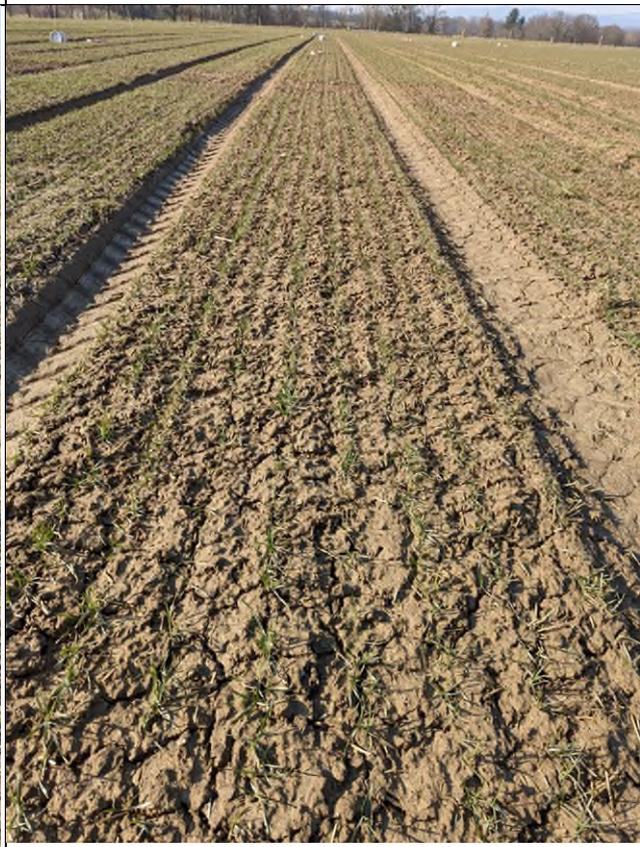
WG 100 %



SW 100 %



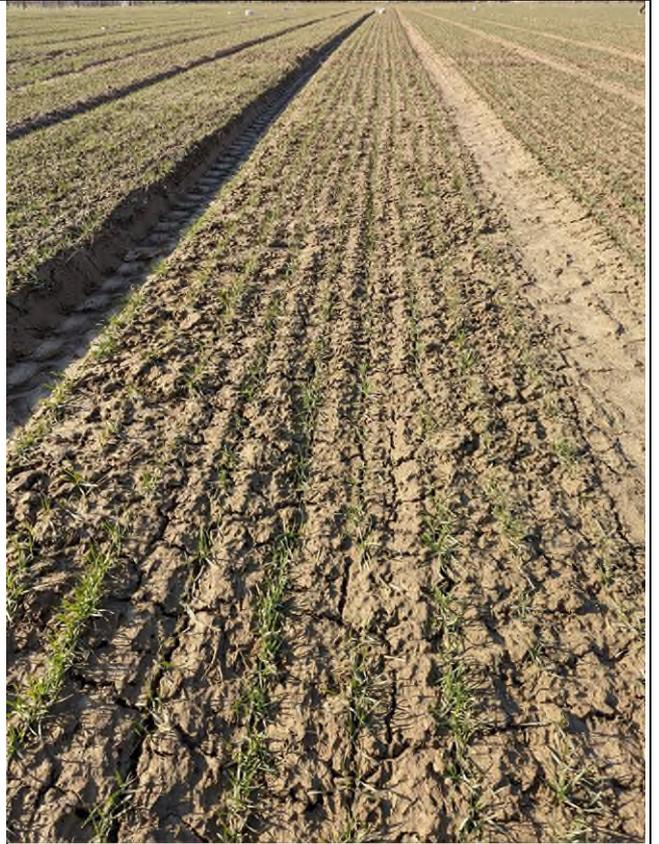
WG 75 % / RK 25 %



SW 75 % / RK 25 %



WG 50 % / RK 50 %



SW 50 % / RK 50 %



WG 25 % / RK 75 %



SW 25 % / RK 75 %



RK 100%

Winterweizenbestand am 12.04.2022 am Standort Struppen



WG 100 %



SW 100 %



WG 75 % / RK 25 %



SW 75 % / RK 25 %



WG 50 % / RK 50 %



SW 50 % / RK 50 %



WG 25 % / RK 75 %



SW 25 % / RK 75 %



RK 100%

Winterweizenbestand am 03.05.2022 am Standort Struppen



WG 100 %



SW 100 %



WG 75 % / RK 25 %



SW 75 % / RK 25 %



WG 50 % / RK 50 %



SW 50 % / RK 50 %



WG 25 % / RK 75 %



SW 25 % / RK 75 %



RK 100%

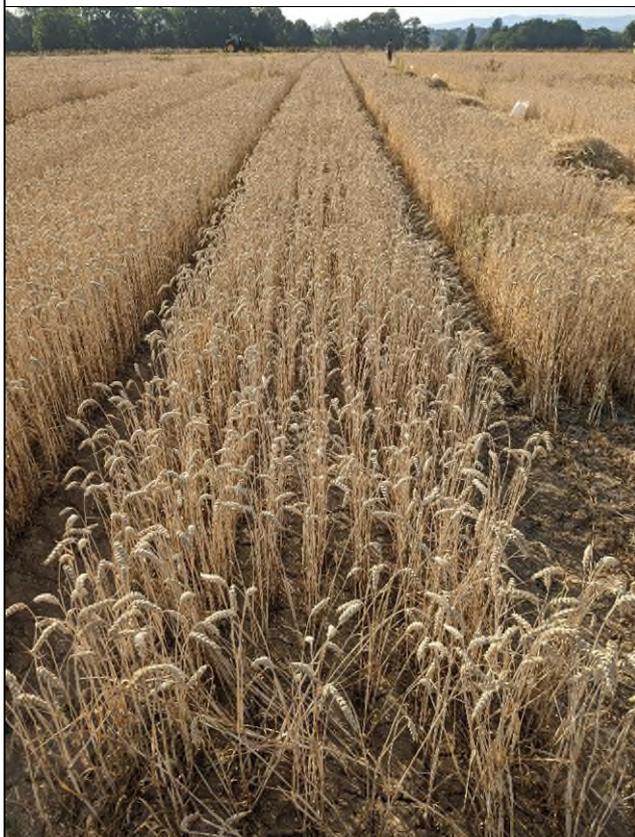
Winterweizenbestand am 28.07.2022 am Standort Struppen



WG 100 %



SW 100 %



WG 75 % / RK 25 %



SW 75 % / RK 25 %



WG 50 % / RK 50 %



SW 50 % / RK 50 %



WG 25 % / RK 75 %



SW 25 % / RK 75 %



RK 100%