

**Institution**

Deutscher Wetterdienst
Zentrum für Agrarmeteorologische Forschung (ZAMF)
Bundesallee 50
38116 Braunschweig

Projekttitle

„Evaluierung und Validierung der bestehenden Modelle für Bodenfeuchte und Stickstoffhaushalt unter Berücksichtigung der zukünftig veränderten klimatischen Bedingungen in Hessen“

Laufzeit

5/2012 - 12/2014

Projektleitung

Franz-Josef Löpmeier

Projektbearbeitung

Franz-Josef Löpmeier, Roland Hennings

Auftraggeber

Fachzentrum Klimawandel Hessen
im Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie

Projektbetreuung

Fachzentrum Klimawandel Hessen

Braunschweig, August 2015



Forschungsprogramm INKLIM-A und weitere Projekte

Inhalt

1. Ziele	2
2. Beschreibung der Vorgehensweise und Probleme	3
3. Ergebnisse	5
3.1 Bodenfeuchte	5
3.1.1 Messdaten 2012-2014	5
3.1.2 Anwendung mit Klimamodellergebnissen	13
3.1.3 Bewertung der Ergebnisse zur Bodenfeuchte	17
3.2 Stickstoffhaushalt	17
3.2.1 Vorgehensweise	17
3.2.2 Bewertung der Ergebnisse zum Stickstoffhaushalt	18
4. Zusammenfassung	32
5. Literaturverzeichnis	33

1. Ziele

Ziel des Vorhabens war es, am Beispiel einiger Standorte in Hessen Bewertungen zum Wasser- und Stickstoffhaushalt sowohl in der Vergangenheit als auch unter dem Aspekt des zukünftigen Klimawandels durchzuführen. Die Ergebnisse sollten einerseits für politische Entscheidungsträger und andererseits für die landwirtschaftliche Praxis zur Verfügung gestellt werden. Als Kern des Projektes waren Messungen des Wasser- und Stickstoffhaushaltes einschließlich der notwendigen Randbedingungen durch den Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen (LLH) sowie die Anwendung von agrarmeteorologischen Modellen unter Verwendung von historischen Messdaten und Daten von diversen Klimamodellen bis zum Jahr 2100 durch den Deutschen Wetterdienst [DWD, Zentrum für Agrarmeteorologische Forschung (ZAMF) Braunschweig] geplant. Basis für die Berechnungen war das Wasserhaushaltsmodell AMBAV mit den für die Böden und die Standorte angepassten Parametrisierungen sowie das Stickstoffmodell HERMES (KERSEBAUM, 1989).

2. Beschreibung der Vorgehensweise und Probleme

Geplant war, das Modell AMBAV an die drei Messstandorte Leeheim, Hof Lauterbach und Nieder-Weisel des LLH anzupassen und mit der so kalibrierten Version, unter Verwendung der Zukunftsdaten der zur Verfügung stehenden Klimamodelle, Aussagen für die Zukunft zu generieren. Als Basis für die Bodenfeuchtemessungen waren die im Projekt von dem LLH beschafften FDR-Sonden geplant. Im Rahmen des Vorhabens tauchten jedoch verstärkt Zweifel an der Zuverlässigkeit dieser Messsysteme auf, insbesondere was die absoluten Wassergehalte betraf. Der Standort Leeheim wurde aufgrund extremer Bodenbedingungen nicht weiter betrachtet. In einem dazu gesonderten kleinen Workshop an der FH Geisenheim 2012 und dem INKLIM-A- Workshop 2012 wurden diese Probleme diskutiert und werden in der folgenden Abbildung deutlich.

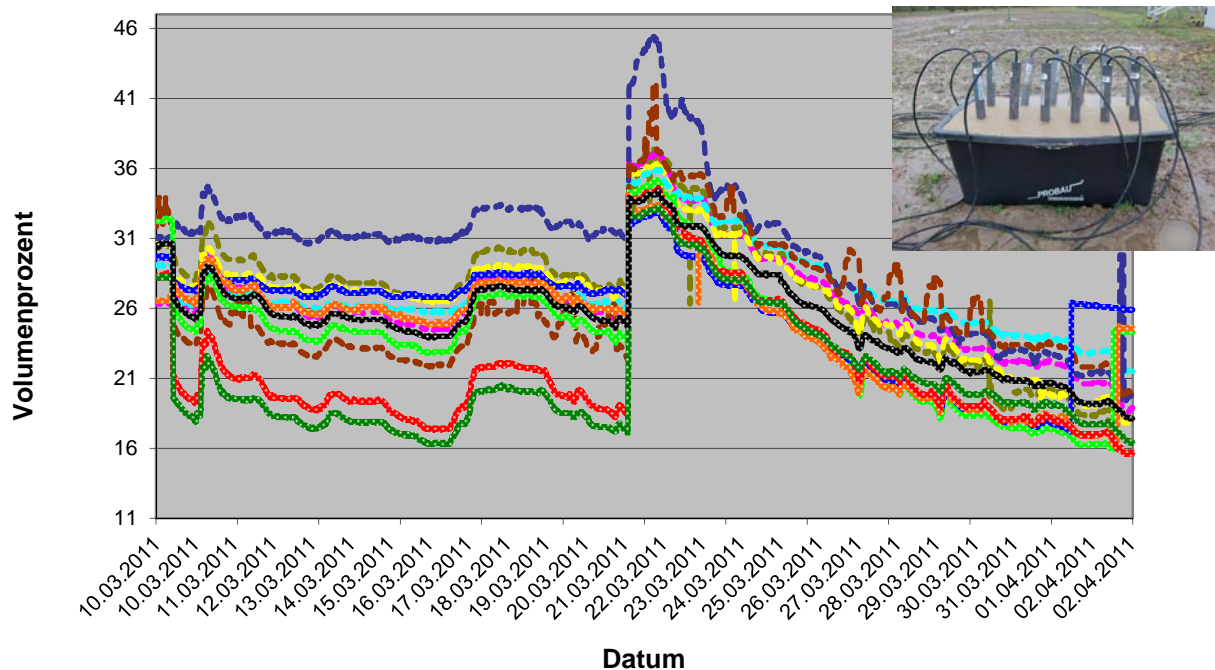


Abb. 1 : Vergleich von TDR-Messungen

Jede der dargestellten Linien zeigt den Wassergehalt von zuvor angeeichteten TDR-Sonden (vergleichbar FDR-Sonden), die in einem absolut homogenen Sandboden (siehe Abb. Ecke oben rechts) installiert waren. Die Sonden zeigen offensichtlich erhebliche Unterschiede, die physikalisch nicht plausibel sind. Diese Erkenntnisse führten in diesem Projekt dazu, die Messungen der FDR-Sonden für Auswertungen der relativen Wassergehaltsänderungen zu nutzen und die Bestimmung der absoluten Wassergehalte zusätzlich über Bohrstockproben durchzuführen. In diesem Zusammenhang sollte betont werden, dass in vielen wissenschaftlichen Experimenten und Projekten die Anwendung von TDR- und FDR-Sonden erfolgt und in vielen Fällen die extremen Probleme dieser Messungen nicht oder nur beiläufig berücksichtigt werden. Da die Bohrstockproben mit einem hohen personellen Aufwand verbunden sind, der hier durch die große räumliche Entfernung noch erhöht wurde, konnten diese Beprobungen nur in größeren zeitlichen Abständen erfolgen.

Ein weiteres Problem entstand durch die Niederschlagsmessungen. Einerseits sollten die Messungen möglichst nah am Standort erfolgen, also im Idealfall am Feldrand der Probenahmestelle, andererseits sind kontinuierliche Messreihen erforderlich. Der Ausfall der Messungen einiger Tage während einer Niederschlagsperiode oder Zweifel an den Messungen, z.B. bei durch Vogelkot verschmutzten Messgeräten, können die Messreihe erheblich stören. Dem Vorteil der vorbildlich gewarteten Messgeräte des DWD steht jedoch der Nachteil der größeren Entfernung gegenüber, daher wurde in den Einzeljahren die Auswahl der verwendeten Daten individuell abgewogen. Aus diesem Grund erfolgten die folgenden Berechnungen der Bodenfeuchte einerseits mit den Niederschlagsmessungen der Messstationen des LLH vor Ort, andererseits auch mit den Messungen des Niederschlags nahegelegener Stationen des DWD.

Die Abb. 2 zeigt am Beispiel des Jahres 2014 und der Daten der Station Gießen bzw. Nieder-Weisel die Problematik.

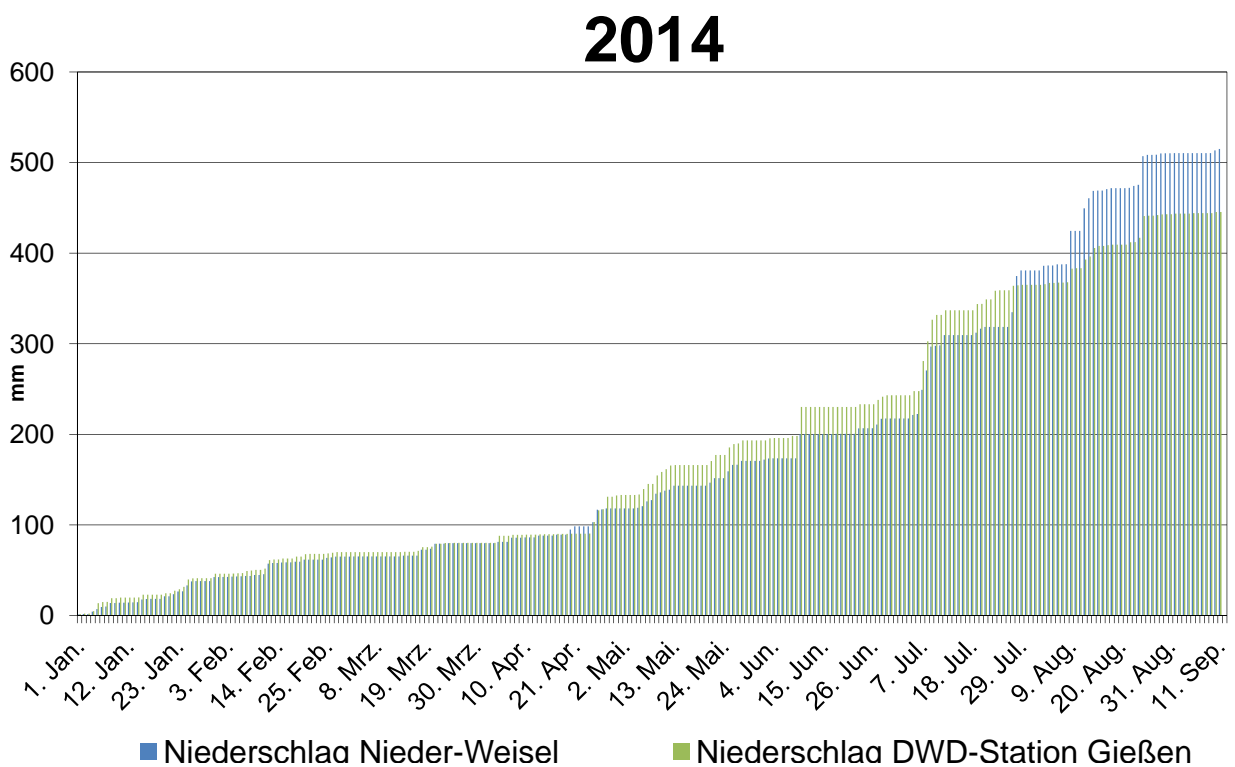


Abb.2 : Vergleich kumulierter Niederschlag Nieder-Weisel zu Gießen 2014 (Entfernung der Messstationen ca. 20 km)

3. Ergebnisse

3.1 Bodenfeuchte

3.1.1 Messdaten 2012-2014

Über die Betrachtung von diversen Modellböden ergaben sich für den Standort Lauterbach die Bodenart Lu, für den Standort Nieder-Weisel der Boden Ls4 als am besten geeignet, die gemessenen Bodenfeuchteverläufe zu beschreiben. Die folgenden Abbildungen zeigen die berechneten Bodenfeuchten für die zwei Standorte Lauterbach und Nieder-Weisel, zunächst in der Vergangenheit, für die Böden Lu bzw. Ls4. Bei dem Boden Lu handelt es sich um einen schluffigen Lehm mit einer Feldkapazität von 222 mm, der Boden Ls4 besitzt als stark sandiger Lehm eine Feldkapazität von 198 mm, jeweils bezogen auf die Schicht von 0-60 cm. In den Abbildungen sind ebenfalls die jeweiligen Messungen der Bohrstockproben und der FDR-Sonden dargestellt. Bei den FDR-Sonden wurden tägliche oder wöchentliche Mittelwerte über 0-60 cm Tiefe verrechnet. Die berechneten Ergebnisse basieren auf dem **Soil-Vegetation-Atmosphere-Transfer (SVAT)**-Modell AMBAV. Grundlage ist die Penman-Monteith-Beziehung und die Parametrisierung der Pflanzen- und Bodenparameter auf der Basis von Lysimetermessungen und Bodenfeuchtemessreihen. Die Behandlung des Bodenwasserhaushalts erfolgt über ein Bodenwassermodell, das auch im Modell AMBETI (siehe BRADEN, 1995) Anwendung findet. Der Einsatz des Modells AMBAV (siehe FRIESLAND et al., 2007) erfolgt schon seit ca. 20 Jahren in der praktischen Berechnungsberatung im östlichen Niedersachsen.

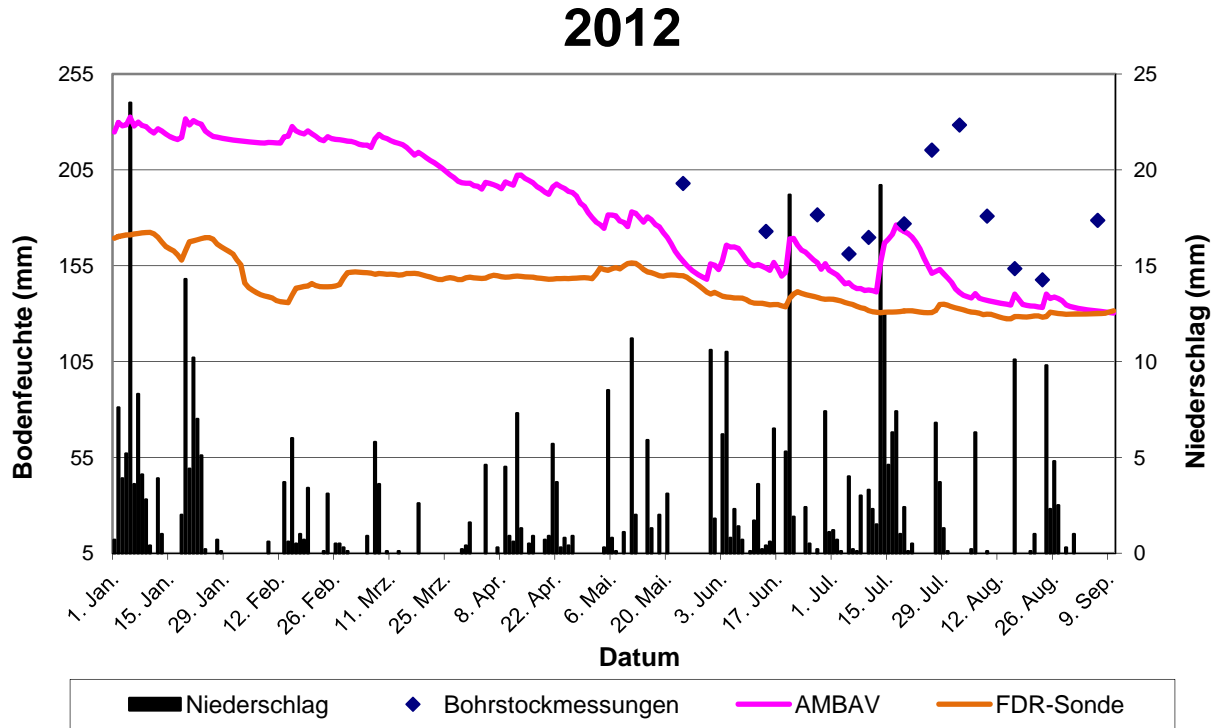


Abb. 3: Bodenfeuchte (mm) Lu, Gras, Lauterbach, Niederschlag DWD-Station Kassel

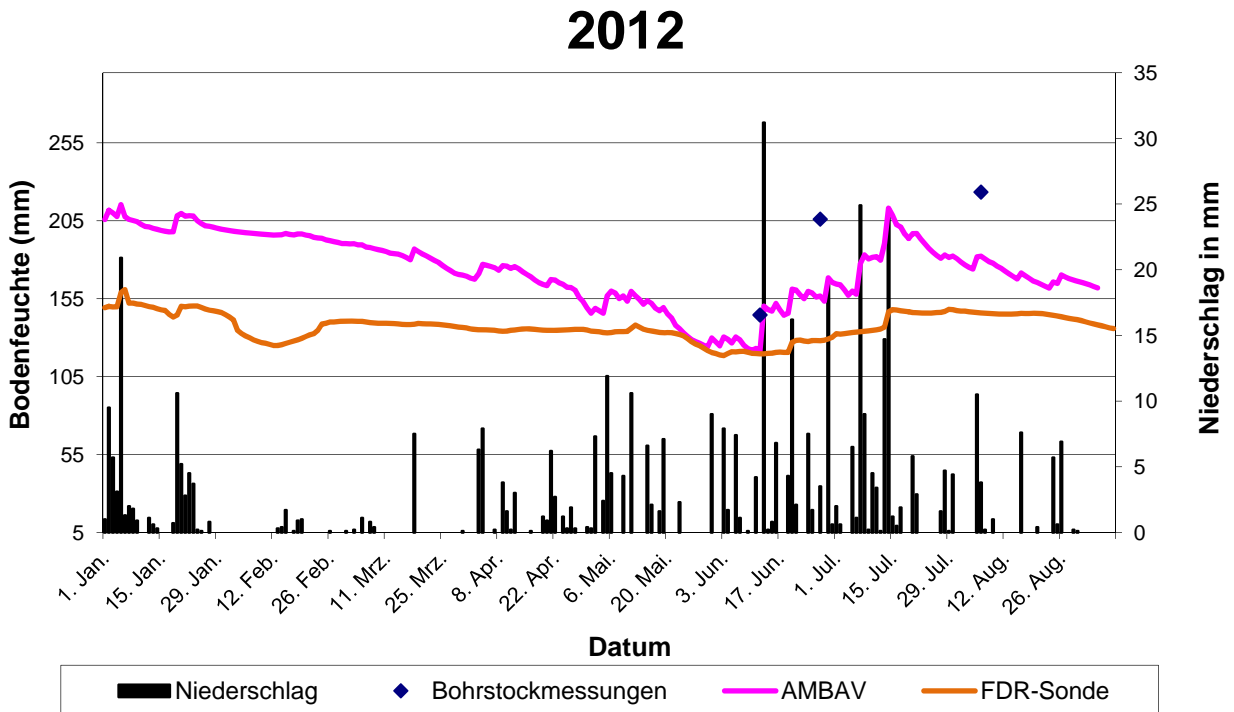


Abb. 4: Bodenfeuchte (mm) Ls4, Wintergerste, Nieder-Weisel, Niederschlag DWD-Station Gießen

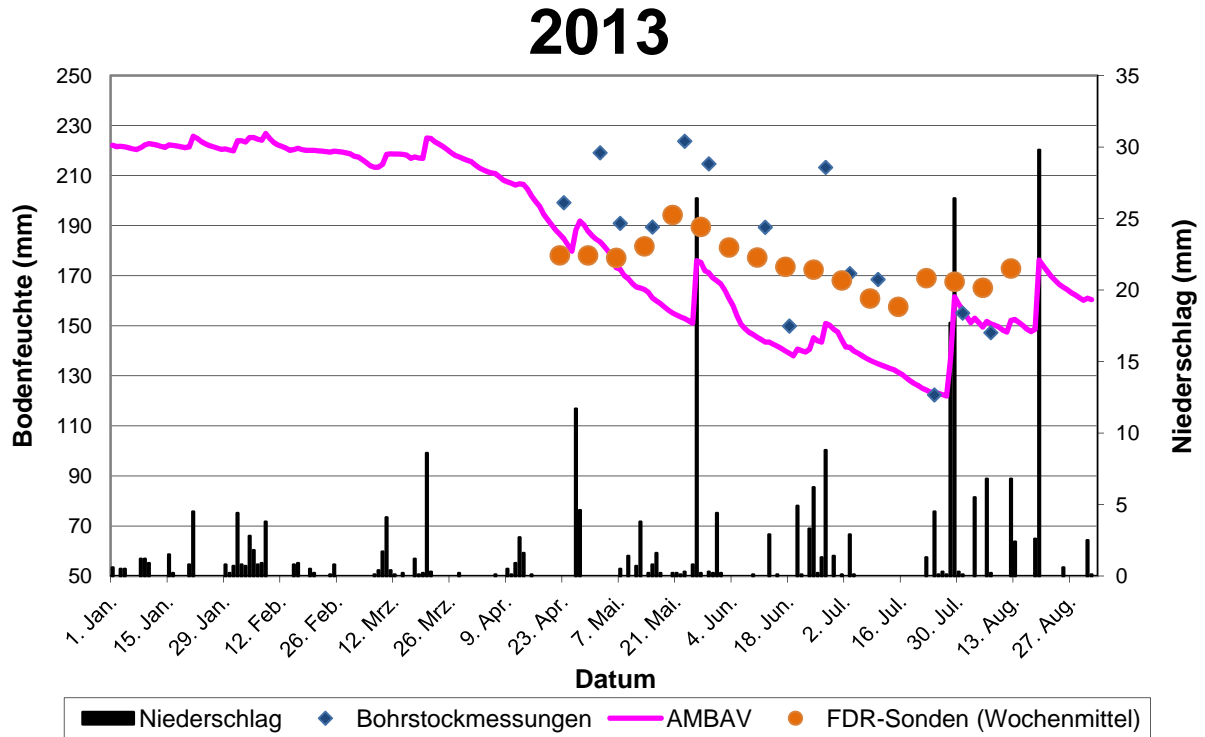


Abb. 5 a: Bodenfeuchte (mm) Lu, Wintergerste, Lauterbach, Niederschlag Lauterbach

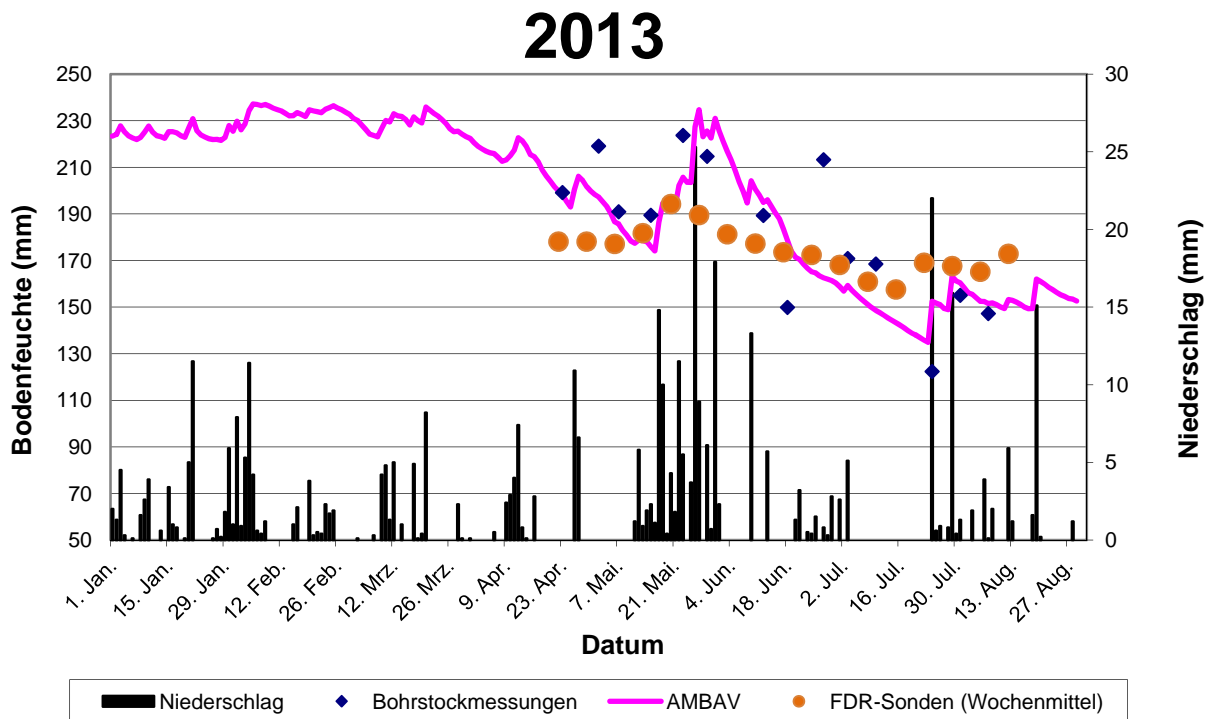


Abb. 5 b: Bodenfeuchte (mm) Lu, Wintergerste, Lauterbach, Niederschlag DWD-Station Kassel

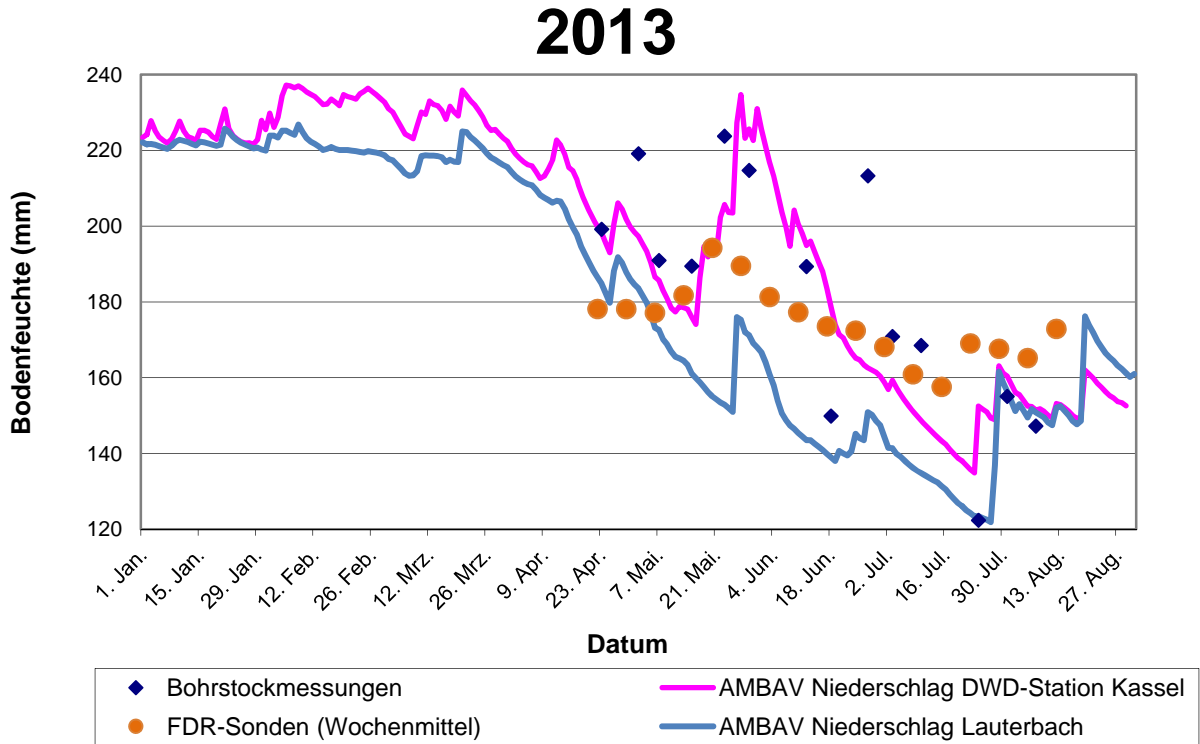


Abb. 5 c: Bodenfeuchte (mm) Lu, Wintergerste, Lauterbach

Die Abb. 5 c macht deutlich, wie groß die Unterschiede in den Berechnungen bei Verwendung verschiedener Niederschlagsmessungen sein können.

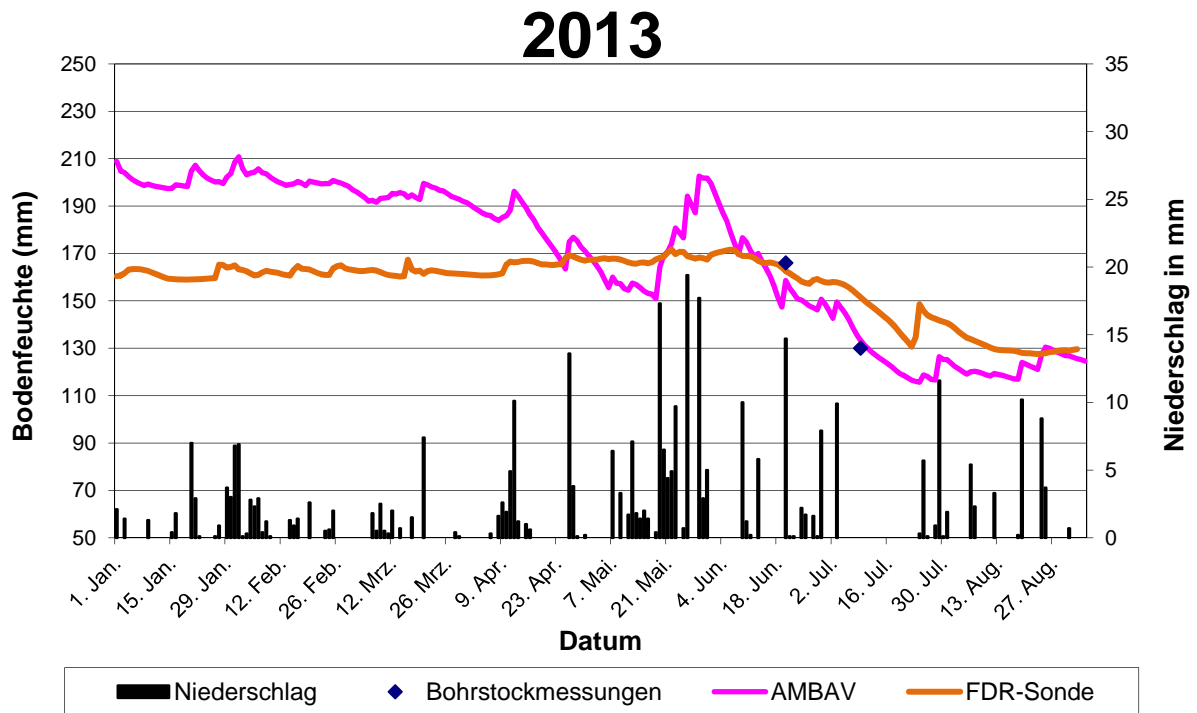


Abb.6 a: Bodenfeuchte (mm) Ls4, Kartoffeln, Nieder-Weisel, Niederschlag DWD-Station Gießen

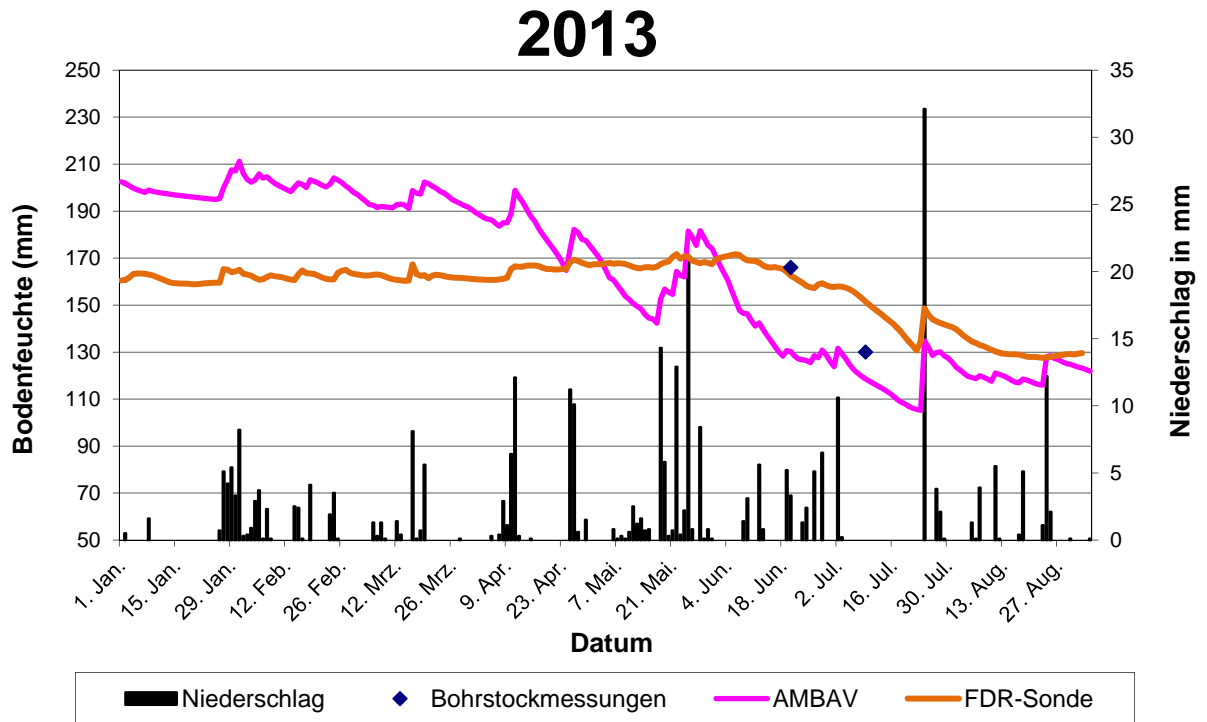


Abb. 6 b: Bodenfeuchte (mm) Ls4, Kartoffeln, Nieder-Weisel, Niederschlag Nieder-Weisel

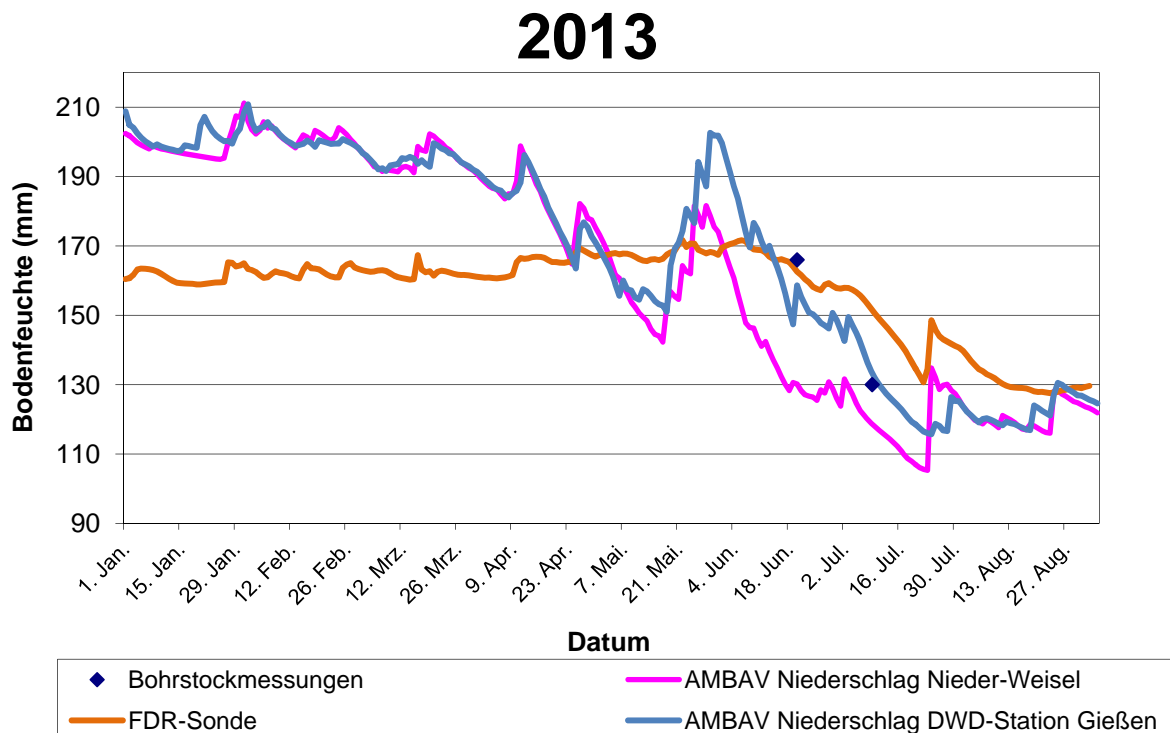


Abb. 6 c: Bodenfeuchte (mm) Ls4, Kartoffeln, Nieder-Weisel

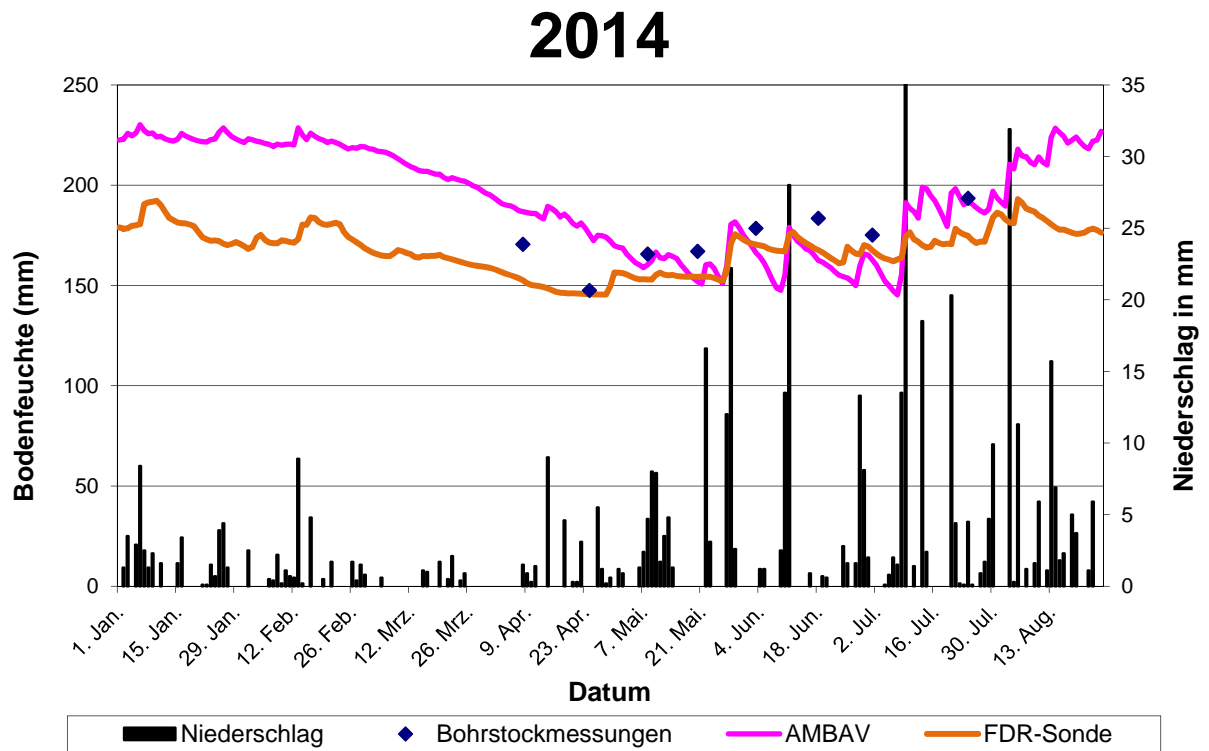


Abb. 7 a: Bodenfeuchte (mm) Lu, Winterraps, Lauterbach, Niederschlag DWD-Station Kassel

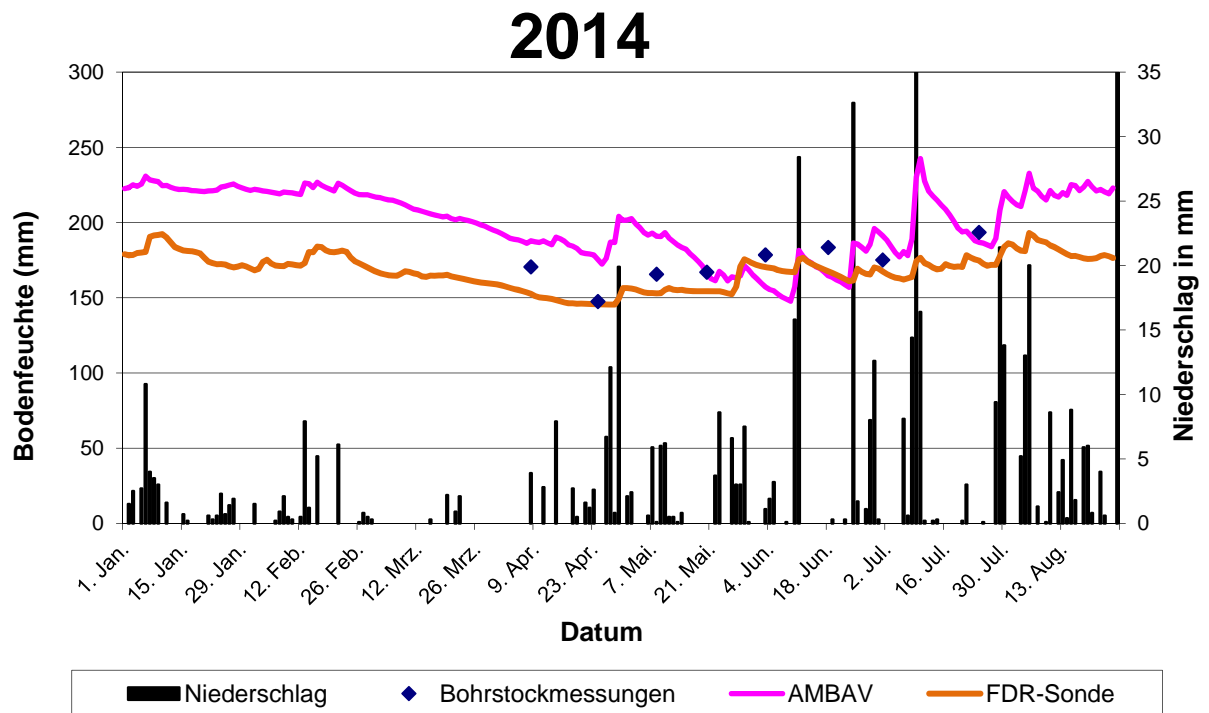


Abb. 7 b: Bodenfeuchte (mm) Lu, Winterraps, Lauterbach, Niederschlag Lauterbach

2014

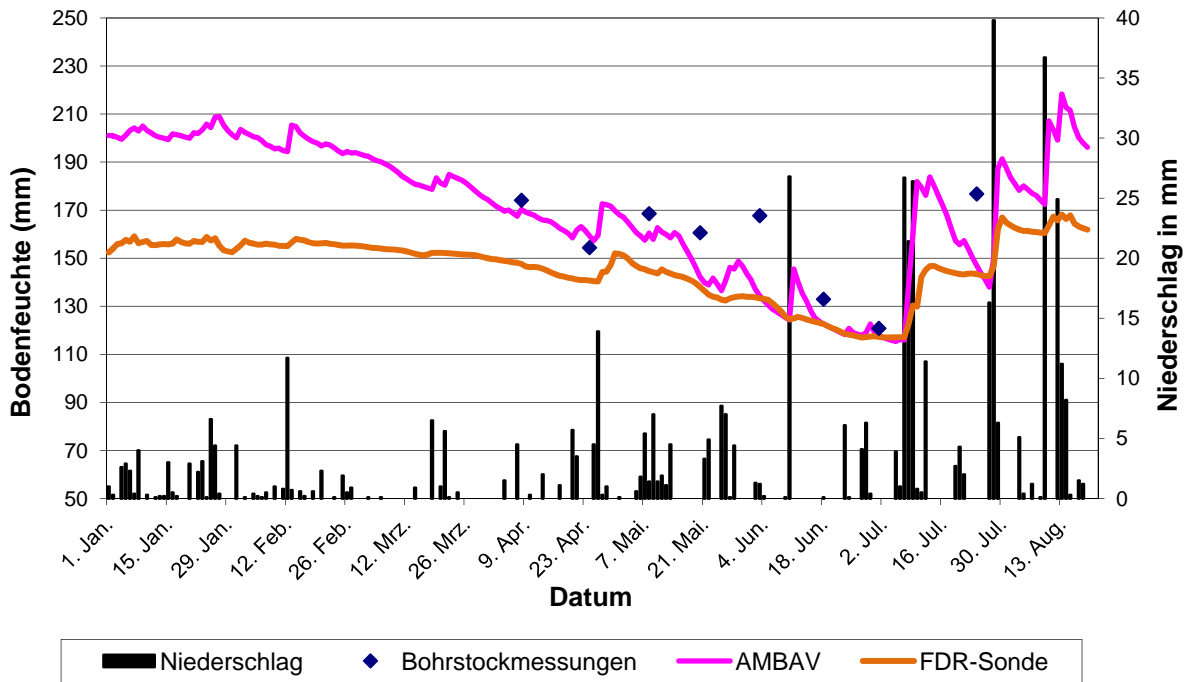


Abb. 8 a: Bodenfeuchte (mm) Ls4, Winterweizen, Nieder-Weisel, Niederschlag Nieder-Weisel

2014

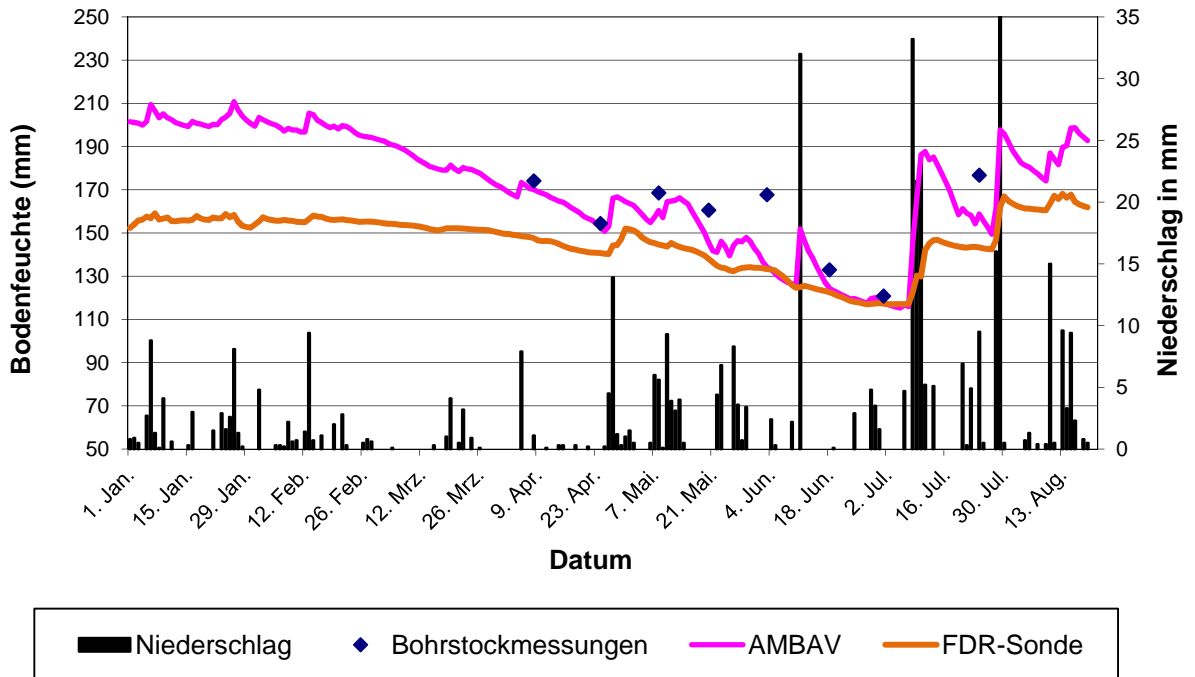


Abb. 8 b: Bodenfeuchte (mm) Ls4, Winterweizen, Nieder-Weisel, Niederschlag DWD-Station Gießen

In allen Jahren wird die Problematik deutlich, dass in den meisten Fällen die Bohrstockmessungen nicht mit den Absolutwerten der FDR-Sonden übereinstimmen. Auch die zeitliche Variation der FDR-Sonden weist keine direkte Korrelation zu den von AMBAV berechneten Werten der Bodenfeuchte auf. Auch zu erwartende Reaktionen der Bodenfeuchte auf relevante Niederschlagsereignisse werden z.T. nicht von den FDR-Sonden abgebildet. Insofern mussten die Bohrstockproben als die gemessene Referenz der Messungen angesehen werden.

Diese Auswahl sowie sonstige Anpassungen, wie z.B. die Wahl der Wurzeltiefen und die Wahl der geeigneten charakteristischen phänologischen Stadien erfolgten auf der Basis der Messungen und Berechnungen der Jahre 2012/2013 und schwerpunktmäßig auf der Grundlage der Ergebnisse 2014. Die Anwendung des Modells AMBAV in Lauterbach 2012 war dadurch eingeschränkt, dass für die angebaute Kultur Grasvermehrung keine Parametrisierungen aus der Vergangenheit für die Pflanzenparameter wie LAI, Durchwurzelung oder den Bulk-Stomata-Widerstand vorlagen.

Insgesamt betrachtet können die Ergebnisse der Berechnungen als zufriedenstellend angesehen werden und erlauben Modellanwendungen unter dem Gesichtspunkt der Mittelung über 30-jährige Zeiträume, auch für die Zukunft.

Die geringe Anzahl der Jahre und die geringe zeitliche Auflösung der Bohrstockproben im Zwei- bis Drei-Wochen-Rhythmus sowie die teilweise geringe Probenzahl erzeugen jedoch Unsicherheiten.

Auch die fehlende fachliche Präsenz vor Ort, das Nachvollziehen bestimmter Arbeitsmaßnahmen und die geringen Erfahrungen mit der Heterogenität des Bodens etc. hinterlassen natürlich Probleme.

Die Abb. 9 stellt für das Jahr 2014 ähnliche Berechnungen und Bohrstockmessungen dar, die am Standort des ZAMF für einen leichten Boden durchgeführt wurden. Damit wird die Güte des Modells belegt.

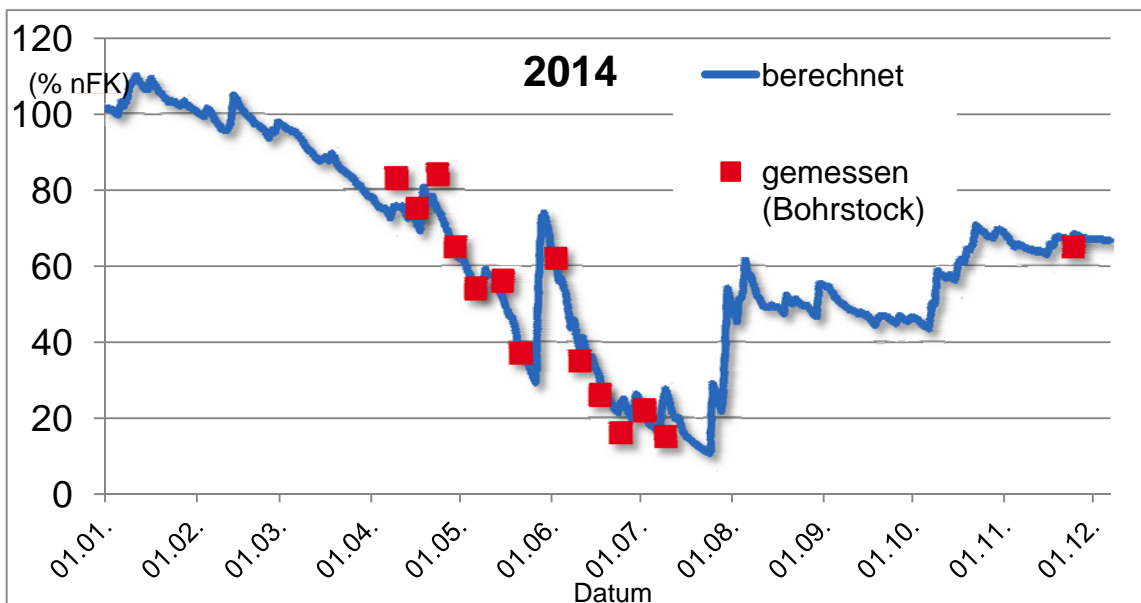


Abb. 9: Verlauf der berechneten und gemessenen Bodenfeuchten für den Standort ZAMF Braunschweig (Boden SI3, Winterweizen)

3.1.2 Anwendung mit Klimamodellergebnissen.

Basierend auf den oben vorgestellten Parametrisierungen von AMBAV wurde die Verrechnung der Ergebnisse von 16 Klimamodellen jeweils mit dem Szenario A1B durchgeführt. Die Anwendungen erfolgten, wie für die aktuellen Zeiträume, für die beiden Böden Lu und Ls4 jeweils für die beiden Standorte und jeweils für Winterweizen und Winterraps. Als meteorologischer Datensatz wurde bei den statistischen Modellen STAR und WETTREG 2006 entweder die Stützstelle von Gießen bzw. von Kassel verwendet oder die nahegelegenen Gitterpunkte bei den dynamischen Modellen.

Die Abbildungen 10 und 11 stellen zunächst die Ergebnisse der Vergangenheit 1961-1990 für die Monate Juni (Winterraps) und Juli (Winterweizen) dar. Zusätzlich enthalten die Abbildungen die berechnete Bodenfeuchte unter Verwendung der jeweiligen meteorologischen Messungen (siehe grüne Säulen). Die Monate Juni und Juli wurden beispielhaft für die Aussagen gewählt, da sie etwa das Ende der Vegetationszeit für die Kulturen charakterisieren und der kumulative Effekt von Niederschlag und Verdunstung sich hier niederschlägt.

Vergleicht man die Berechnungen mit denen, in die die meteorologischen Messdaten eingegangen sind, werden die mittleren Bodenfeuchten mit den Eingangsparametern der Klimamodelle von der Mehrzahl der Modelle relativ gut abgebildet. Dabei verhalten sich die Werte zwischen Winterraps und Winterweizen in der Regel sehr ähnlich. Deutliche Ausreißer nach oben zeigen die mit den REMO-Daten berechneten Ergebnisse.

Insgesamt fällt auf, dass die Klimamodelle teilweise die Vergangenheit realistisch abbilden, einige aber mit Abweichungen von 50% nFK nach oben jedoch vollkommen unrealistische Werte liefern. Dass Lauterbach gegenüber Nieder-Weisel etwas feuchter ist, wird nahezu von allen Modellen erfasst. Wie zu erwarten, spiegeln die beiden statistischen Modelle die Realität 1961-1990 sehr gut wider.

Die Abbildungen 12 und 13 zeigen beispielhaft für die Ergebnisse der 16 Klimamodelle die Bodenfeuchte als 30-jährige Mittelwerte im 10-Jahres-Rhythmus von 1961-1990 beginnend bis zum Zeitraum 2071-2100. Dazu wurden die Ergebnisse der Klimamodelle 1961-1990 mit Hilfe der gemessenen Daten korrigiert und die für den jeweiligen Zeitraum berechneten Änderungstendenzen der einzelnen Klimamodelle addiert, d. h. eine einfache BIAS-Korrektur durchgeführt. Für einige Klimamodelle liegen die Daten nur bis zum Jahr 2098 vor. Zur besseren Übersichtlichkeit wurde jedoch für alle Ergebnisse der letzte 30-jährige Zeitabschnitt mit dem Zeitraum 2071-2100 bezeichnet. Die Ergebnisse werden einmal für den Raum Hof Lauterbach und den Boden Lu für Winterraps und entsprechend für den Raum Nieder-Weisel für Winterweizen und den Boden Ls4 dargestellt.

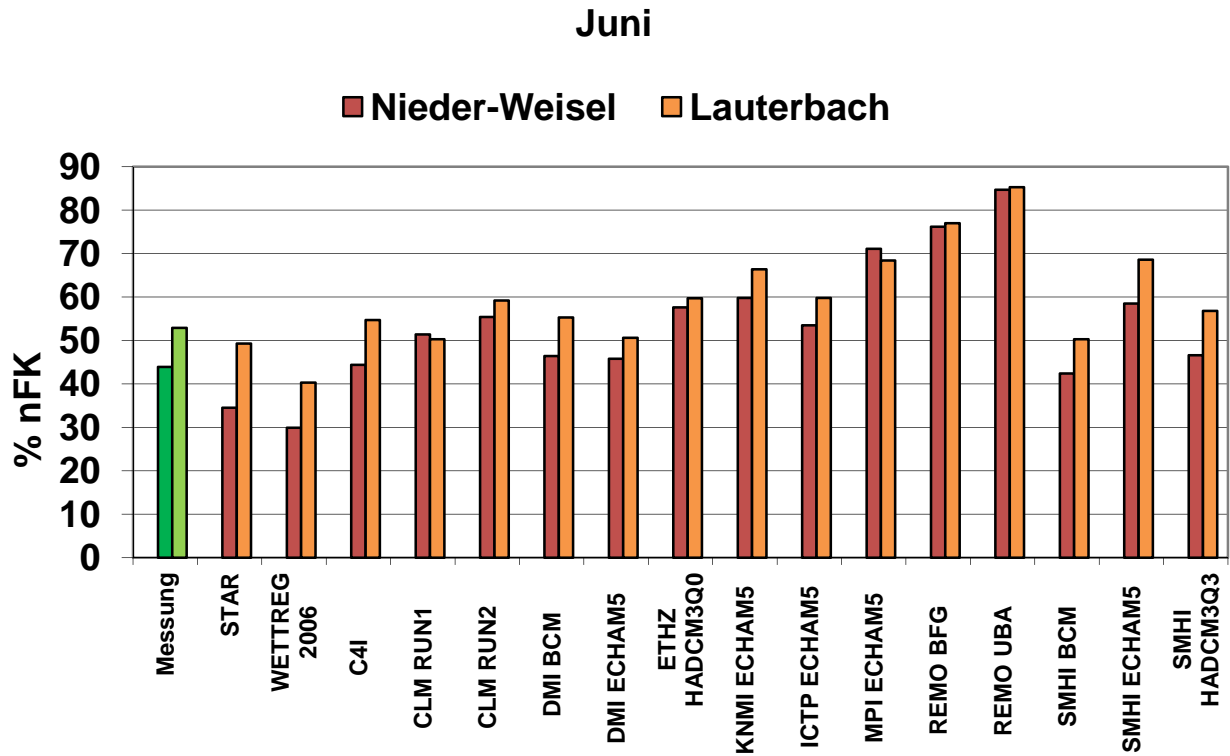


Abb. 10: Bodenfeuchte (%nFk) Lu, 1961-1990 Winterraps (Modell AMBAV)

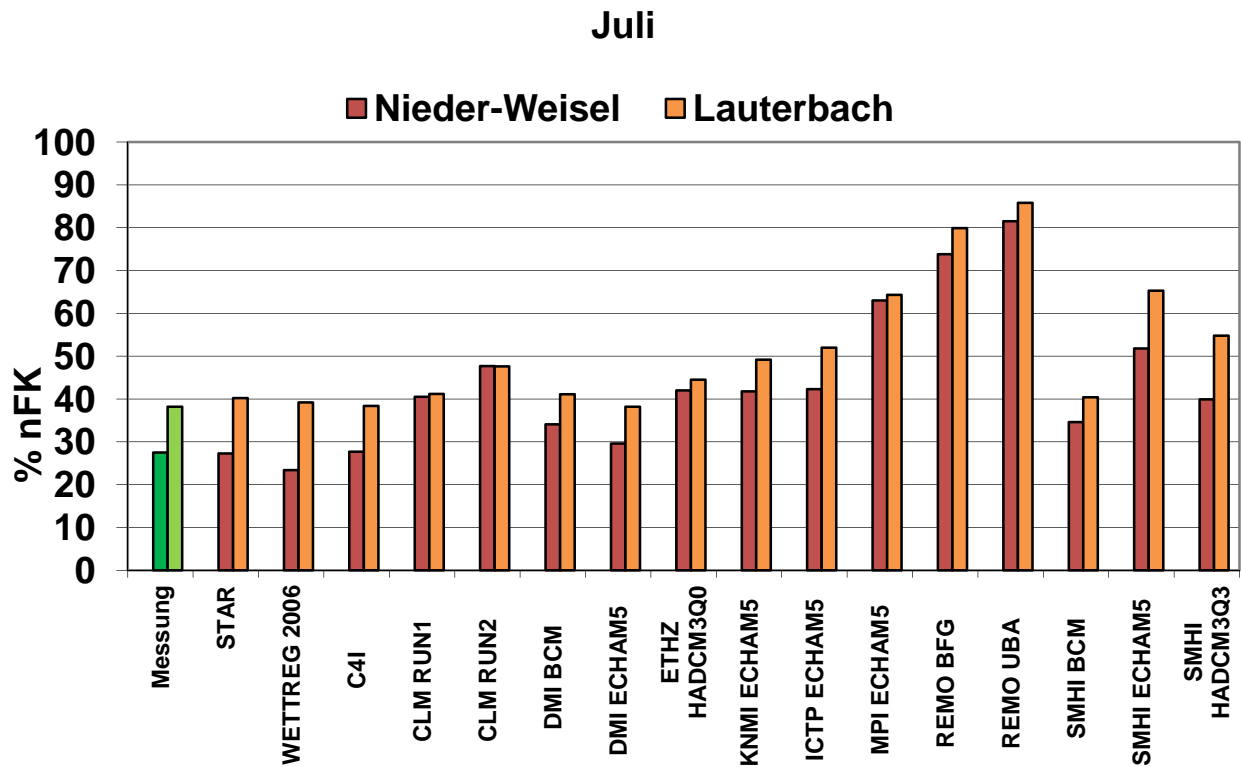


Abb. 11: Bodenfeuchte (%nFk) Ls4, 1961-1990 Winterweizen (Modell AMBAV)

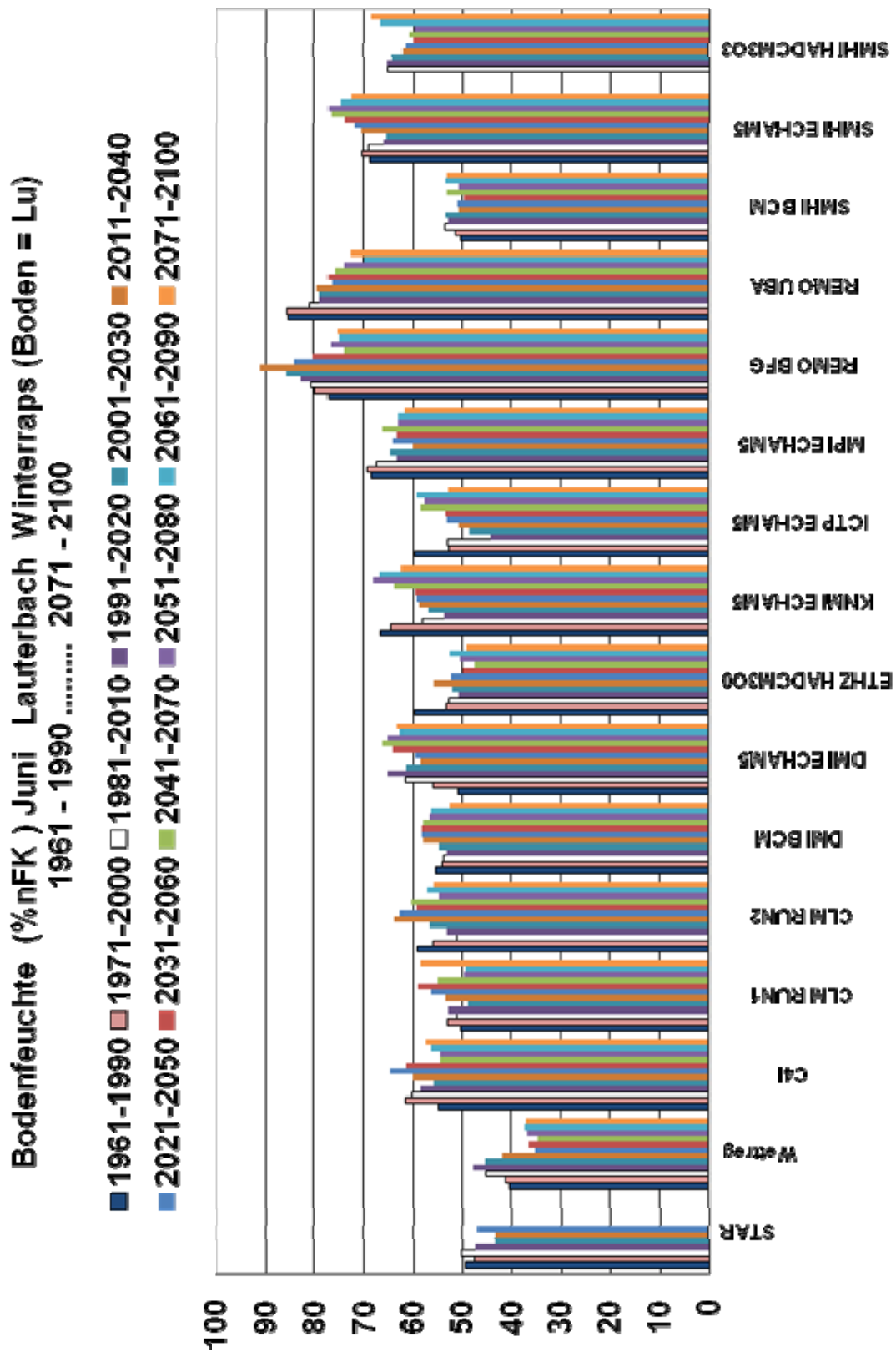


Abb. 12: 30-jährige Mittelwerte der Bodenfeuchte im 10-Jahres-Rhythmus, Winterraps (Modell AMBAV)

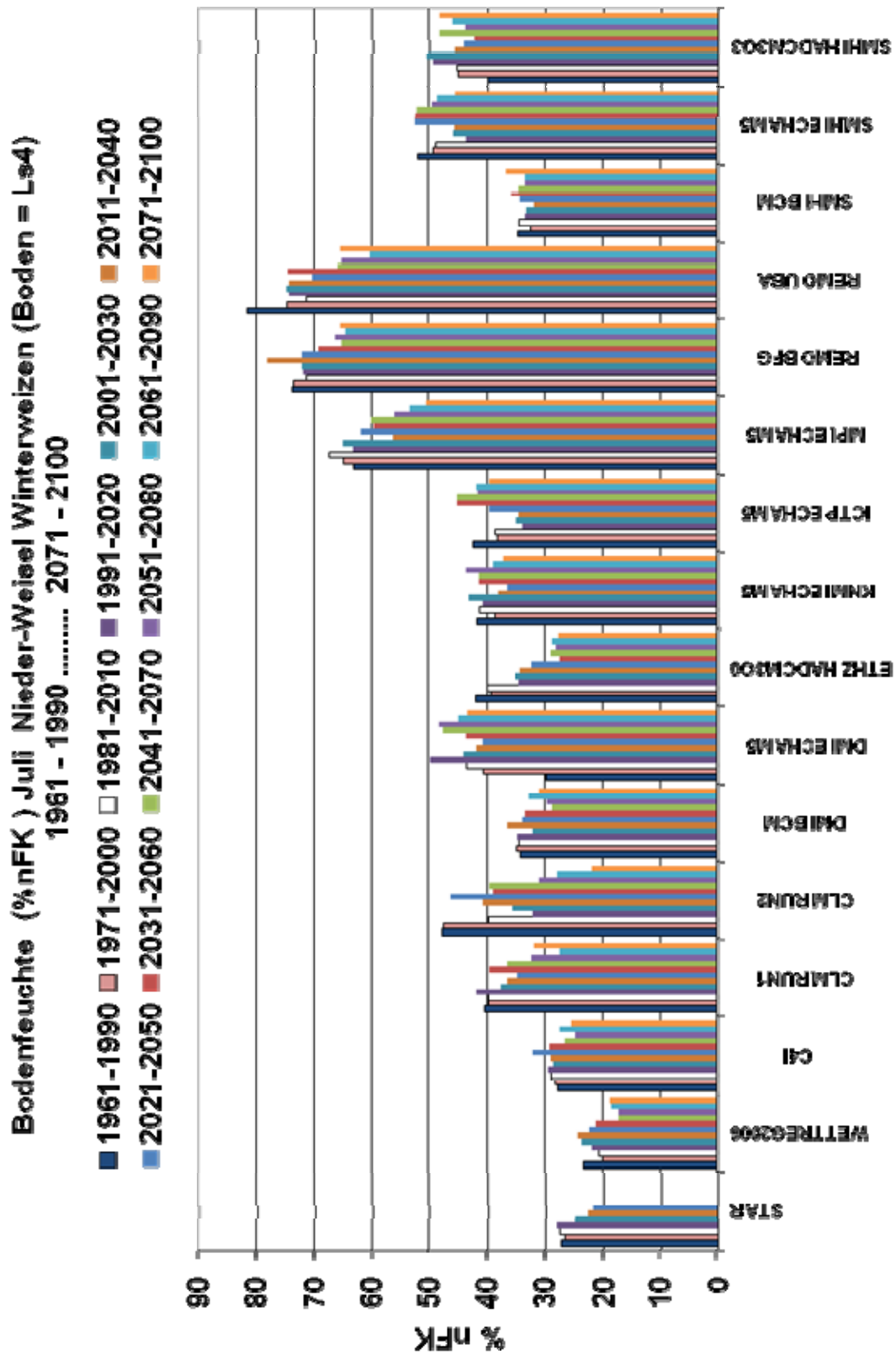


Abb. 13: 30-jährige Mittelwerte der Bodenfeuchte im 10-Jahres-Rhythmus, Winterweizen (Modell AMBAV)

3.1.3 Bewertung der Ergebnisse zur Bodenfeuchte

Die Gesamtbetrachtung der Ergebnisse zeigt für Lauterbach (Boden Lu, Winterraps; Abb. 12) keine eindeutigen Tendenzen. Während das statistische Modell WETTREG 2006 schon ab dem Zeitraum 2021-2050 eine Reduzierung der Bodenfeuchte ausweist, findet eine Reduzierung bei REMO erst ab ca. 2041-2070 statt. Die weiteren Modelle weisen für die Zukunft bis 2100 z.T. auf eine leichte Zunahme der Bodenfeuchte hin oder zeigen nahezu gleichbleibende Werte.

Die Ergebnisse für den Standort Nieder-Weisel (Boden Ls4, Winterweizen, Abb. 13) sind für die meisten Klimamodelle insgesamt ähnlich uneindeutig wie für Lauterbach, allerdings weisen 5 Klimamodelle eine eindeutige Abnahme der Bodenfeuchte mit zunehmender Tendenz bis zum Jahr 2100 auf. Das absolute Niveau der Bodenfeuchte ist jedoch insgesamt geringer, was u.a. durch höhere mittlere Niederschläge in Lauterbach und durch eine geringere Feldkapazität bedingt ist.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass über alle Klimamodell-Ergebnisse, betrachtet für die beiden Standorte Nieder-Weisel und Lauterbach für die Kulturen Winterweizen und Winterraps und die Böden Ls4 und Lu, keine markanten Änderungen der Bodenfeuchte in den künftigen Jahren bis 2100 zu erwarten sind. Die Differenzen zwischen den Modellen sind bei beiden Standorten größer als die zeitlichen Tendenzen.

3.2. Stickstoffhaushalt

3.2.1 Vorgehensweise

Die im Zusammenhang mit dem Stickstoffhaushalt geplanten Untersuchungen beschränkten sich im Wesentlichen auf die Anwendung des Stickstoff-Auswaschungs-Modells HERMES auf die Wintermonate (280. bis 91.Tag). Aufgrund fehlender lokaler Messungen konnten Validierungen oder Anpassungen nicht durchgeführt werden.

Die Auswertungen erfolgten analog zum Wasserhaushalt jeweils für die Station Kassel (für Lauterbach) mit dem Boden Lu und für die Station Gießen (für Nieder-Weisel) mit dem Boden Ls4. Die Bodenfeuchteberechnungen sowie die Wassertransporte wurden also mit den gleichen Modellansätzen und -parametrisierungen durchgeführt wie die im Kapitel 3.1.1 beschriebenen Untersuchungen für 2012 - 2014.

Die Berechnung erfolgte für den Zeitraum 1962-1990 mit den meteorologischen Messungen, für die Zeiträume bis 2100 erfolgte eine Nutzung der jeweiligen Gitterpunktdaten der Klimamodelle bzw. der Stützstationen für die statistischen Modelle. Die Berechnungen erfolgten beispielhaft für einen Weizenbestand und eine angenommene anschließende Brache. Als Ergebnisse liegen folgende Parameter vor:

- Sickerwasser Jahressumme (mm)
- Stickstoffauswaschungsmengen (kg N/ha), Winter
- Nitratkonzentration (mg NO₃- N/l) bezogen auf Sickerwasserraten im Winter
- Winterliches Mineralisationspotenzial (kg N/ha)

Alle Auswertungen beziehen sich auf die Schicht 0-90 cm und beginnen mit dem Jahr 1962, weil im Stickstoff-Auswaschungsmodell ein Jahr als Vorlauf für eine sinnvolle Startbodenfeuchte benötigt wird. Für die Zukunftsprojektionen wurde, wie schon bei der Bodenfeuchte im Abschnitt 3.1.2 beschrieben, eine vereinfachte BIAS-Korrektur durchgeführt.

3.2.1 Bewertung der Ergebnisse zum Stickstoffhaushalt

Die Abbildungen 14-17 zeigen zunächst die Berechnungen für Kassel für den Zeitraum 1962-1990 für alle Parameter.

Insgesamt wird für alle Parameter etwa das Niveau erreicht, das mit den meteorologischen Messungen berechnet wurde. Bei den Sickerwasserraten stimmen insbesondere die Ergebnisse von STAR und WETTREG2006 sehr gut mit den Klimaergebnissen überein. Dieses schlägt sich dann auch positiv in den Ergebnissen bei der Nitratkonzentration nieder. Auffallend ist, dass die winterlichen Mineralisationsraten mit den Eingangsdaten der meisten Klimamodelle unterschätzt werden, wobei insbesondere das Klimamodell SMHI_HADCM3Q3 mit einem Wert 50 % unter dem Klimamodell negativ auffällt.

Bei den Zukunftsprojektionen für den Standort Kassel (Abbildungen 18-21) gibt es beim Sickerwasserfluss ein recht uneinheitliches Bild, wobei die meisten Klimamodelle eine leichte Zunahme für den Zeitraum 2021-2050, für den Zeitraum 2071 – 2100 jedoch auch z.T. Erhöhungen zwischen 50 -150 mm projizieren. Bei den Nitratkonzentrationen werden insgesamt für den Zeitraum 2021-2050 wenig Änderungstendenzen berechnet, für den Zeitabschnitt 2071-2100 z. T. jedoch geringe Abnahmen, die mit der Zunahme der Sickerwasserraten korrelieren und praktisch den Verdünnungseffekt beschreiben. Wie zu erwarten, führen die höheren Wintertemperaturen im Boden zu höheren Mineralisierungsraten, die sich für den Zeitabschnitt 2021-2050 im Mittel um ca. 5 kg N/ha, für den Zeitraum 2071-2100 im Mittel um ca. 10 kg N/ha erhöhen.

Die Abbildungen 22-25 stellen die gleichen Verhältnisse für Gießen in der Vergangenheit dar. Während die Messungen als Eingangsdaten im Vergleich zu Kassel geringere Sickerwasserraten erzeugen und diese Tendenz von STAR und WETTREG 2006 auch übernommen wird, jedoch mit einem stark untertriebenen Wert, weisen diverse Klimamodelle für diesen Standort höhere Wasserflussraten auf. Dieses schlägt sich auch in größeren Unterschieden der einzelnen Modellergebnisse bei der Nitratkonzentration nieder. Die Mineralisationsrate wird ähnlich wie in Kassel von den meisten Klimamodellen unterschätzt, wobei das Modell SMHI_HADCM 3Q3 auch wieder die geringsten Werte aufweist, das gesamte Niveau jedoch etwas höher liegt als in Kassel.

Bei den Zukunftsprojektionen für Gießen (Abbildungen 26-29) ergeben sich im Vergleich zum Raum Kassel keine neuen Erkenntnisse. Die Mineralisation zeigt ähnliche Tendenzen auf bei in etwa gleichem Niveau. Dieses gilt auch für die Nitratkonzentration, allerdings bei einem Mittelwert, der ca. 5 mg NO₃-N/l über dem von Kassel liegt. Der Sickerwasserfluss zeigt jedoch im Vergleich zu Kassel bei mehreren Klimamodellen für den Zeitraum 2021-2050 eine leichte Abnahme, für den Abschnitt 2071-2100 überwiegend jedoch eine Zunahme.

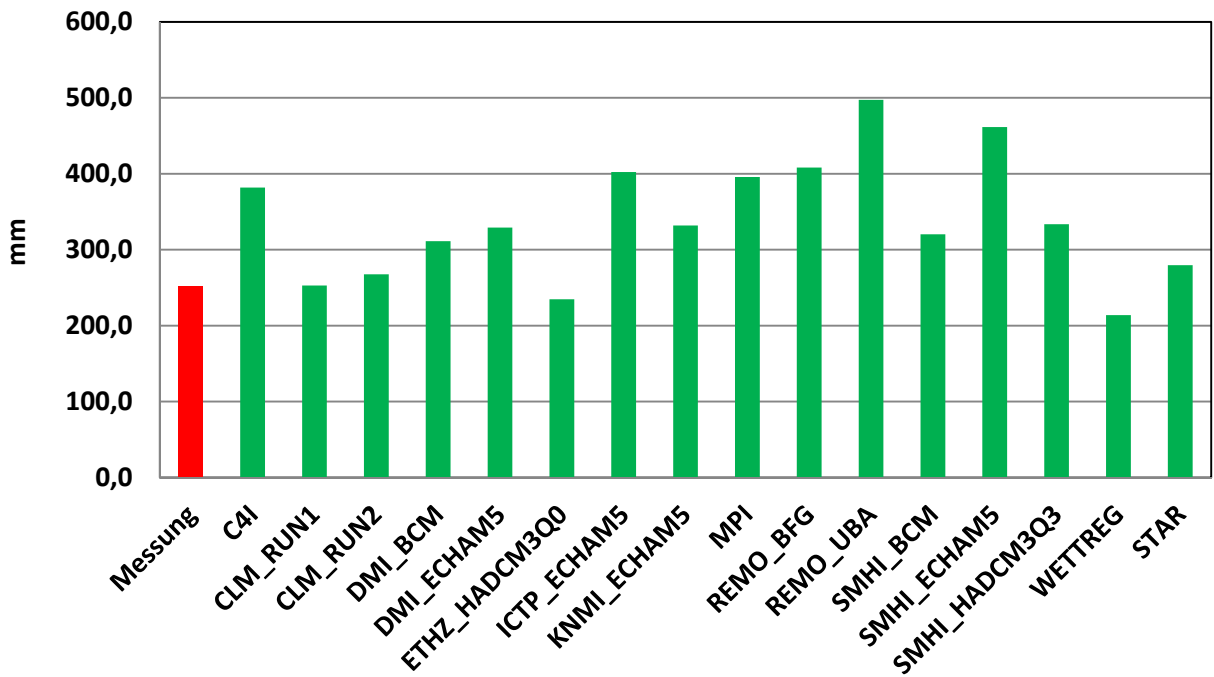


Abb. 14: Sickerwasser Jahressumme (mm) Kassel (1962-1990); (Modell AMBAV)

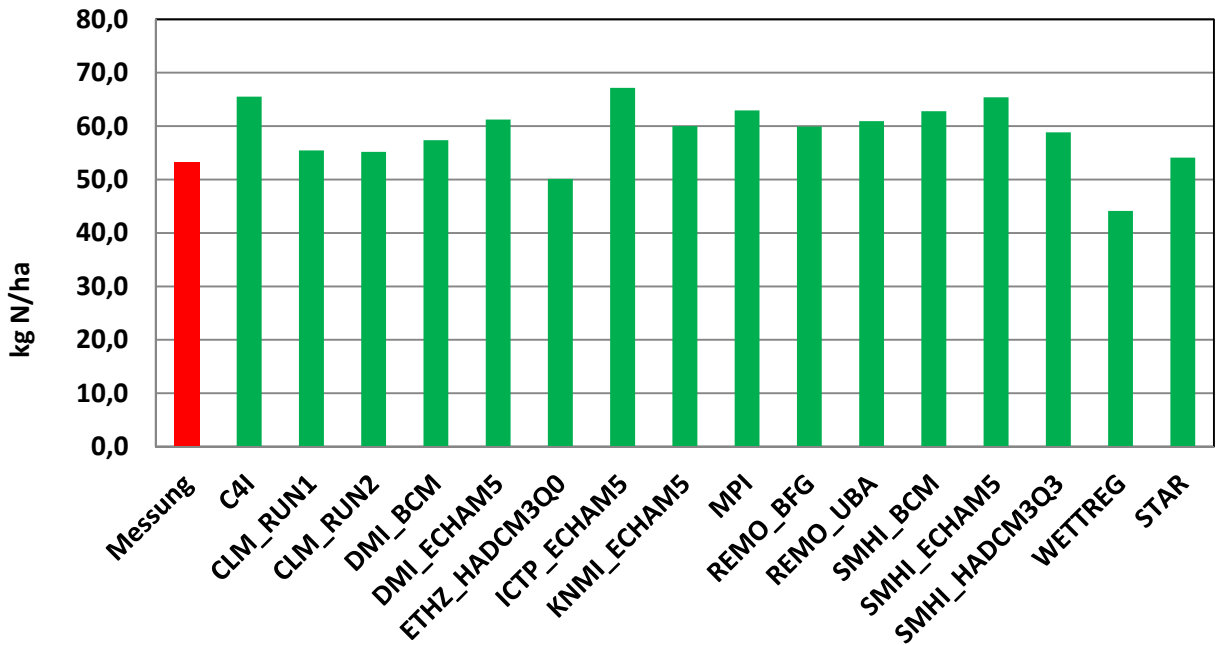


Abb. 15: N-Auswaschung (kg N/ha) Kassel (1962-1990); (Modell HERMES)

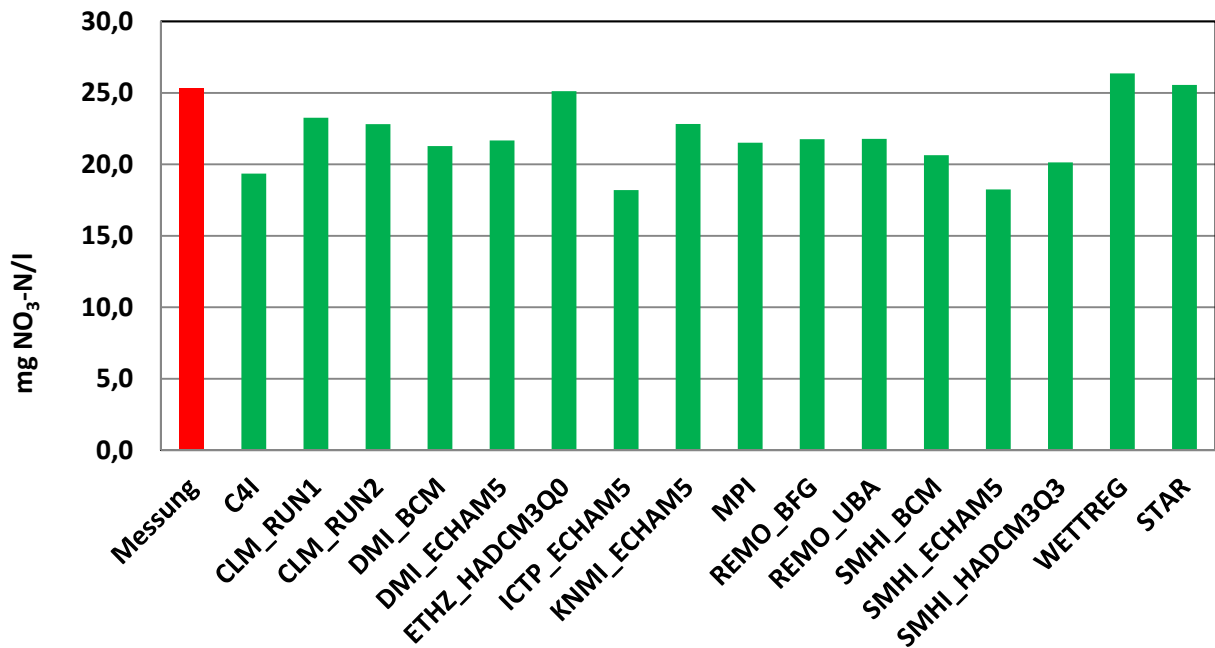


Abb. 16: Nitratkonzentration (mg NO₃-N/l) Kassel (1962-1990); (Modell HERMES)

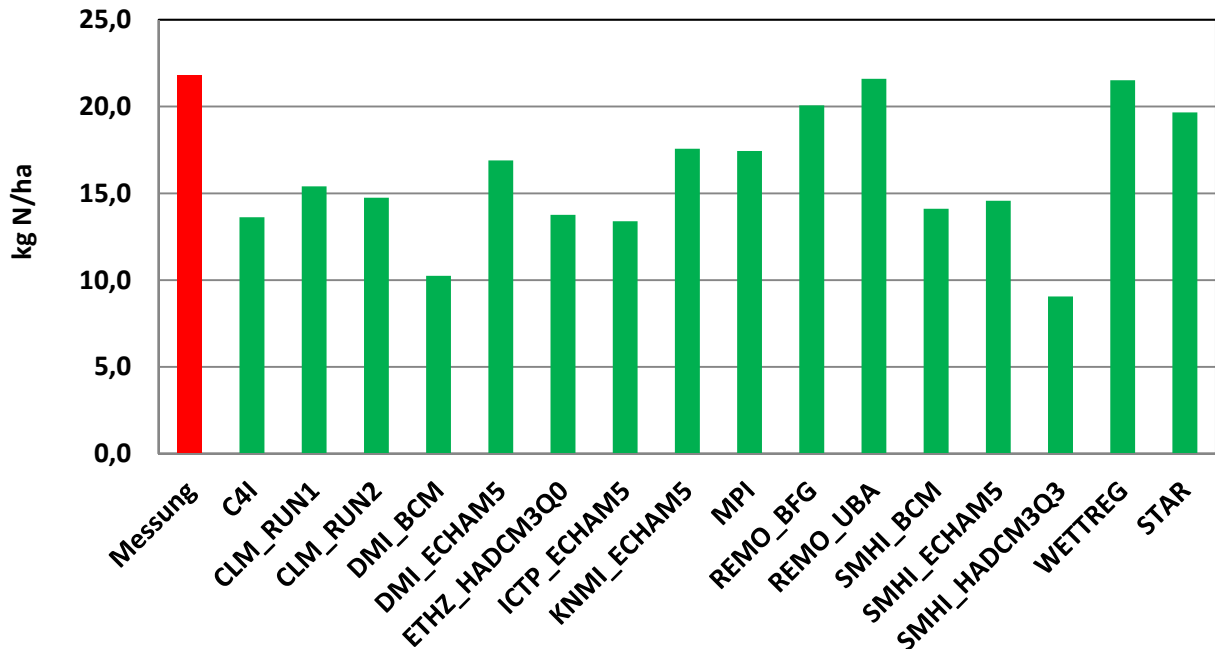


Abb. 17: Mineralisation (kg N/ha) Kassel (1962-1990); (Modell HERMES)

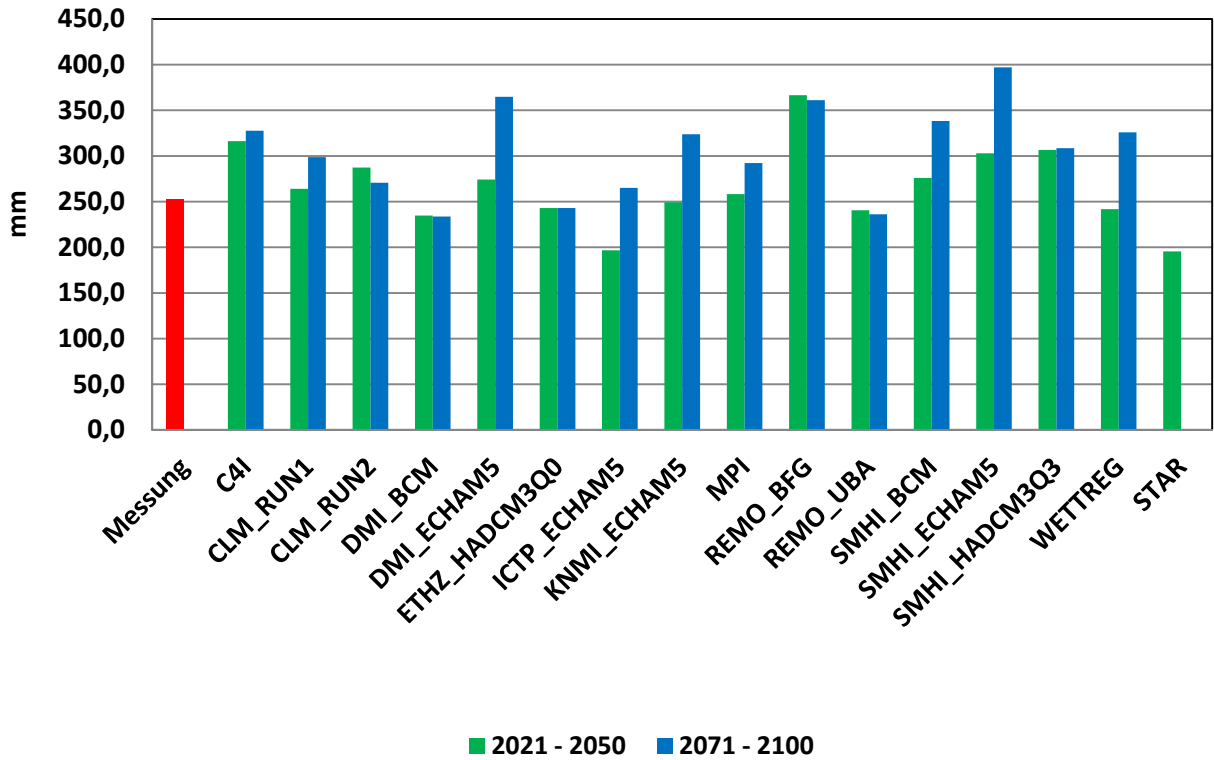


Abb. 18: Sickerwasser Jahressumme (mm) Kassel; (Modell AMBAV)

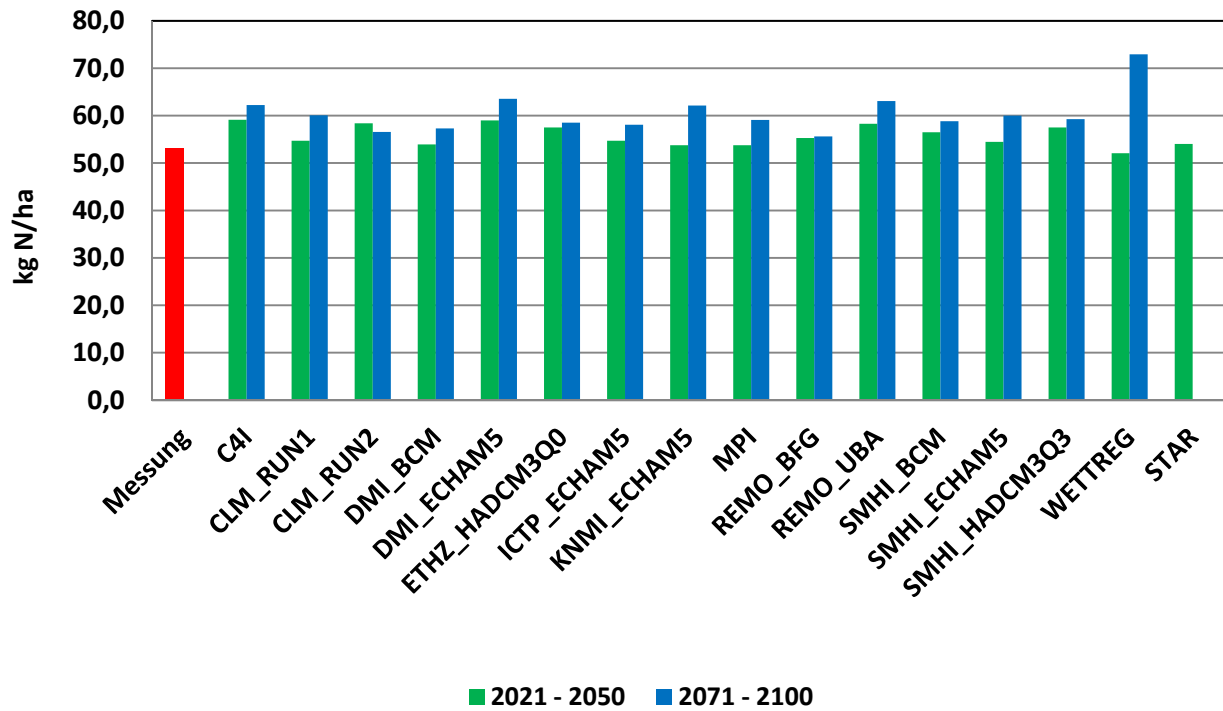


Abb. 19: N-Auswaschung (kg N/ha) Kassel; (Modell HERMES)

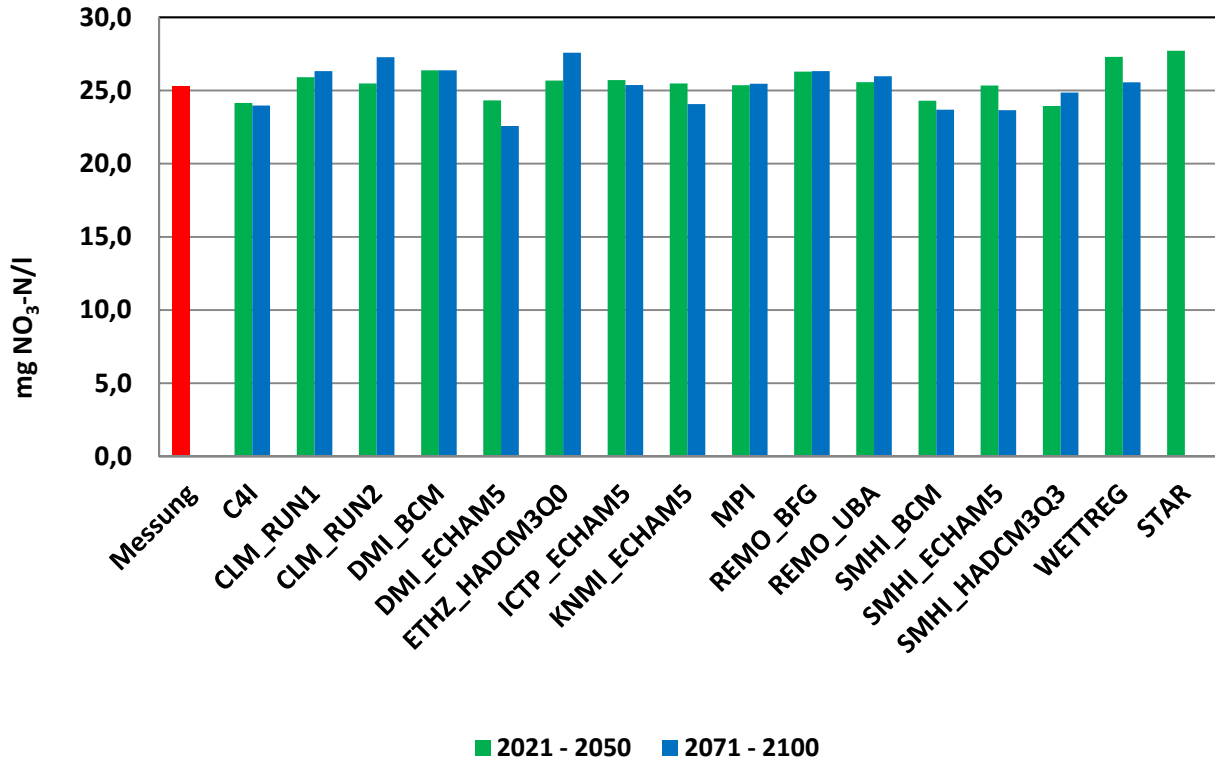


Abb. 20: Nitratkonzentration (mg NO₃-N/l) Kassel; (Modell HERMES)

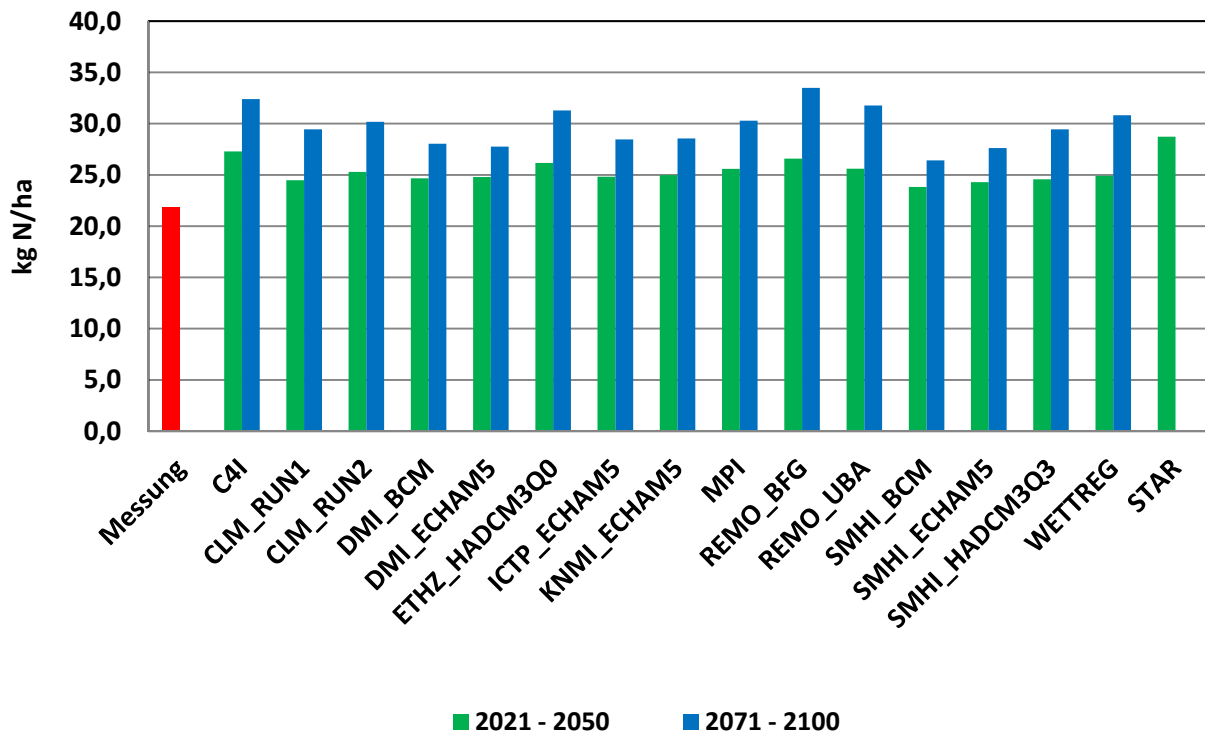


Abb.21: Mineralisation (kg N/ha) Kassel ; (Modell HERMES)

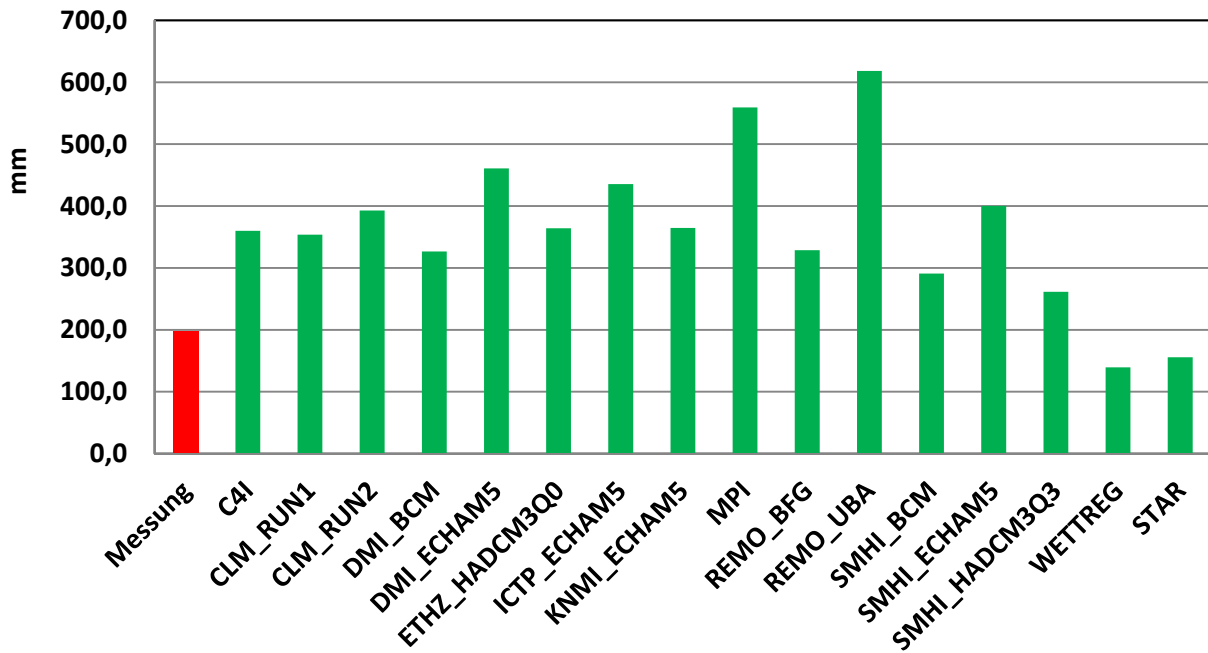


Abb. 22: Sickerwasser Jahressumme (mm) Gießen (1962-1990); (Modell AMBAV)

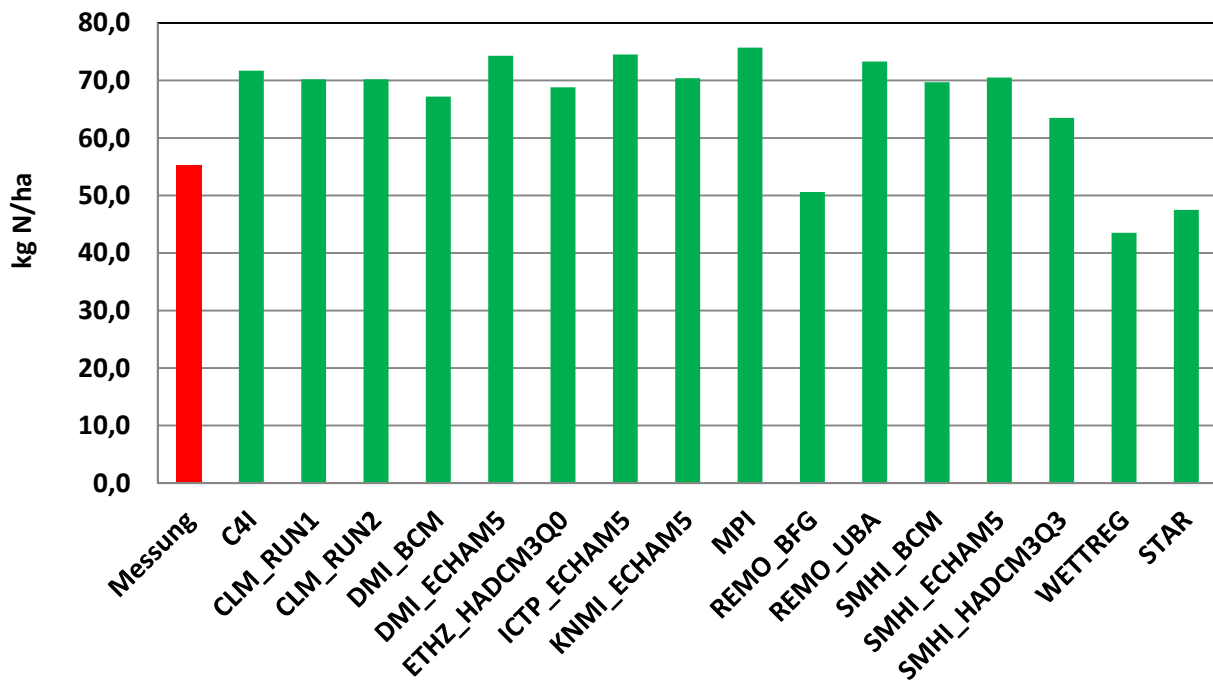


Abb. 23: N-Auswaschung (kg N/ha) Gießen (1962-1990); (Modell HERMES)

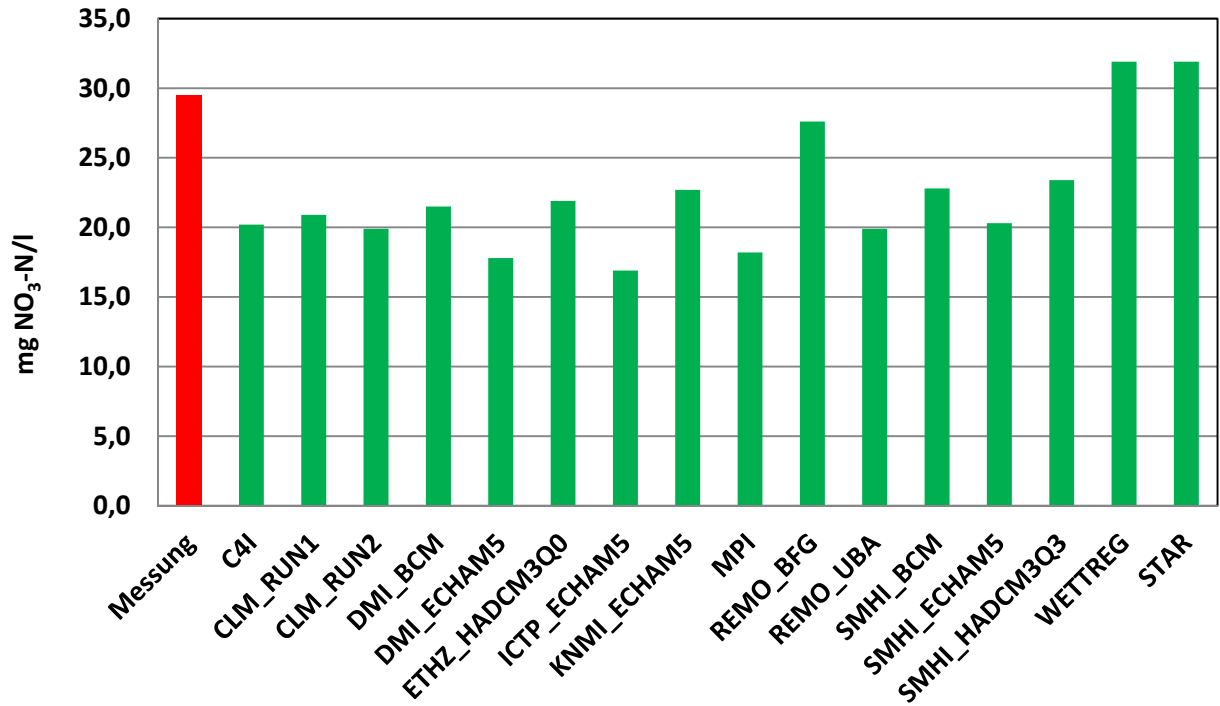


Abb. 24: Nitratkonzentration (mg NO₃-N/l) Gießen (1962-1990); (Modell HERMES)

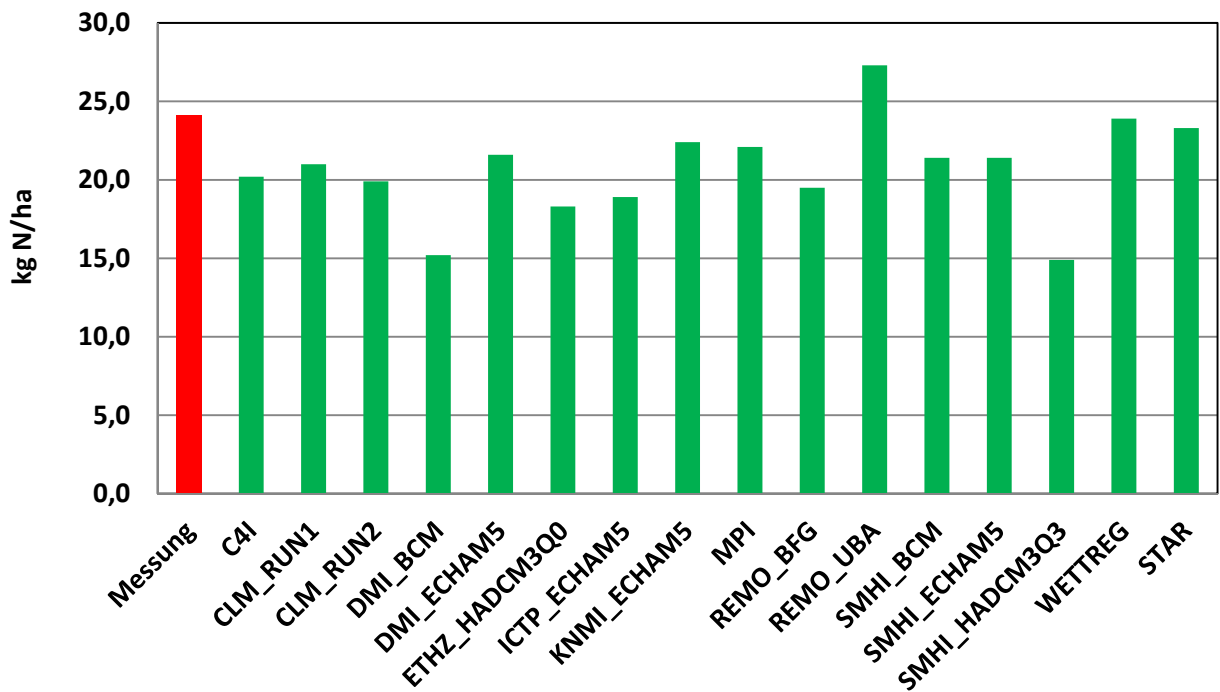


Abb. 25: Mineralisation (kg N/ha) Gießen (1962-1990); (Modell HERMES)

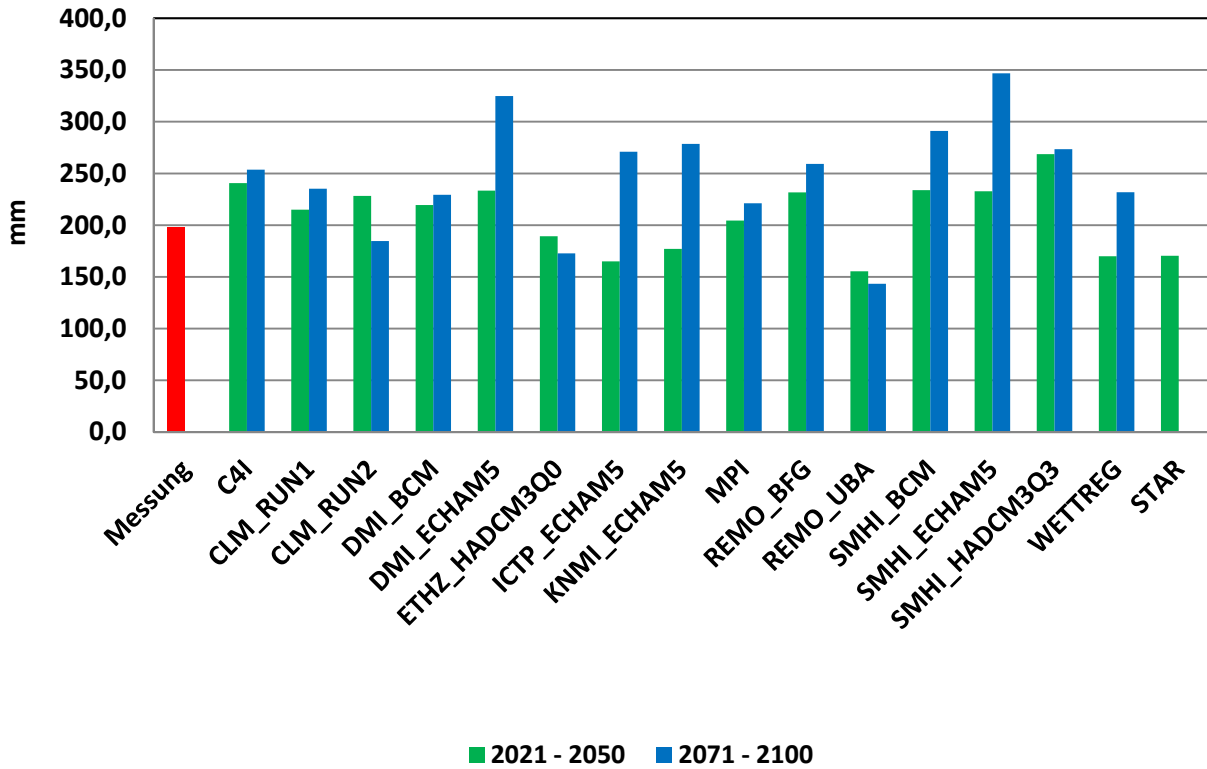


Abb. 26: Sickerwasser Jahressumme (mm) Gießen; (Modell AMBAV)

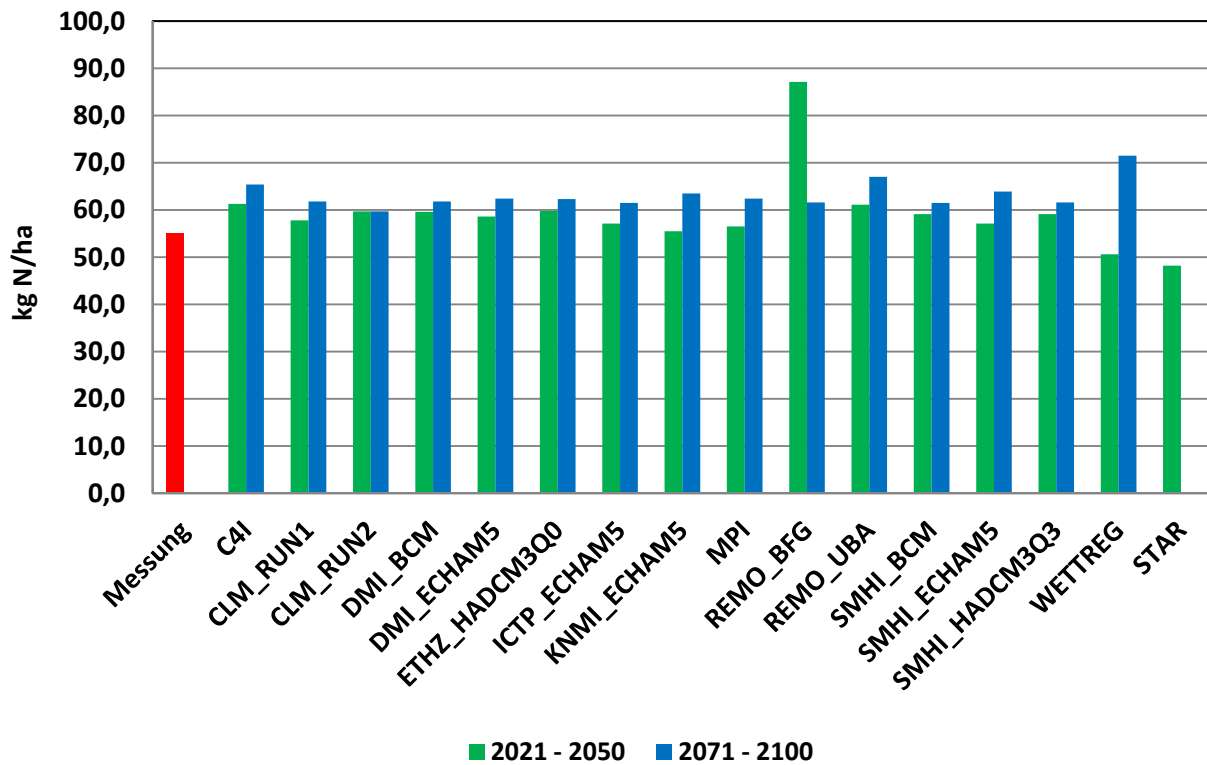


Abb. 27: N-Auswaschung (kg N/ha) Gießen; (Modell HERMES)

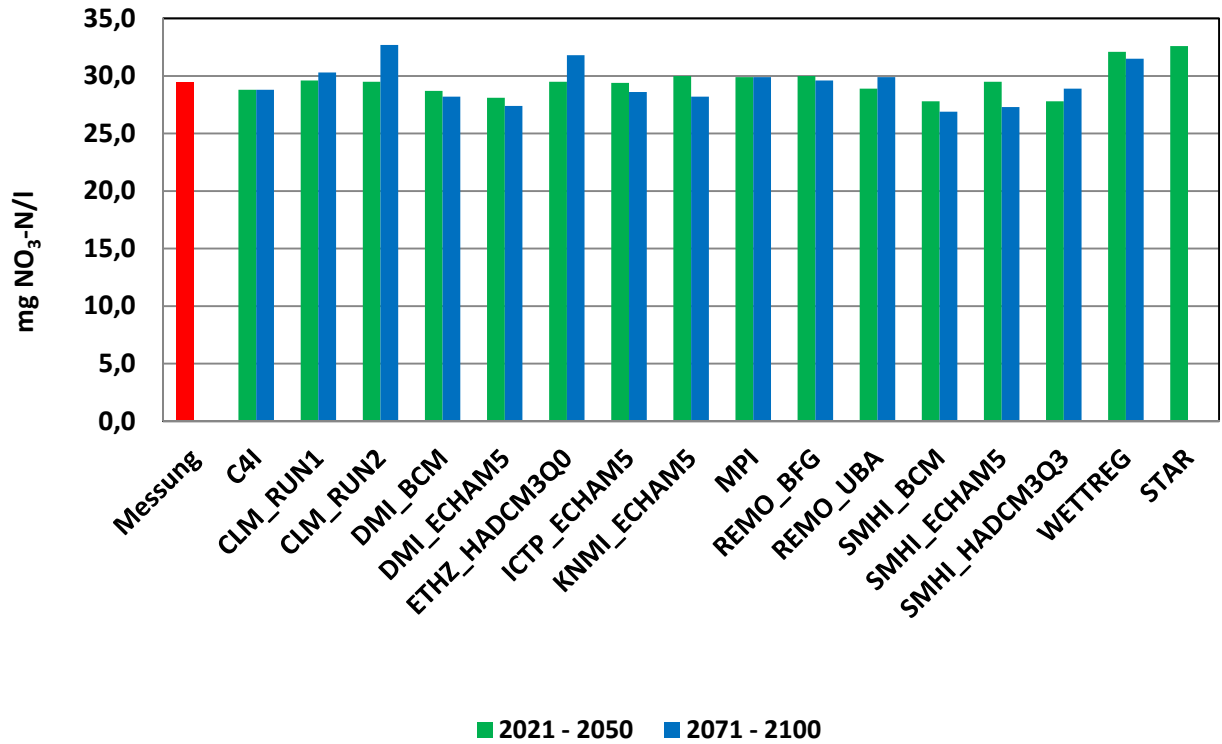


Abb. 28: Nitratkonzentration (mg NO₃-N/l) Gießen; (Modell HERMES)

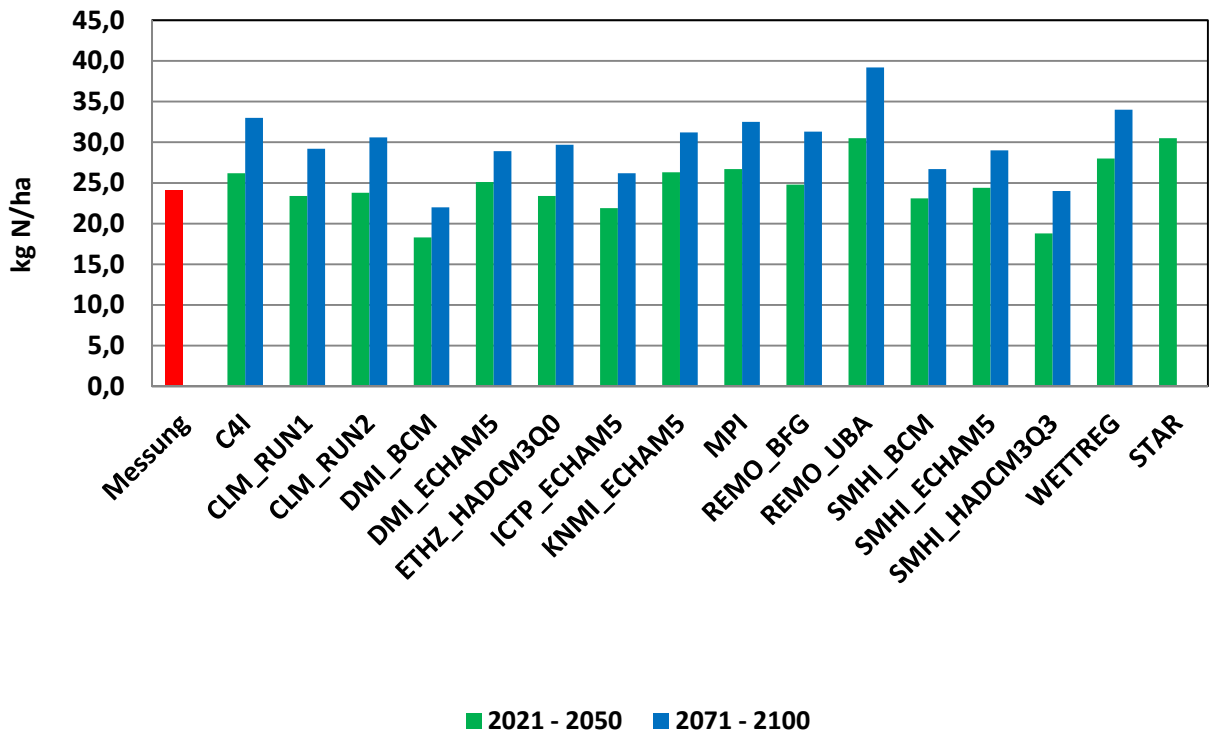


Abb. 29: Mineralisation (kg N/ha) Gießen; (Modell HERMES)

Die folgenden Abbildungen 30 – 37 stellen die Ergebnisse zu den Stickstoffberechnungen ergänzend als Änderungstendenzen im Vergleich zur Referenzperiode 1962-1990 für die einzelnen Klimamodelle dar, jeweils für den Zeitraum 2021-2050 (grüne Säulen) und 2071-2100 (blaue Säulen). Eine sehr einheitliche Tendenz ergibt sich, wie zu erwarten, bei der Mineralisierungsrate in der Zukunft mit einer deutlichen Zunahme. Für Kassel weisen die jährlichen Sickerwasserraten für den Projektionszeitraum 2021-2050 noch ein relativ uneinheitliches Bild auf, für den Zeitraum 2071-2100 wird mit den Eingangsdaten der meisten Klimamodelle jedoch eine deutliche Zunahme der Sickerwasserraten berechnet. Für die N-Auswaschung in kg N/ha ergibt sich sowohl für den ersten Zeitabschnitt als auch für die Zeit ab 2071 für nahezu alle Klimamodellergebnisse eine Zunahme. Der Bezug dieser Auswaschungen auf die Sickerwasserrate und damit auf die Trinkwasserqualität (mg NO₃-N/l) weist jedoch ein differenziertes Bild auf, wobei insgesamt die Änderungstendenzen sehr klein sind. Quantitativ geringfügig etwas anders stellen sich die Bedingungen für Gießen dar, aber die typischen Ergebnismuster ergeben sich auch für diesen Standort.

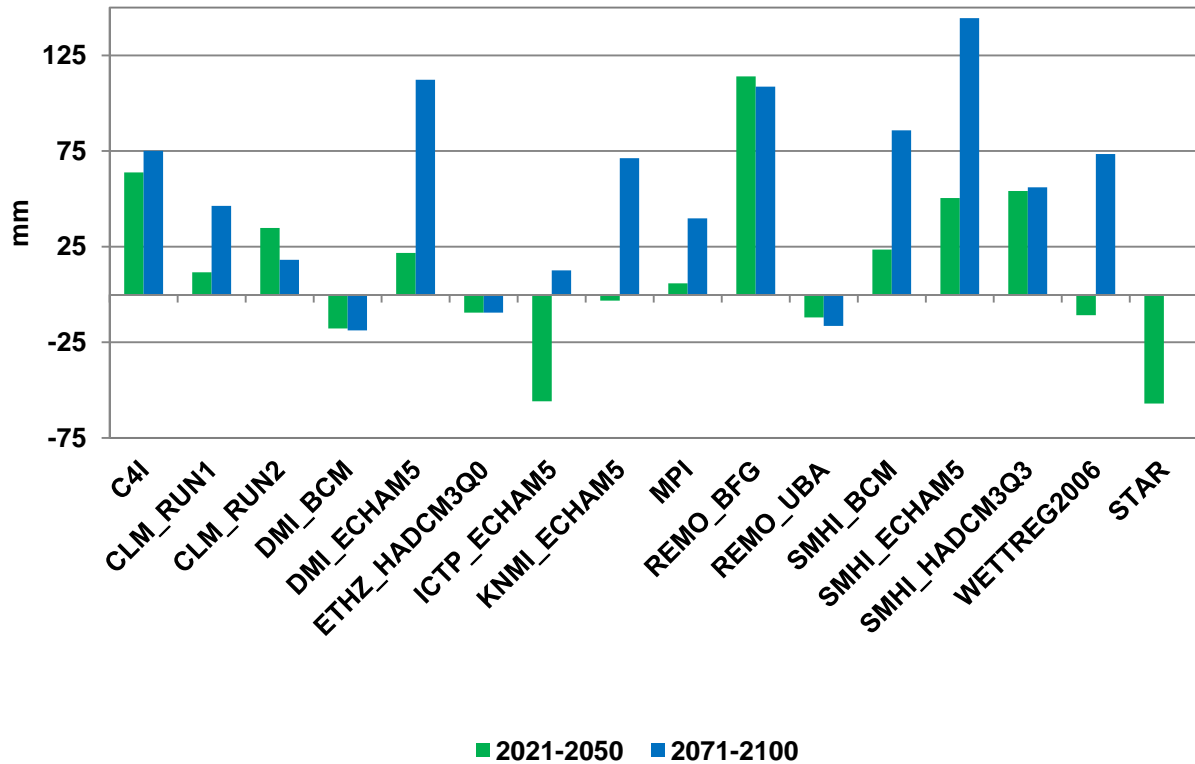


Abb. 30: Änderungstendenz Sickerwasser Jahressumme (mm) Kassel; (Modell AMBAV)

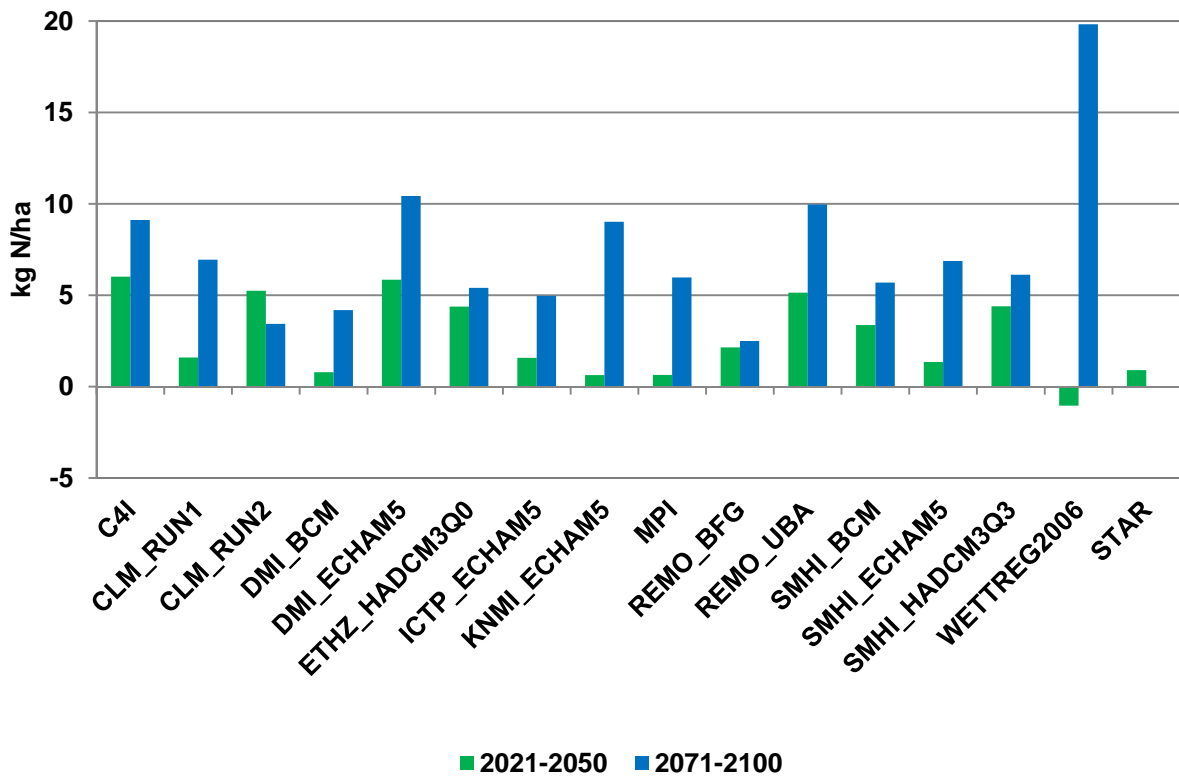


Abb.31: Änderungstendenz N-Auswaschung (kg N/ha) Kassel; (Modell HERMES)

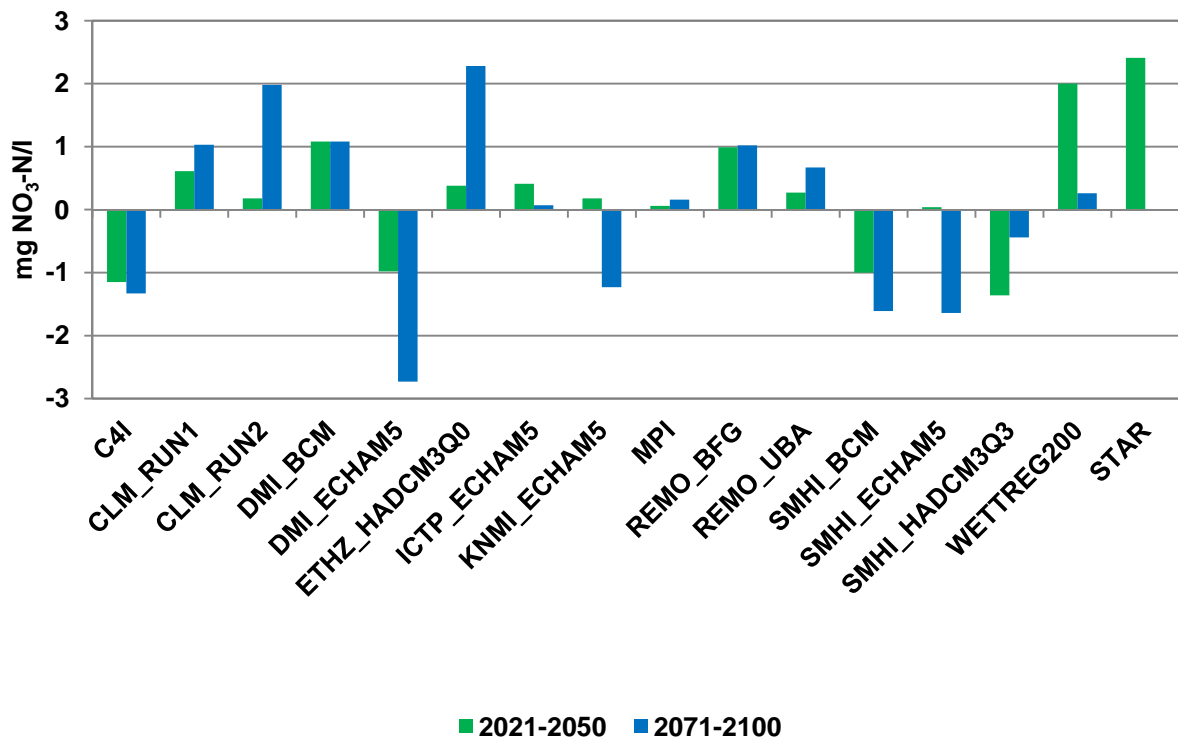


Abb. 32: Änderungstendenz Nitratkonzentration (mg NO₃-N/l) Kassel; (Modell HERMES)

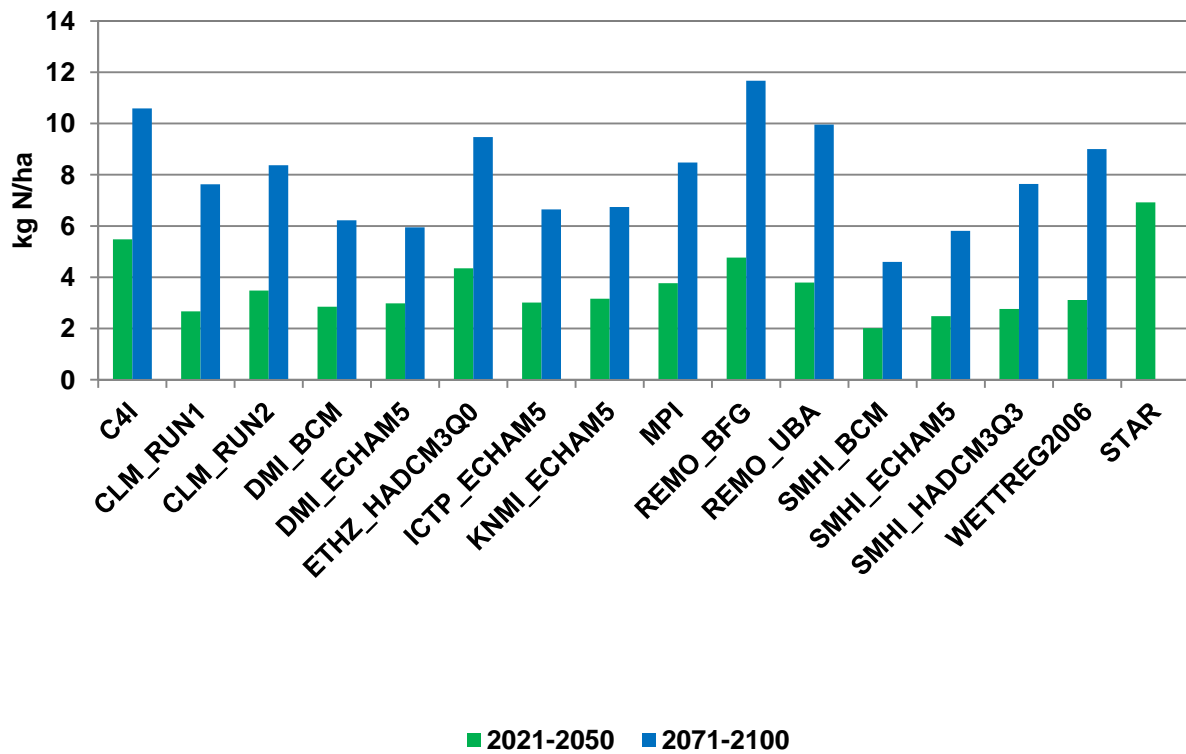


Abb. 33: Änderungstendenz Mineralisation (kg N/ha) Kassel; (Modell HERMES)

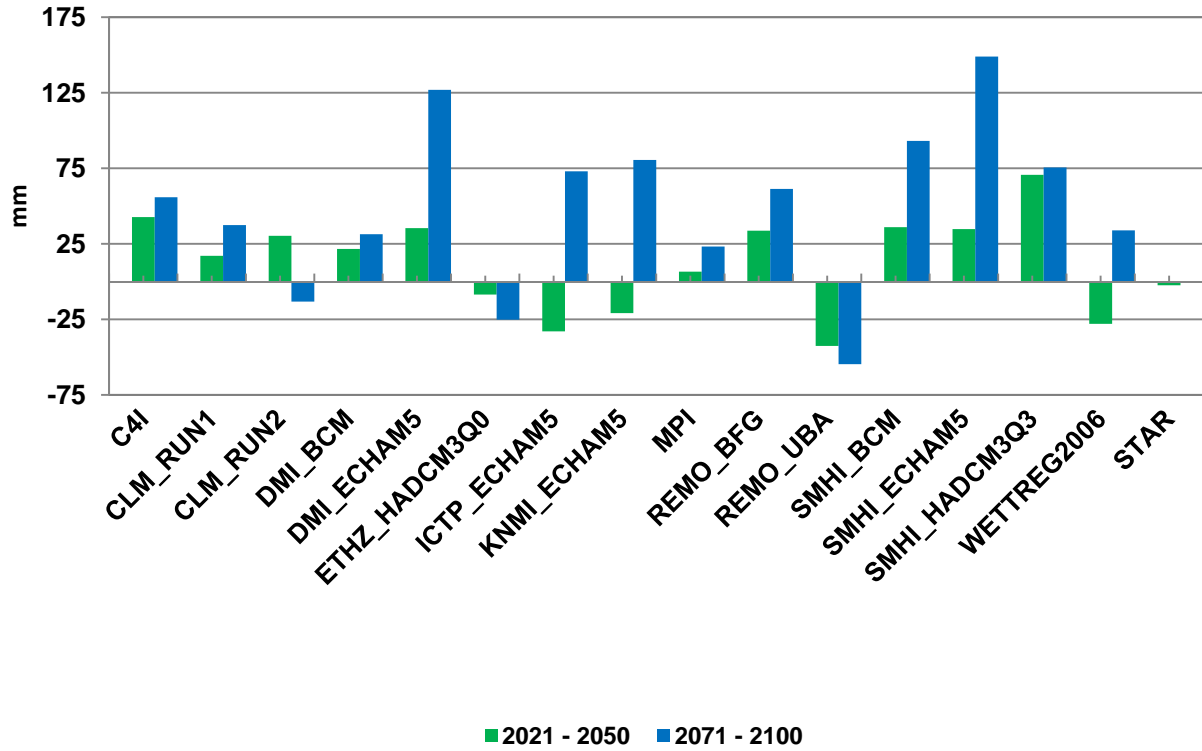


Abb. 34: Änderungstendenz Sickerwasser Jahressumme (mm) Gießen; (Modell AMBAV)

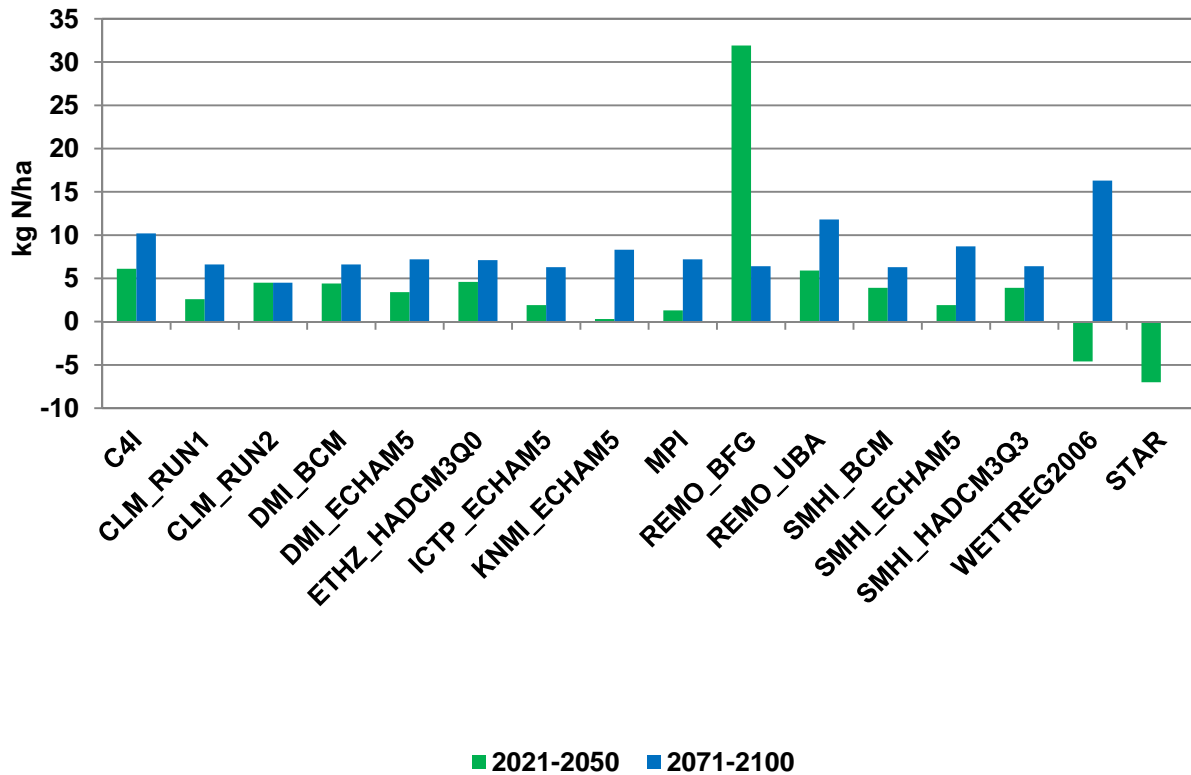


Abb. 35: Änderungstendenz N-Auswaschung (kg N/ha) Gießen; (Modell HERMES)

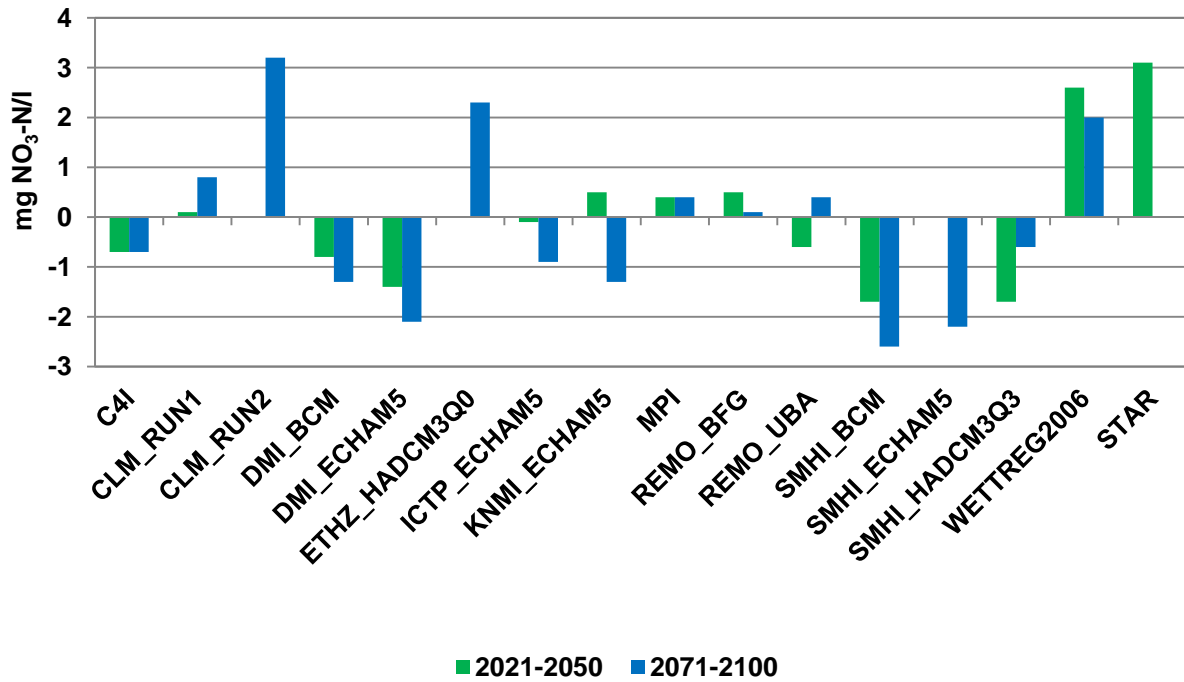


Abb. 36: Änderungstendenz Nitratkonzentration (mg NO₃-N/l) Gießen; (Modell HERMES)

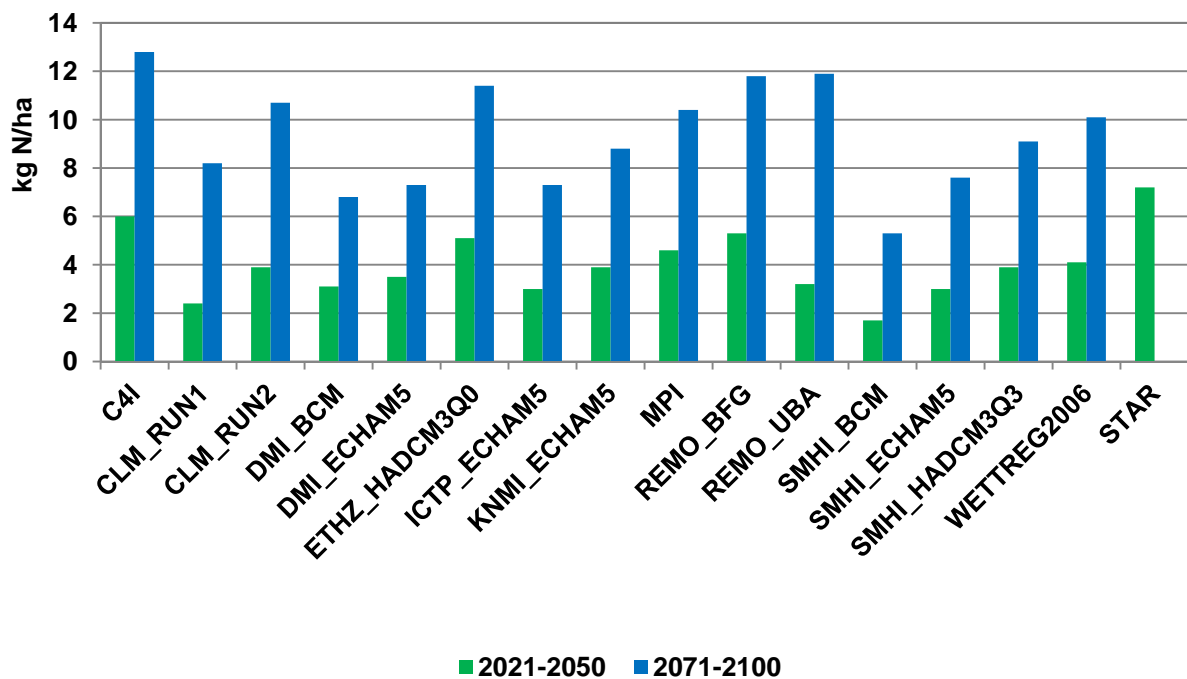


Abb. 37: Änderungstendenz Mineralisation (kg N/ha) Gießen; (Modell HERMES)

4. Zusammenfassung

Die im Rahmen des Projektes geplanten Ziele konnten bezüglich der Beschreibung des Wasserhaushalts und des Stickstoffhaushalts in der Vergangenheit und der durch den Klimawandel beeinflussten Zukunft qualitativ erreicht werden. So liegen Aussagen zu zukünftig möglichen Bodenfeuchten beispielhaft für zwei Kulturen vor. Die zu erwartenden Tendenzen zum Sickerwasserfluss und der damit verbundenen Stickstoffauswaschung bis hin zur Nitratkonzentration des Sickerwassers beim Verlassen der Wurzelzonen konnten diskutiert werden.

Allerdings konnten die Ergebnisse nicht in der zu Beginn des Projektes angestrebten Genauigkeit erreicht werden. Dafür gab es diverse Gründe.

Eine schwerwiegende Ursache war sicherlich, dass die schon oben diskutierten Messungen der Bodenfeuchte mit den FDR-Sonden, insbesondere die absoluten Wassergehalte betreffend, nicht die erwartete und notwendige Messgenauigkeit aufwiesen, um eine noch exaktere Anpassung des Modells AMBAV an die Standorte zu erreichen. Der Standort Leeheim sollte als Berechnungsstandort zusätzliche Daten zur Bodenfeuchte liefern. Da er aber nach dem ersten Projektjahr aufgrund extremer Bodenbedingungen – wie Risse beim Austrocknen – nicht weiter betrachtet werden konnte, standen diese Informationen dem Projekt nicht zur Verfügung.

Mit Hilfe zusätzlicher, zunächst nicht eingeplanter Bohrstockmessungen, konnte jedoch eine für die Projektziele hinreichende Anpassung des Modells AMBAV an die beiden verbleibenden Standorte zur Beschreibung des Wasserhaushalts erreicht werden. Damit dürften auch die im Bericht dargestellten und kurz beschriebenen Aussagen zur weiteren Entwicklung der Bodenfeuchtesituation bis zum Jahre 2100 unter Verwendung von 16 Klimamodellen belastbar sein.

Zum Stickstoffhaushalt in den Wintermonaten konnten keine Modellanpassungen und Validierungen erfolgen. Es konnten zwar die Modellanwendungen für die Standorte unter den im Wasserhaushaltsteil erarbeiteten Parametrisierungen erfolgen, aber weitergehende Überprüfungen waren nicht möglich. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass die relativ gut angepassten Sickerwassermengenberechnungen auch für die Stickstoffbewegungen plausible Ergebnisse liefern.

Kernaussagen

- Insgesamt lassen die Ergebnisse zum Wasserhaushalt über alle Klimamodelle betrachtet für die beiden Standorte Nieder-Weisel und Lauterbach für die Kulturen Winterweizen und Winterraps und die Böden Ls4 und Lu keine ertragsrelevanten Änderungen beim Parameter Bodenfeuchte in den künftigen Jahren bis 2100 erkennen.
- Bei der überwiegenden Anzahl der Klimamodellergebnisse ergibt sich eine Zunahme der Sickerwassermengen, die insbesondere im Zeitabschnitt 2071-2100 durchaus für Grundwasserbetrachtungen oder Feldberechnungsüberlegungen eine relevante Größenordnung erreicht.
- Bezüglich des Stickstoffhaushaltes ergibt sich, wie zu erwarten, eine höhere winterliche Mineralisierungsrate, die sich bereits 2021-2050 auswirkt und ab dem Zeitraum 2070 noch weiter ansteigen wird.

- Die geringen Absolutbeträge und zudem die unterschiedlichen Vorzeichen der zu erwartenden Änderungen bei der Nitratkonzentration lassen keine einheitliche relevante Tendenz erkennen.
- Für die Nitratauswaschung wird mit Ausnahme der statistischen Modelle für alle Klimamodelle eine Zunahme berechnet, die im Zeitraum 2071-2100 noch deutlich höher ausfällt als im Zeitraum 2021-2050.

5. Literaturverzeichnis

Friesland H., F.-J. Löpmeier, 2007. The performance of the model AMBAV for evapotranspiration and soil moisture on Müncheberg data. In: K.C. Kersebaum, J.-M. Hecker, W.Mirschel & M.Wegehenkel (eds.): Modelling water and nutrient dynamics in soil-crop systems. Proceedings of the workshop held on 14-16 June 2004 in Müncheberg, Germany (COST718), S. 19-26

Braden, H., 1995. The model AMBETI. A detailed description of a soil-plant-atmosphere model - Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr. 195, Offenbach a.M., 117 pp.

Kersebaum, K.C., 1989. Die Simulation der Stickstoff-Dynamik von Ackerböden. Thesis, Hannover University, Germany, 141 pp.