



Für eine lebenswerte Zukunft

HESSSEN



Fachtagung

Neue Forschungsergebnisse:

Klimawandel und seine Folgen für die Umwelt in Hessen



01. März 2018

Roncallihaus Wiesbaden

Mögliche klimawandelbedingte Veränderungen des Gemüseanbaus in Südhessen

Dr. Georg Berthold

Hessisches Landesamt für Naturschutz Umwelt und Geologie

Klimawandelbedingte Änderungen des Wasserbedarfs und der Stickstoff-Düngung für den Gemüseanbau im Hessischen Ried



Projektpartner:



Institut für Gemüsebau
Frau Prof. Dr. Jana Zinkernagel (Projektleitung)
Frau Nadine Schmidt (Projektbearbeitung)
Herr Norbert Mayer (Versuchsdurchführung, Auswertung)



Projektbetreuung und Auftraggeber
Fachzentrum Klimawandel Hessen
Frau Dr. Cornelia Fooker
Frau Susanne Schroth



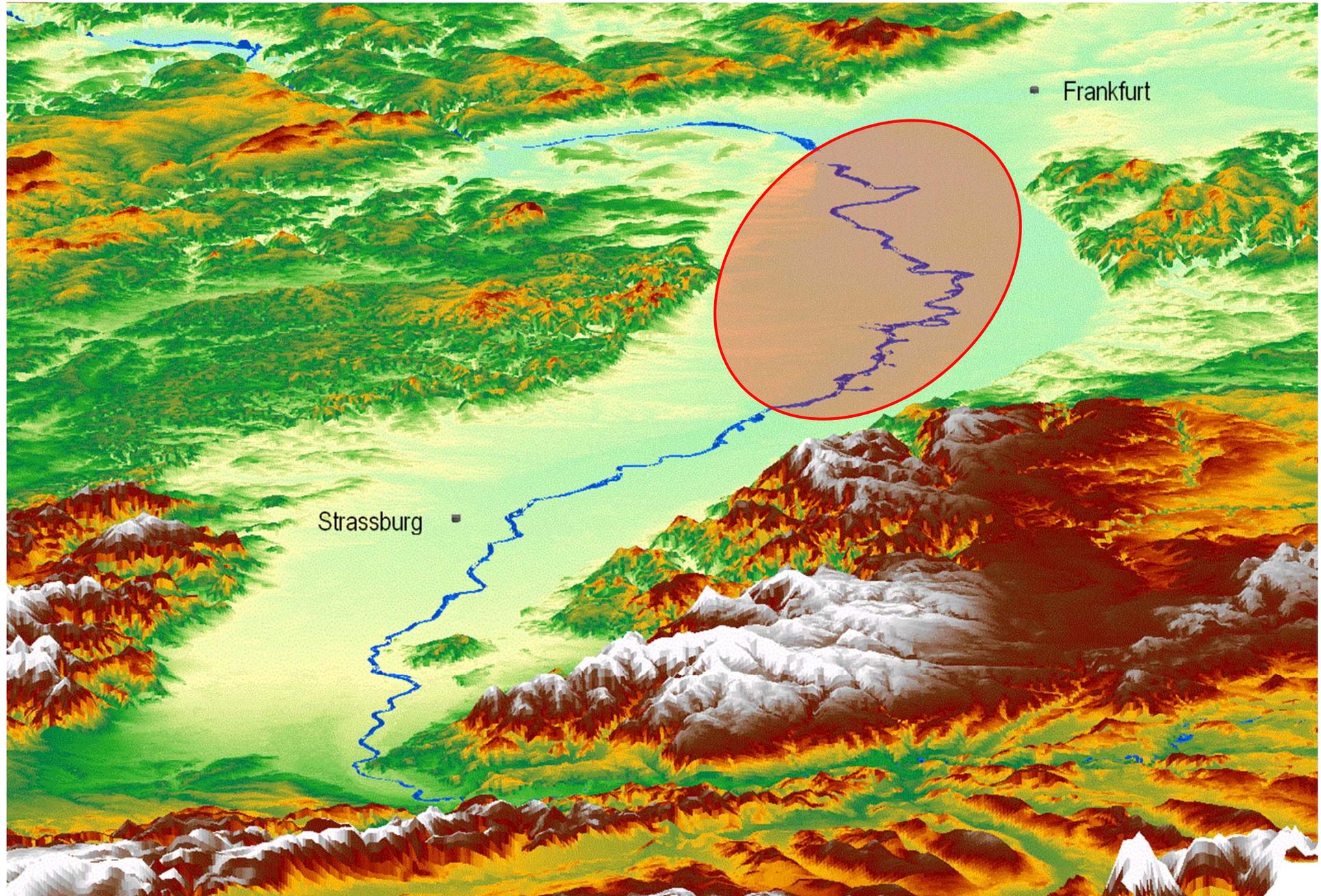
Herr Dr. Georg Berthold (Initiierung und Projektbegleitung)

Einleitung:

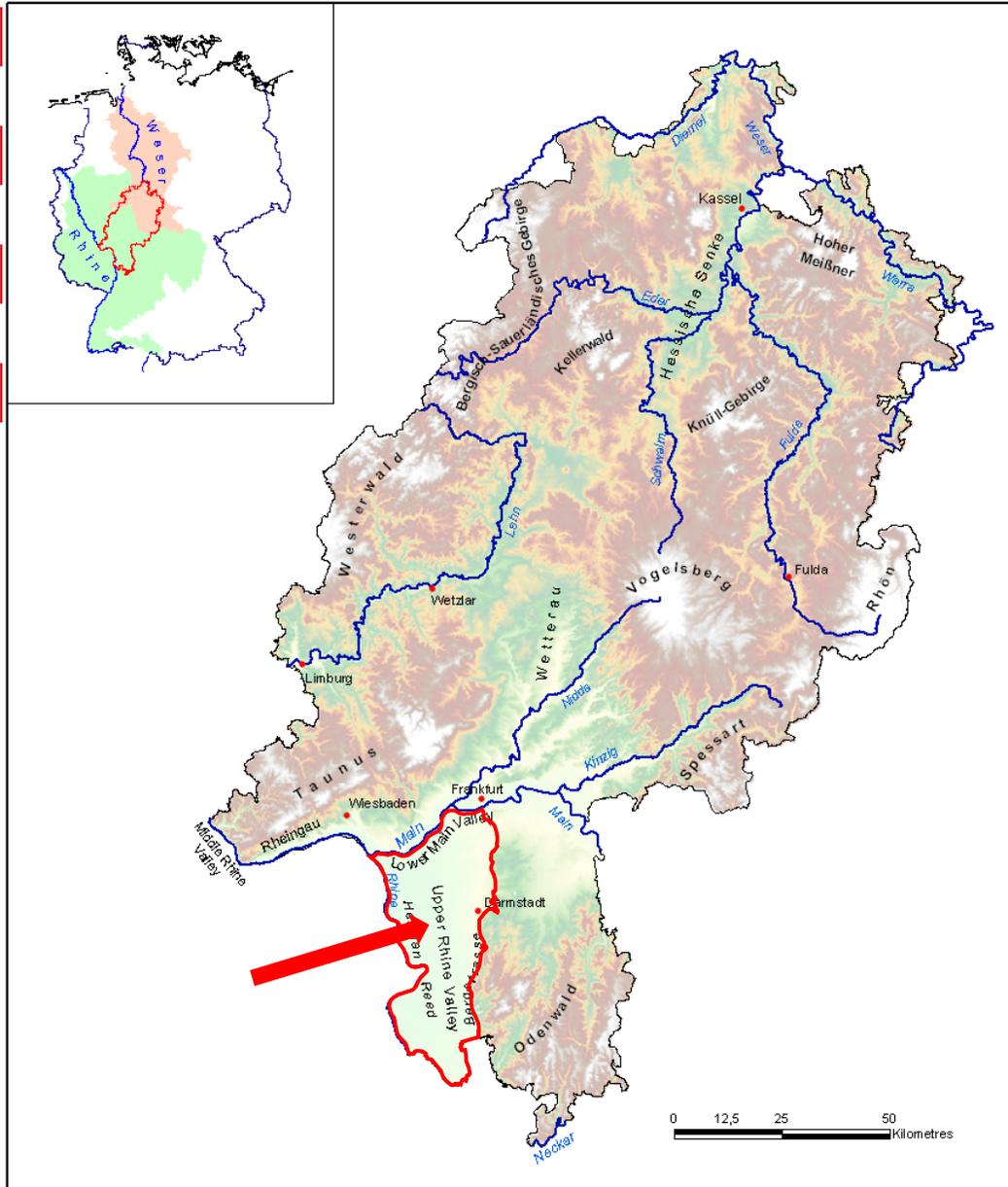


- **Der Gemüsebau gehört mit zu den größten Wasserkonsumenten.**
- **Geringe Toleranz von Gemüsekulturen gegenüber Wasserdefizit.**
- **Im Vergleich zu anderen landwirtschaftlichen Kulturen führt Wassermangel bei Gemüsekulturen rasch zum Totalausfall der Ernte.**
- **Der hohe Bewässerungsbedarf ist mit einer erhöhten Nitratauswaschungsgefahr verbunden. Eine Reduzierung dieser steht im Fokus der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL) und der Nitratrichtlinie.**
- **Die betrachteten Klimaprojektionen zeigen, dass die Anforderungen an den Gemüsebau hinsichtlich Wasserversorgung und Vermeidung von Nitrataustrag weiter zunehmen werden.**
- **Hierbei wurde der Fokus auf die regional bedeutsamsten Kulturen Zwiebel, Buschbohne und Spargel gelegt.**

Einleitung: Lage



Einleitung: Lage



Hessisches Ried

- nördlicher Teil des Oberrheingrabens
- Fläche: 1200 km²
- **wichtiger Grundwasserspeicher** (mächtiger Porengrundwasserleiter)
- große Bedeutung für die regionale Wasserversorgung des Rhein-Main Ballungsraumes
- bedeutender Wirtschaftsstandort
- dicht besiedelt: 800 000 Einwohner
- grundwasserabhängige Biotope und Waldgebiete -> Naherholungsgebiete
- klimatisch begünstigt, mildes Klima
- intensive landwirtschaftliche Nutzung; bewässerungsbedürftige Marktfrüchte

 **intensive Flächennutzung**

**5 % der Landesfläche „erzeugen“
25 % des Trinkwassers von Hessen**

Einleitung: Mögliche Auswirkungen des Klimawandels



Grundwasserneubildung Zunahme des Jahresmittels

Grundwasserstände extreme Hoch- und Tiefstände

Abflussregime häufigere Hochwasserabflüsse

Landwirtschaft



längere Vegetationsperioden, Vegetationsstress, Nutzungsänderungen

Ertragsminderung, Strukturwandel

geänderte Fruchtfolge

erhöhter
Bewässerungsbedarf

Forstwirtschaft



Forstschäden

Bestockungswandel

Naturschutz



Biotopschädigungen

Siedlungs- und Verkehrswesen



Vernässungs- und Setzrissschäden
an Gebäuden und Infrastruktur

Wasserversorgung



veränderter Strukturbedarf,
Trockenfallen von Quellen

Gefährdung der dezentralen
Wasserversorgung

Änderung der
Grundwasserbeschaffenheit

demografisch bedingte
Bedarfsänderung



Nutzungskonflikte, Anpassungsstrategien erforderlich

Einleitung: Bestehende Steuerungsinstrumente



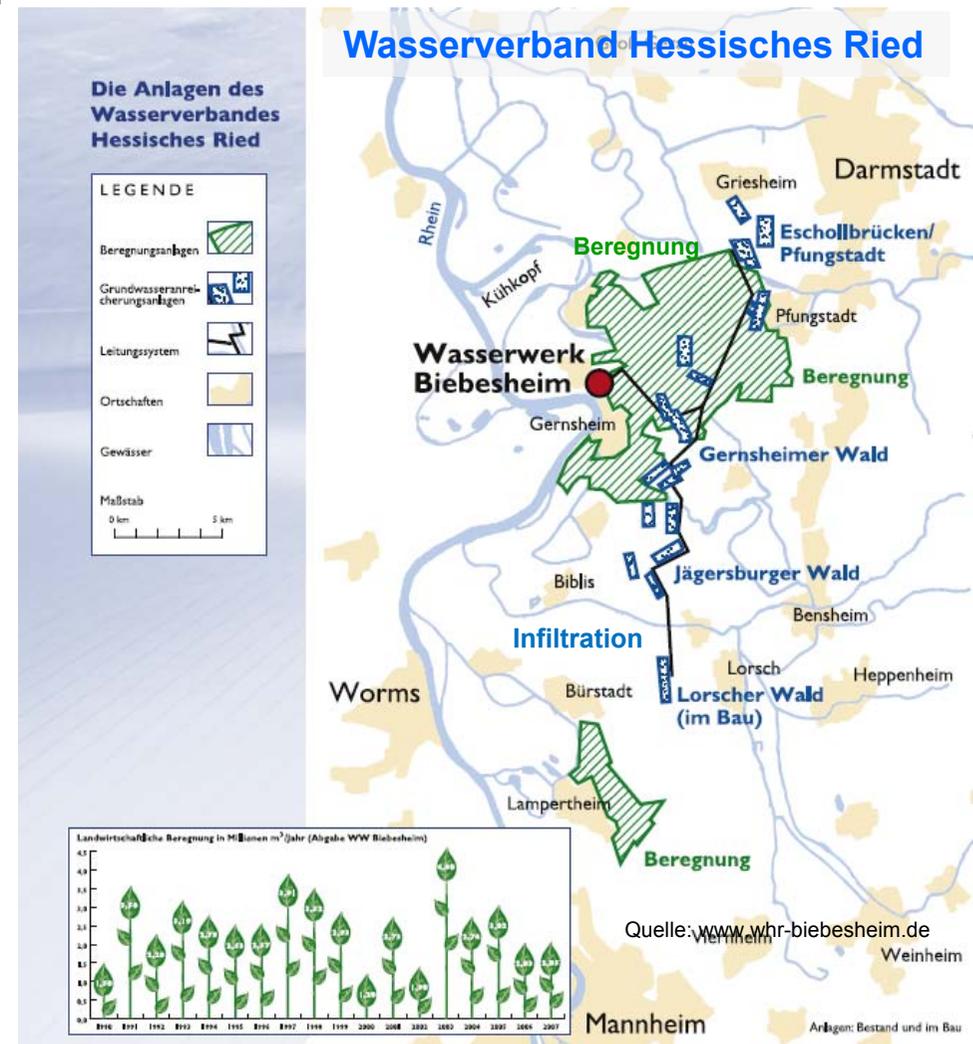
Stabilisierung der Grundwasserstände durch Rheinwasseraufbereitung

Gezielte **Infiltration** in den Absenktrichtern der Wasserwerke (38 Mio. m³/a)

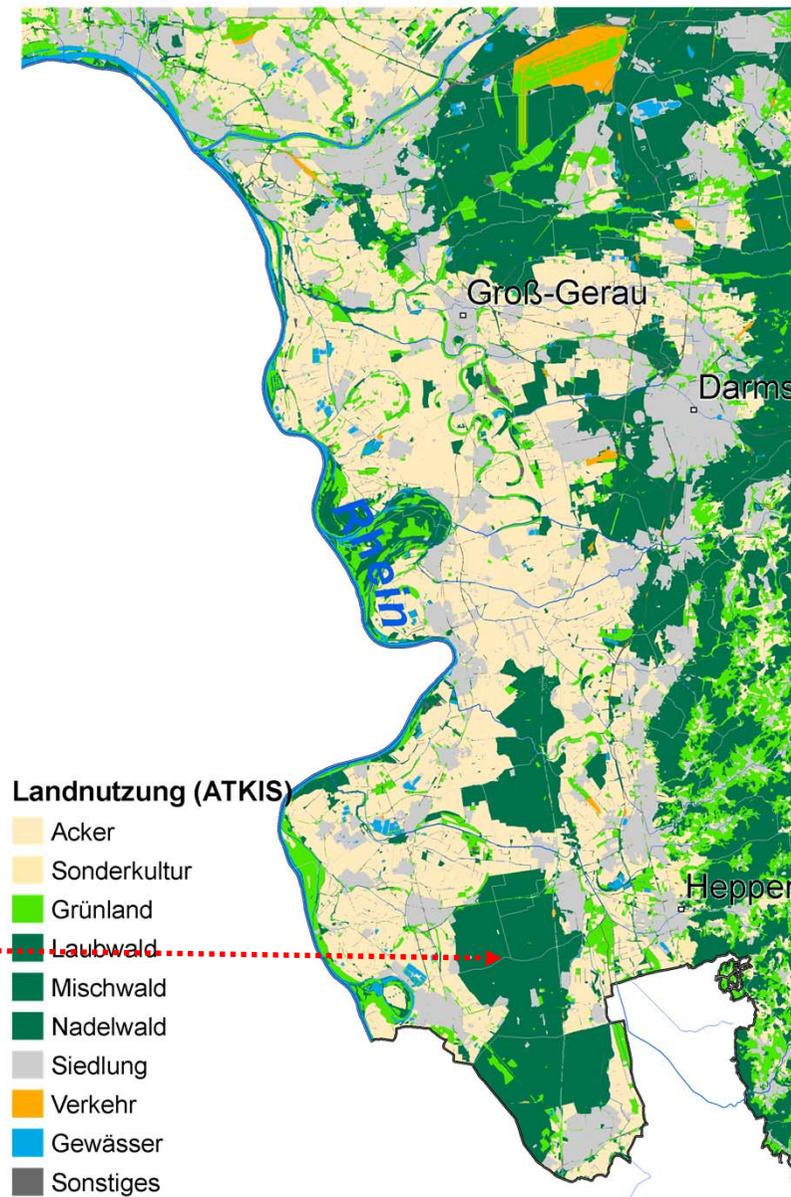
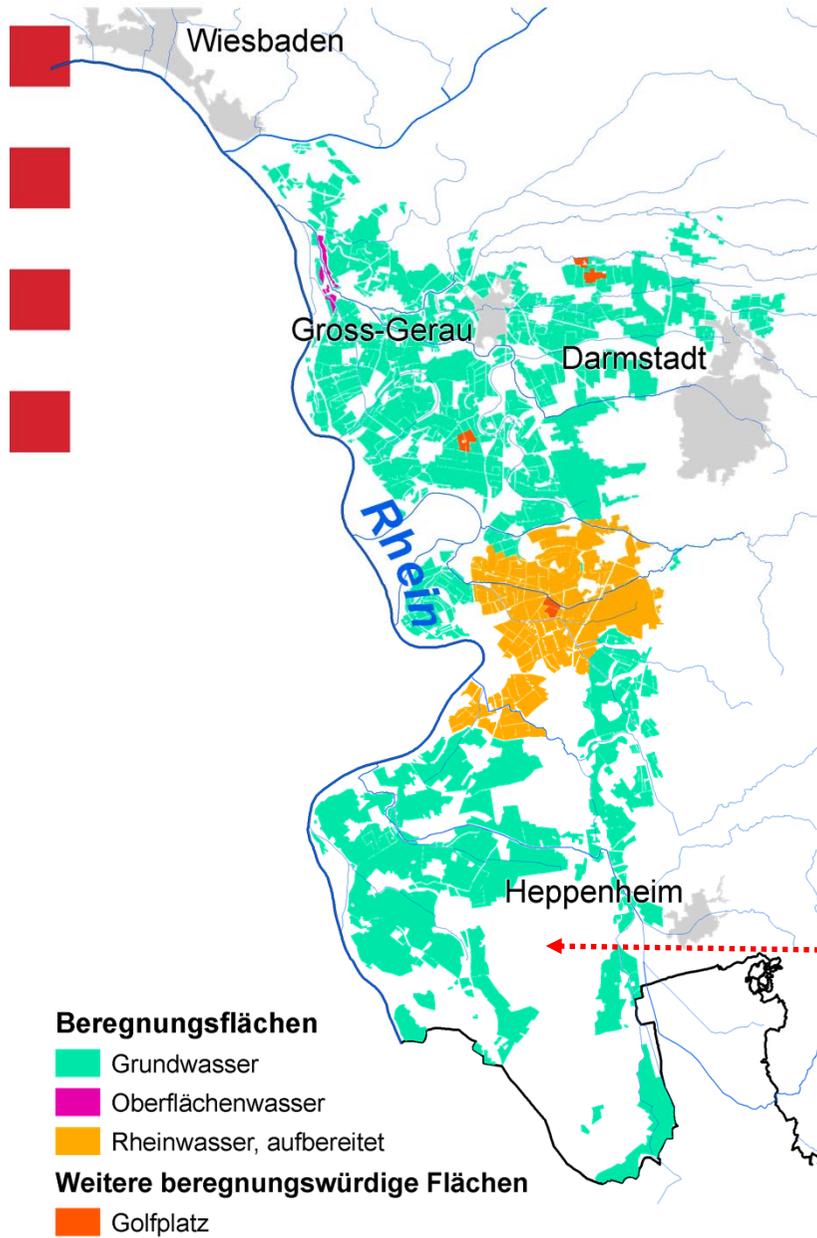
Bereitstellung für die **landwirtschaftliche Beregnung** (5 Mio. m³/a) auf ca. 5.500 ha

Infiltrationssteuerung in Abhängigkeit der aktuellen Grundwasserstände und klimatischen Entwicklungen

Bei Erreichen festgelegter **Abschaltwerte** wird die Infiltration eingestellt.



Ergebnisse: Potentielle Bewässerungsflächen im Hessischen Ried



Ergebnisse: Bewässerungszeiten, -technik und -steuerung



► Ergebnisse, Bestandsaufnahme

Bewässerungszeiten:

- „Hauptsaison“ Ende März bis Ende September/Anfang Oktober
- Bewässerungsgaben erfolgen zu 2/3 in der Nacht

Bewässerungstechnik:

- | | |
|----------------------------------|------|
| • Maschinenberegnung (beweglich) | 85 % |
| • Reihenbewässerung | 12 % |
| • Ortsfeste Einrichtungen | 2 % |
| • Mikrobewässerung | 1 % |



Bewässerungssteuerung:

Hauptsächlich über „Wasseruhren und/oder Pumpenstunden“

Bewässerungsmodelle finden noch keinen Eingang in die Praxis

**Ergebnisse: Simulationen
Datengrundlagen**



Regionalisierungsmodelle: WETTREG 2010, REMO und C-CLM

Globalmodelle: Echam5 und HadCM3.

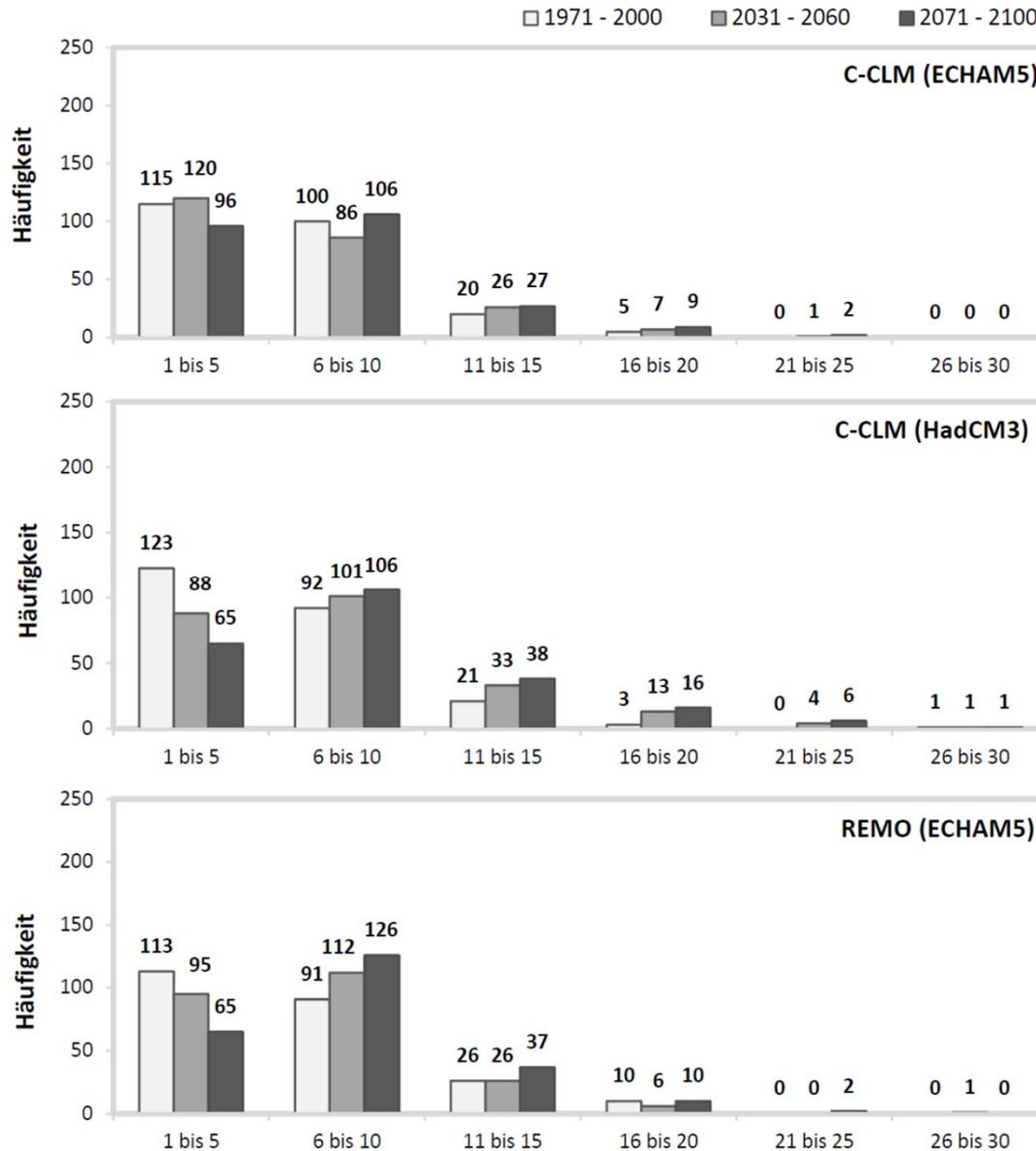
**Für die Simulationen wird das Szenario A1B zugrunde gelegt.
Dieses wird hinsichtlich der Entwicklung von THG als moderat angesehen.**

Bei den Regionalisierungsmodellen gilt zu beachten, dass diese in unterschiedlichen räumlichen Strukturen vorliegen.

Während bei REMO und C-CLM Gitterpunkte vorliegen, beruhen die Daten im Fall von WETTREG 2010 auf Stationen und liefern somit nur lokal begrenzte Informationen.

Ergebnisse: Trockenperioden

Simulierte Häufigkeit der Dauern niederschlagsfreier Perioden für 1971 - 2000, 2031 - 2060 und 2071 - 2100



□ 1971 - 2000

■ 2031 - 2060

■ 2071 - 2100

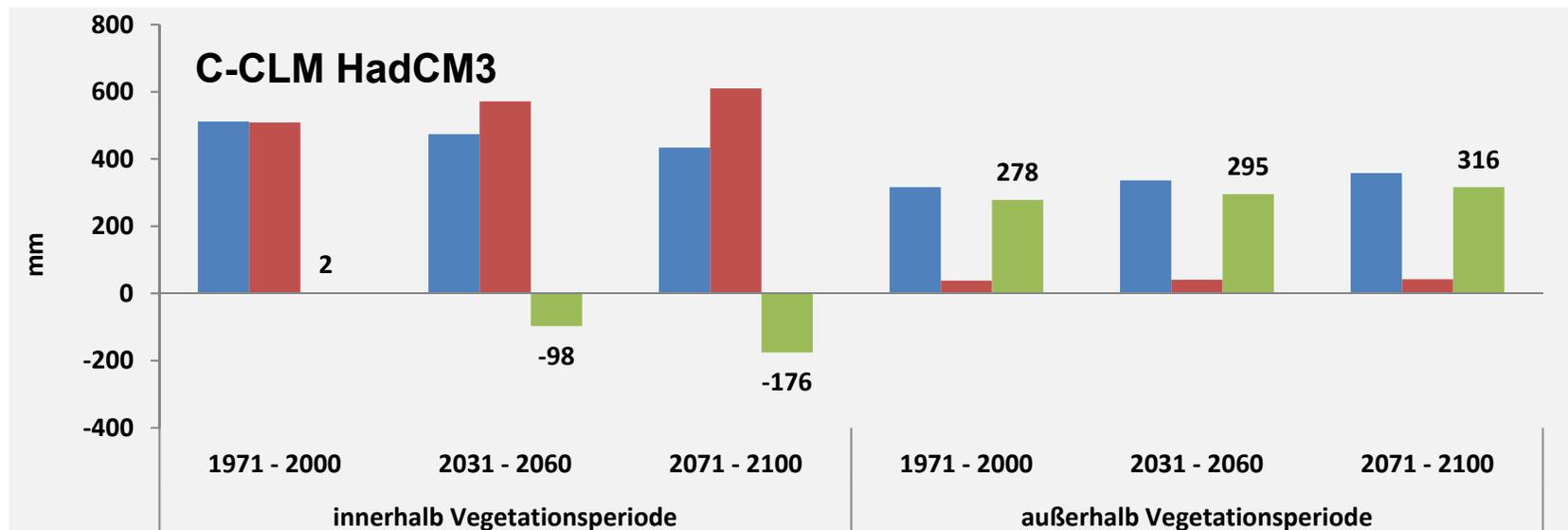
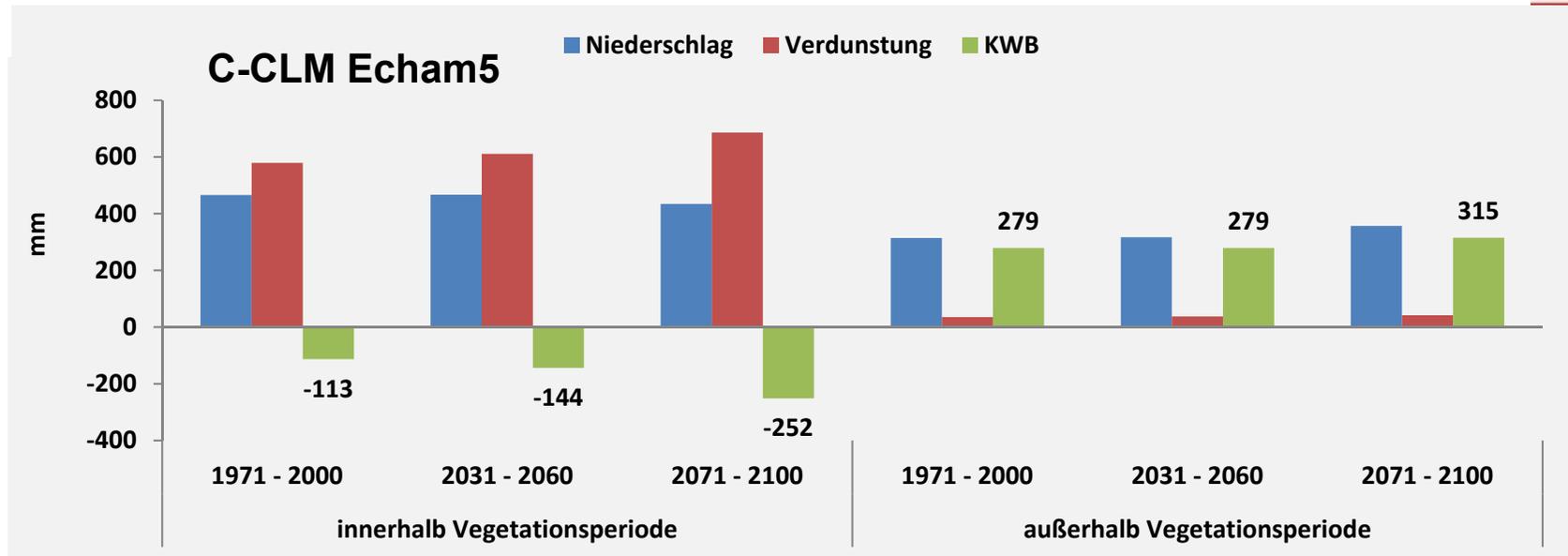
- Zunahme und Verlängerung von niederschlagsfreien Zeiträumen in Zukunft
- Bei gleichzeitiger Umverteilung der Niederschläge vom Sommer in den Winter



Erhöhung des Bewässerungsbedarfes

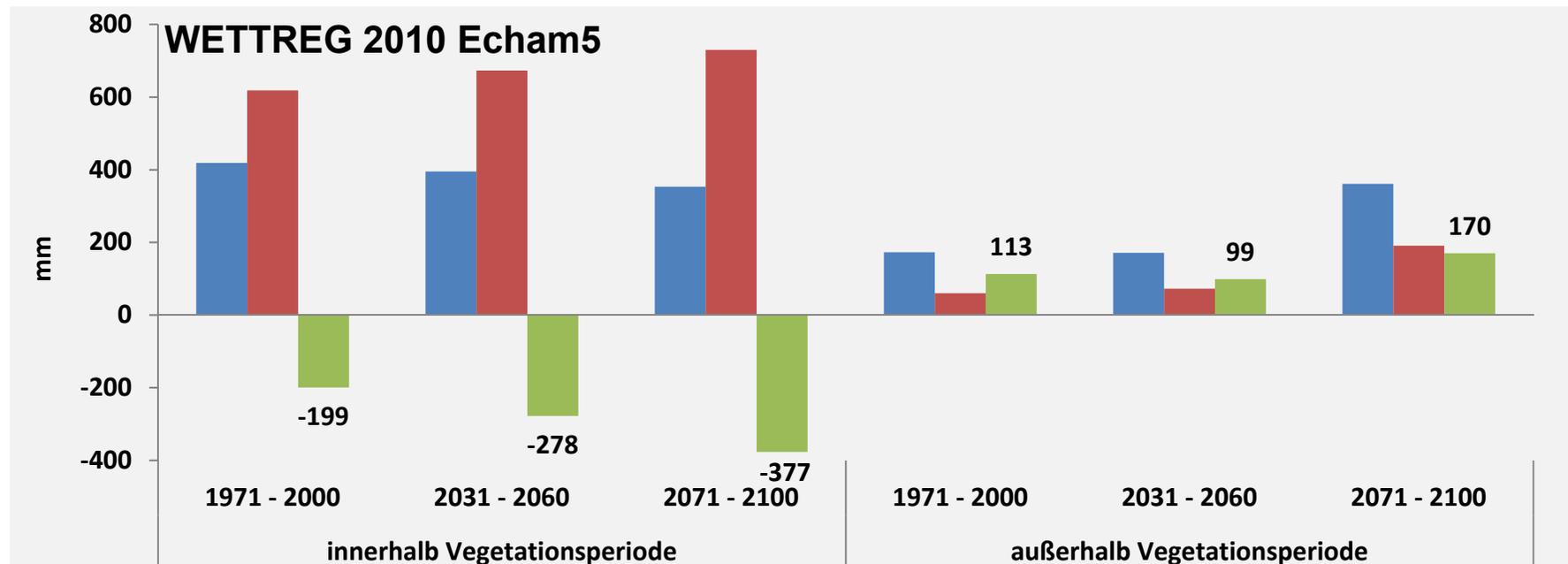
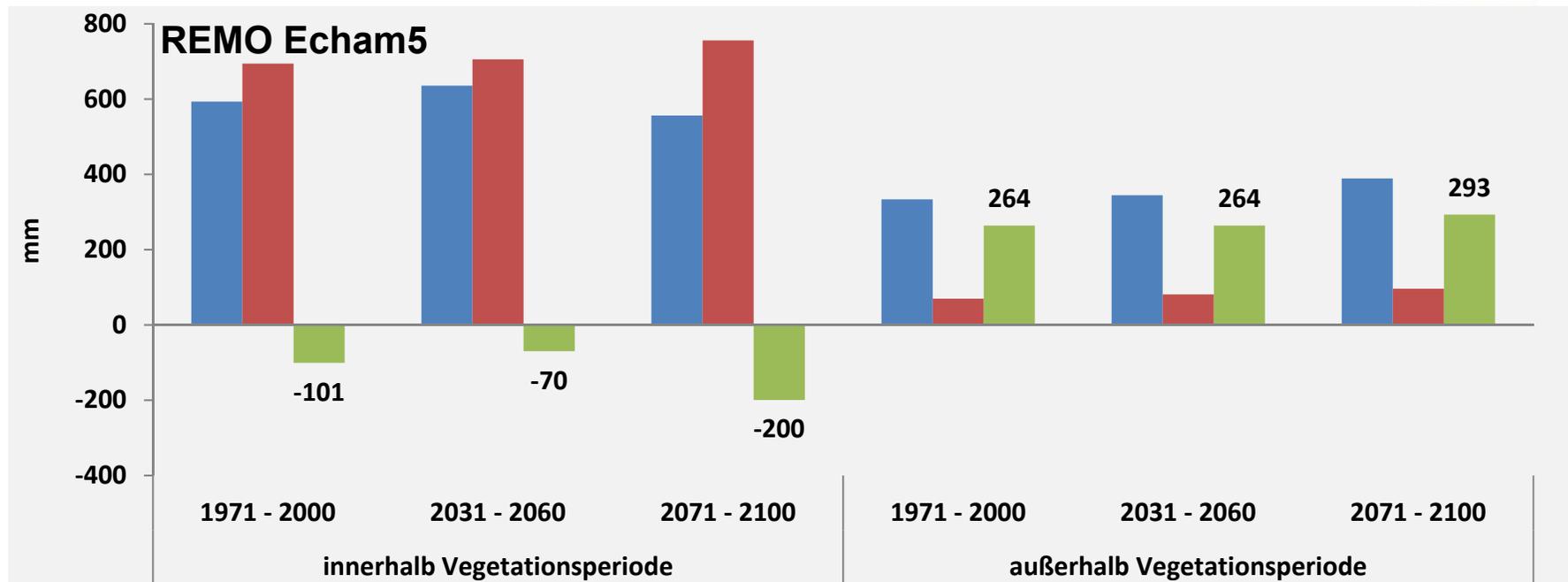
Ergebnisse: Klimatische Wasserbilanz (KWB)

Berechnet sich aus den Niederschlägen abzüglich der potentiellen Verdunstung und dient als ein Indikator zur Abschätzung des Wasserdargebots an einem Stand



Ergebnisse: Klimatische Wasserbilanz (KWB)

HESSEN

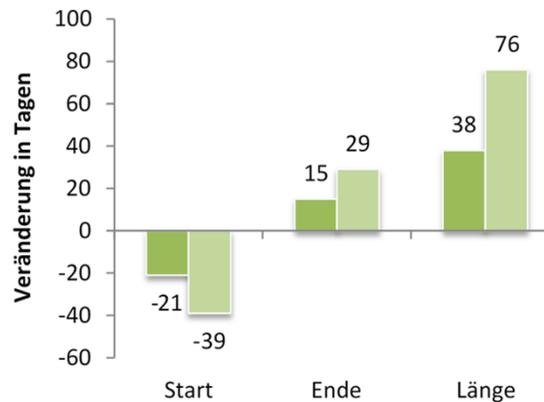


Ergebnisse: Thermische Vegetationsperiode

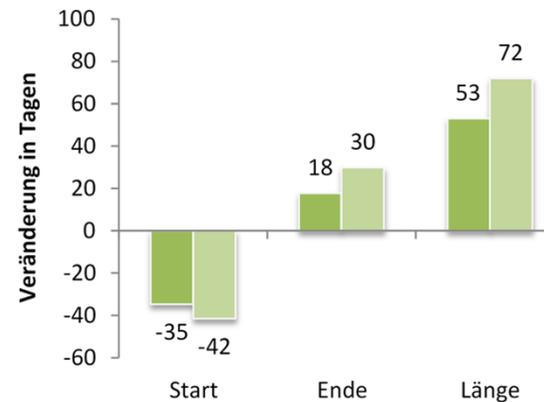
Die stärksten Veränderungen treten zum Ende des Jahrhunderts auf, da die Temperaturschwelle von 5°C für den Vegetationsbeginn bereits im Januar überschritten wird. Das Vegetationsende wird erst im November/Dezember erreicht.



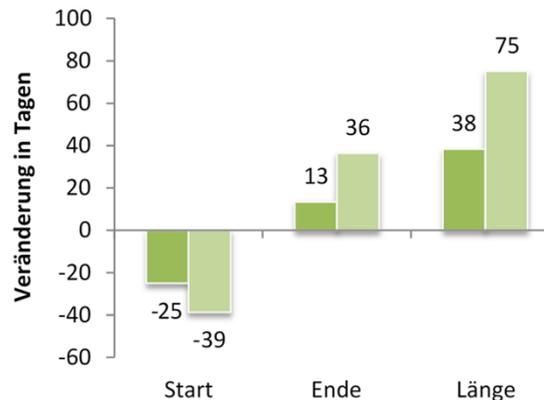
a) C-CLM ECHAM5



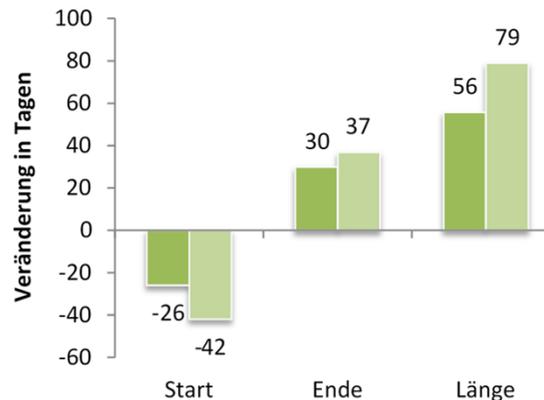
b) C-CLM HadCM3



c) REMO ECHAM5



d) WETTREG 2010 ECHAM5



■ 2031 - 2060 im Vgl. zu 1971 - 2000

■ 2071 - 2100 im Vgl. zu 1971 - 2000

In allen Modellkombinationen ergeben sich **Trends hin zu längeren thermischen Vegetationsperioden** im Vergleich zum Referenzzeitraum 1971 – 2000.

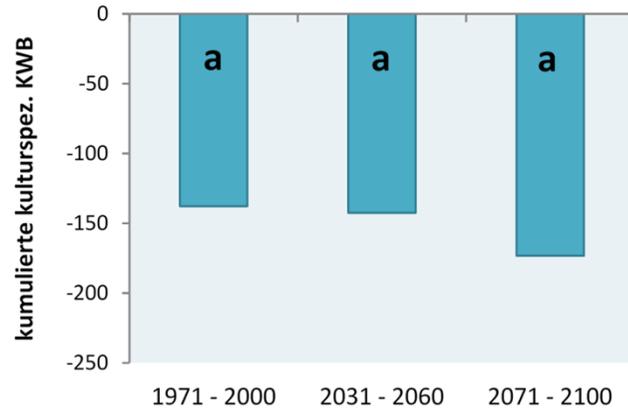
Also eine **Verfrühung des Vegetationsbeginns bzw. Verspätung des Vegetationsendes.**

Dargestellt ist die Veränderung in Tagen für den Start, das Ende und die daraus resultierende Länge der thermischen Vegetationsperiode basierend auf dem Vergleich mit der Referenzperiode 1971 - 2000.

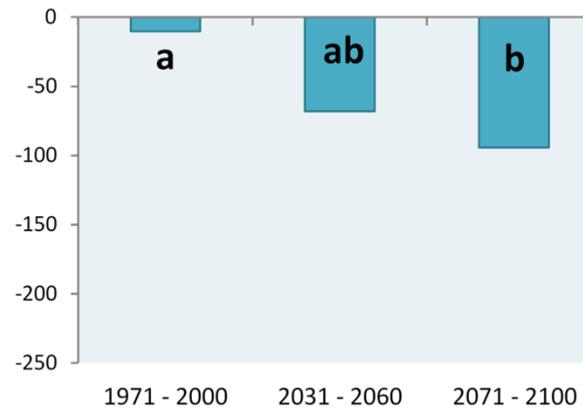
Kumulierte kulturspezifische klimatische Wasserbilanz [mm] für Zwiebeln im 30jährigen Mittel unter der Annahme, dass die Vegetationsperiode den Zeitraum von März bis Oktober umfasst



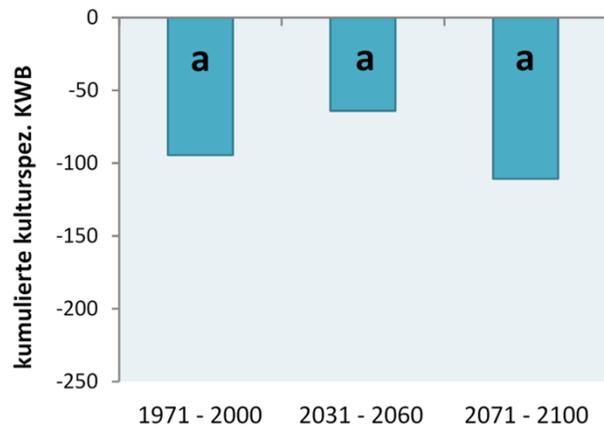
a) C-CLM Ecam5



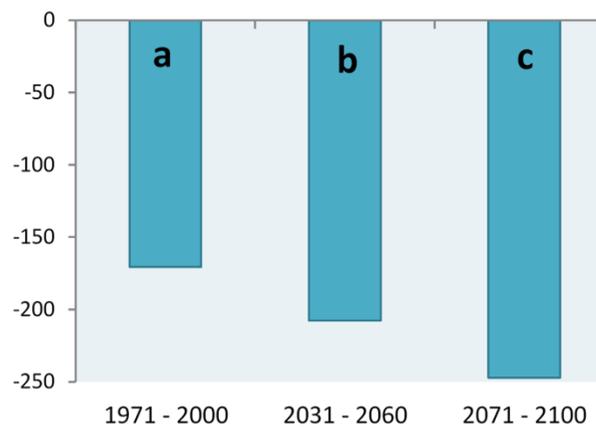
b) C-CLM HadCM3



c) REMO Ecam5



d) WETTREG 2010 Ecam5



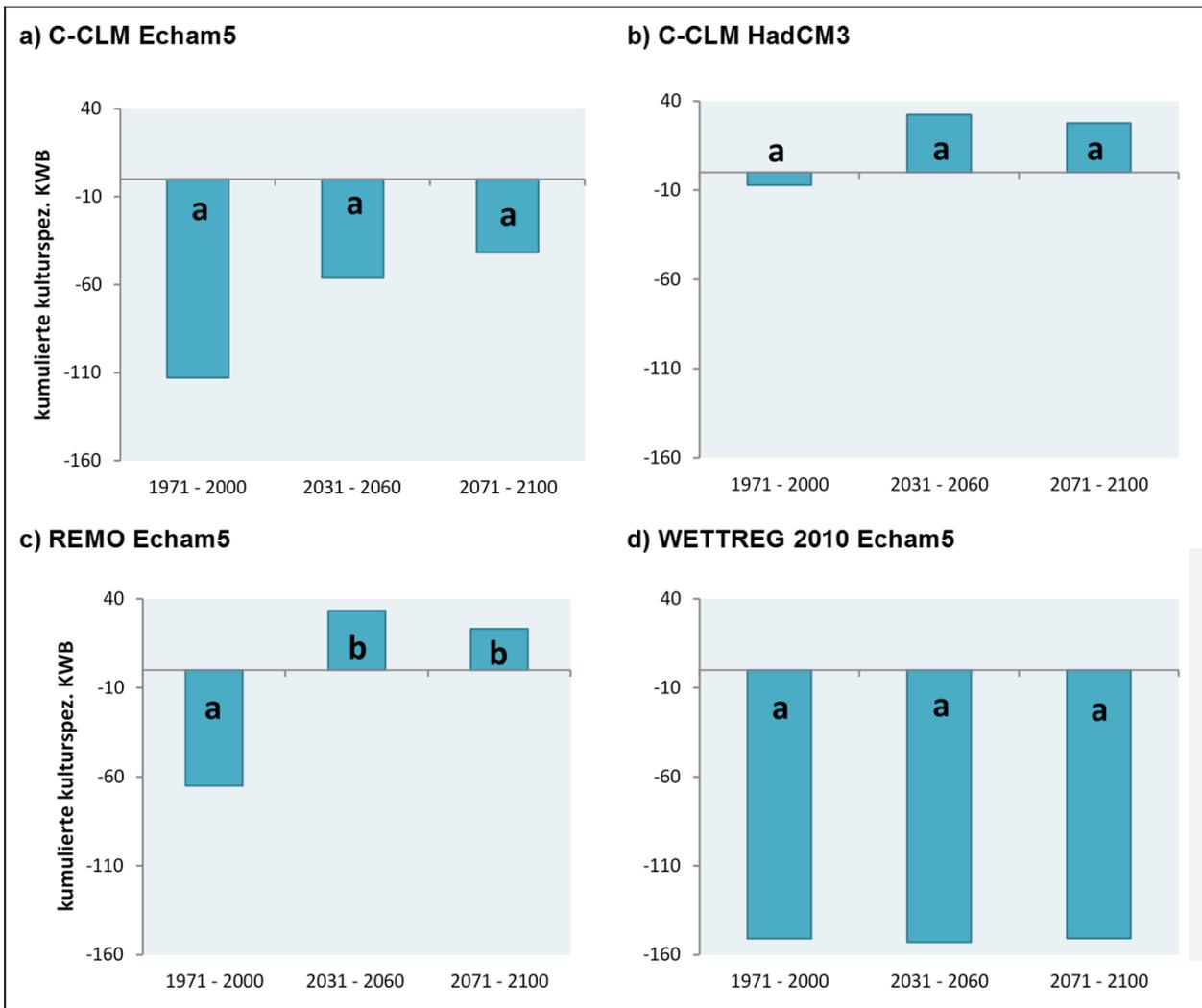
Zunehmend negativer werdende KWB.



Steigende Temperaturen, höhere potentielle Verdunstung und Umverteilung der Niederschläge vom Sommer in den Winter.

Signifikante Unterschiede zwischen den Zeiträumen sind mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet (ANOVA bzw. Kruskal-Wallis, Tukey, alpha = 5%)

Kumulierte kulturspezifische klimatische Wasserbilanz [mm] für Zwiebeln im Hessischen Ried (Flächenmittel) im 30jährigen Mittel unter Berücksichtigung einer Verschiebung des Anbauzeitraums.



KWB weisen mit zunehmender Zeit geringere Defizite aus.

↓

Höhere Niederschläge im Frühjahr und geringere potentielle Verdunstung.

Signifikante Unterschiede zwischen den Zeiträumen sind mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet (ANOVA bzw. Kruskal-Wallis, Tukey, alpha = 5%)

Gegenüberstellung von Kennzahlen für die Zeiträume 1971 - 2000, 2031 - 2060 und 2071 - 2100 im Mittel über alle Modellkombinationen, jeweils für die Variante „Anbau ohne“ und „mit zeitlicher Anpassung“.



Kultur	Zeitraum	Anbau ohne zeitliche Anpassung				Anbau mit zeitlicher Anpassung			
		Kulturdauer	spez. KWB	Zusatzwasserbedarf		Kulturdauer	spez. KWB	Zusatzwasserbedarf	
				Menge	Anzahl			Menge	Anzahl
		MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW
Zwiebel	1971 - 2000	138	-106	216	8	147	-87	217	8
	2031 - 2060	130	-122	232	8	160	-36	221	8
	2071 - 2100	122	-156	252	9	161	-35	231	8
Buschbohne	1971 - 2000	71	-4	63	2	78	-6	63	2
	2031 - 2060	66	-27	73	2	75	-13	68	2
	2071 - 2100	61	-56	85	3	74	-29	75	3
Spargel	1971 - 2000	140	26	109	3	133	22	100	3
	2031 - 2060	140	-40	164	4	152	-43	175	4
	2071 - 2100	140	-119	223	5	166	-127	254	6

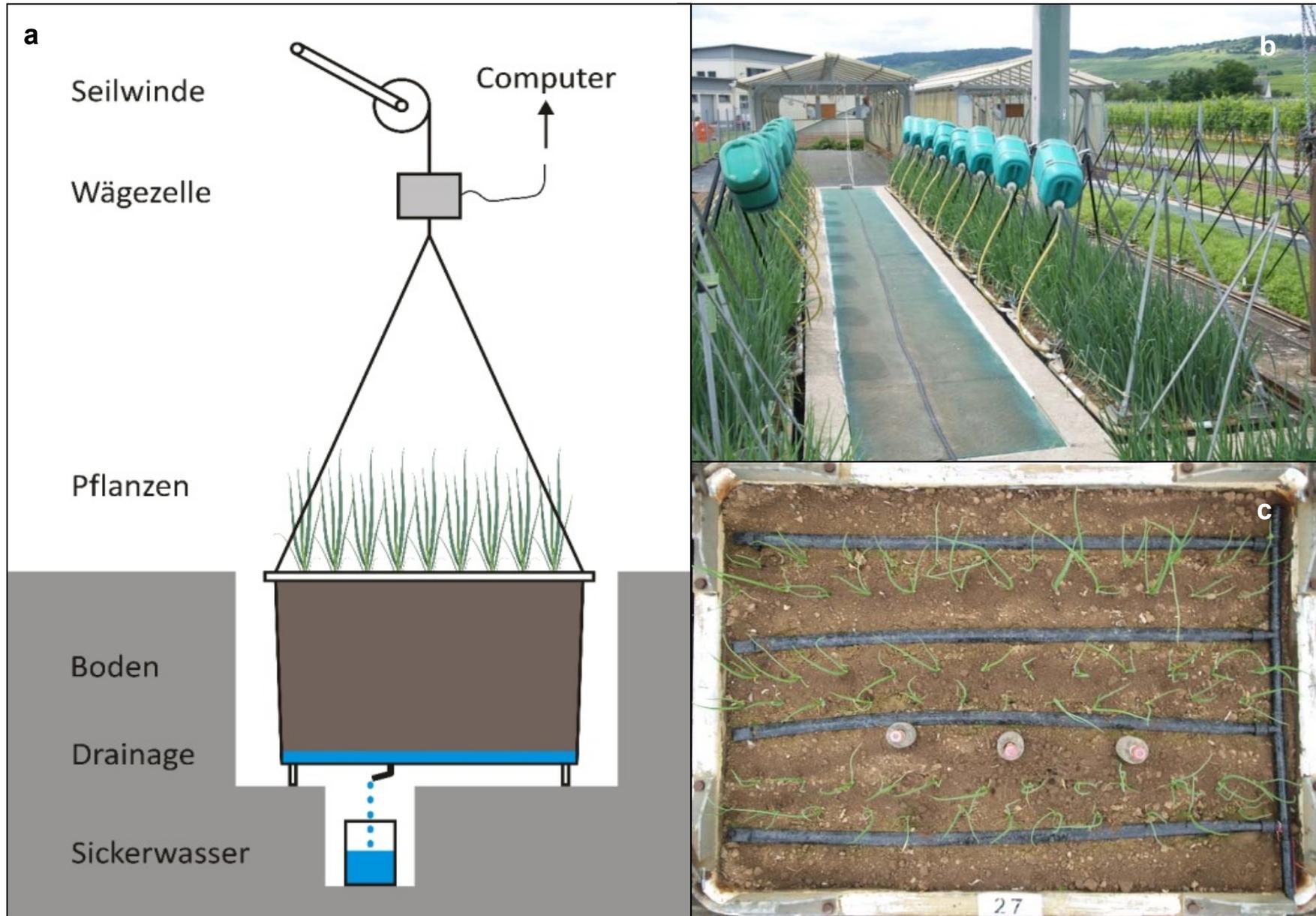
Ergebnisse: Modellversuch zur Bewässerung und Stickstoffverlagerung von Zwiebeln im Lysimeter



Untersucht wurde der Einfluss einer Niederschlagsumverteilung vom Sommer in den Winter auf Pflanzenentwicklung, Zusatzwasserbedarf, Sickerwasserbildung sowie den Nitrataustrag von Speisezwiebeln in einem Gefäßversuch unter Freilandbedingungen in den Jahren 2011 bis 2013.

Basis waren mittlere Niederschlagsverteilungen des Standorts Mannheim der Jahre 1971 bis 2000 mit einer mittleren Niederschlagsmenge von 674 mm pro Jahr (Variante 1)

In weiteren Versuchsvarianten wurden die Niederschläge der Monate Mai bis August um 10%, 20% oder 40% reduziert, in dem entsprechend viele Niederschlagsereignisse aus dem Regenplan - zufällig ausgewählt - entfernt wurden.



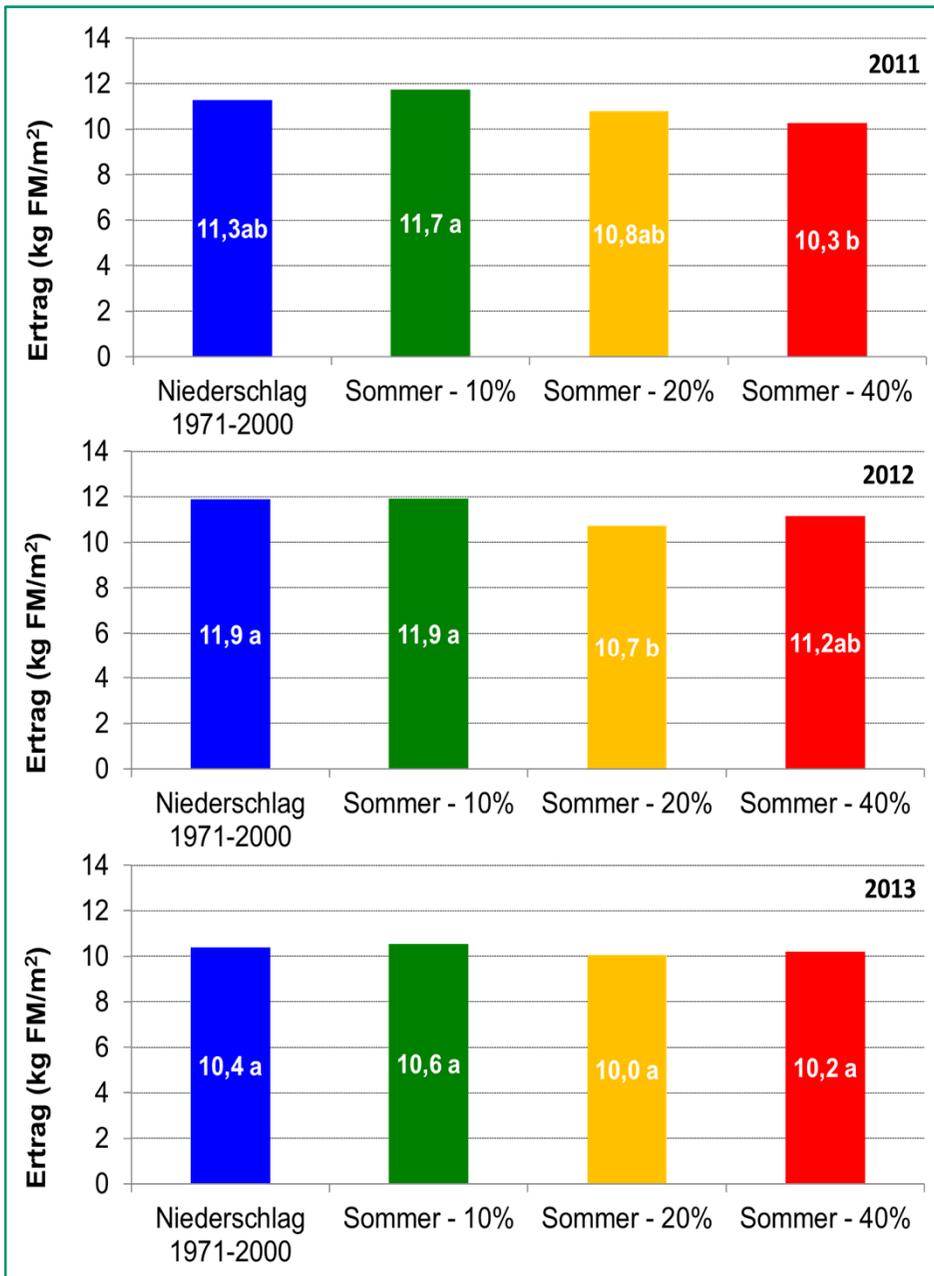
- a) Schematische Darstellung der Geisenheimer Lysimeter.
- b) Im Hintergrund sind die fahrbaren, sensorgesteuerten Regenschutzdächer zu sehen.
- c) Draufsicht Lysimeter mit Zwiebeln und Tropfbewässerung.

Verteilung der monatlichen Niederschläge (mm/m²) bei vier Niederschlagsszenarien Zwiebel im Lysimeterversuch.



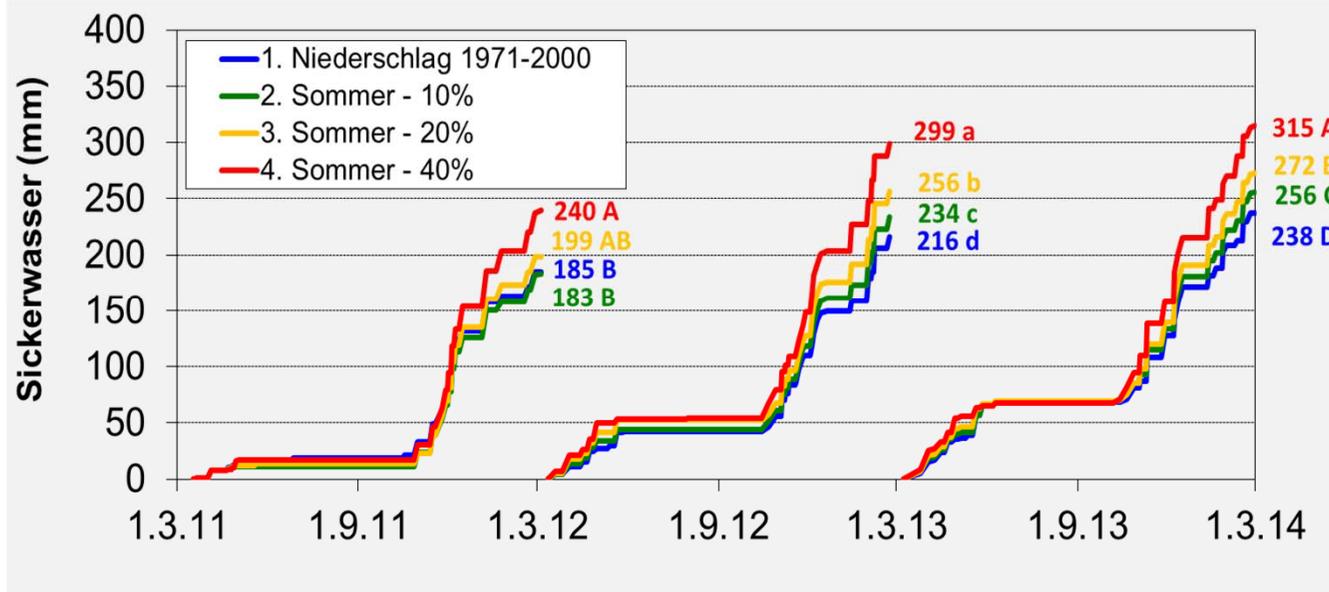
	1. Niederschlag 1971-2000	2. Sommer - 10%	3. Sommer - 20%	4. Sommer - 40%
März	40	44	48	54
April	44	48	52	58
Mai	70	62	56	42
Juni	86	78	68	54
Juli	86	78	70	52
August	52	46	40	30
September	58	62	66	72
Oktober	50	54	58	66
November	62	64	68	76
Dezember	48	52	56	62
Januar	40	44	48	56
Februar	38	42	44	52
Summe Mai bis Aug	294	264	234	178
Summe Sep. bis April	380	410	440	496
Summe	674	674	674	674

Frishmasse (kg/m²) von Zwiebeln im Lysimeter bei unterschiedlichen Niederschlagsverteilungsszenarien für die Versuchsjahre 2011, 2012 und 2013

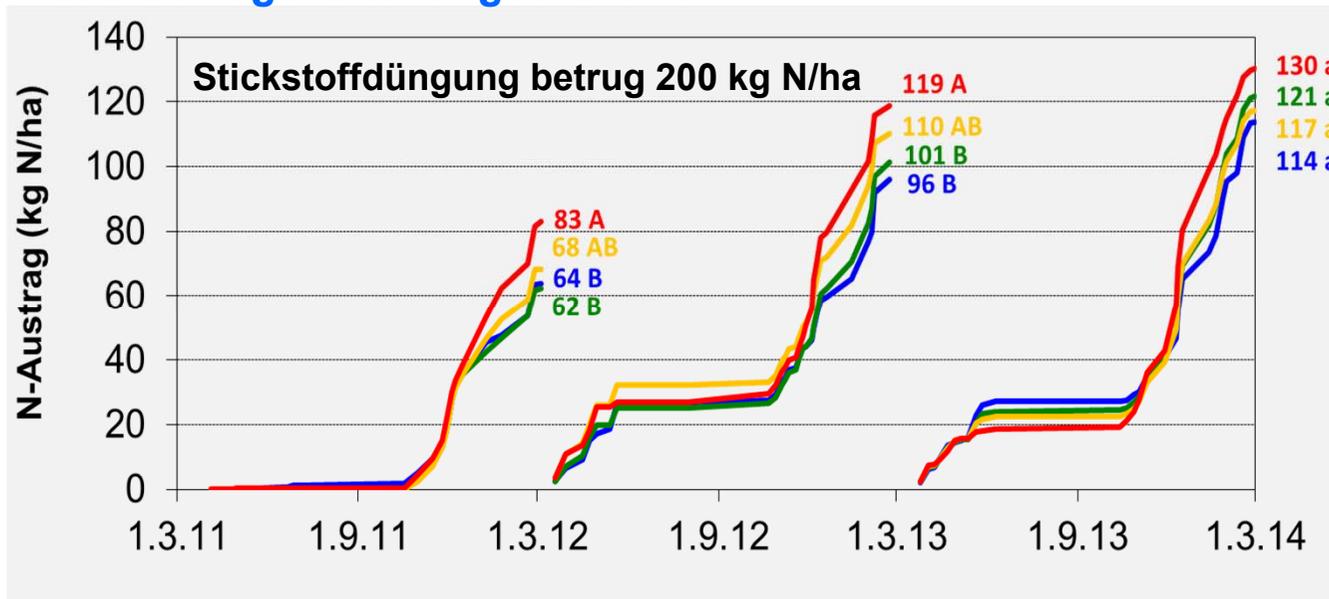


Signifikante Unterschiede zwischen den Zeiträumen sind mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet (ANOVA bzw. Kruskal-Wallis, Tukey, alpha = 5%)

Zeitlicher Verlauf der Sickerwassermengen (mm) bei Zwiebeln im Lysimeter



N-Austrag (kg N/ha) bei Zwiebeln im Lysimeter mit unterschiedlichen Niederschlagsverteilungsszenarien



Stickstoffhaushalt von Zwiebeln im Lysimeter bei unterschiedlichen Niederschlagsverteilungsszenarien im Jahr 2012 (Beispiel)



Variante	N-Zufuhr		N-Entzug		N-Austrag		N-Zufuhr		N-Abfuhr		Saldo		
	Düngung	Laub	durch Pflanze				gesamt	gesamt					
1. Niederschlag 1971-2000	200	21,6	a	200,2	a	95,9	B	221,6	a	296,1	a	-74,4	A
2. Sommer - 10%	200	22,0	a	195,6	a	101,2	AB	222,0	a	296,9	a	-74,8	A
3. Sommer - 20%	200	22,3	a	171,8	a	110,2	AB	222,3	a	282,0	a	-59,7	A
4. Sommer - 40%	200	22,1	a	176,5	a	118,8	A	222,1	a	295,3	a	-73,2	A

ab: F-Test, Mittelwertvergleich nach Tukey innerhalb der Jahre, $\alpha = 0,05\%$

A,B: Kruskal-Wallis-Test, Mittelwertvergleich nach Bonferroni innerhalb der Jahre, $\alpha = 0,05\%$



Düngebedarfsempfehlungen ohne Berücksichtigung der Stickstoffmineralisation der Böden und der Stickstoffnachlieferung aus den Ernteresten führt zu hohen Stickstoffausträgen.

Austauschhäufigkeit des Bodenwassers der Lysimeter bei unterschiedlichen Niederschlagsverteilungsszenarien infolge Sickerwasserbildung



	Variante	2011		2012		2013	
1.	Niederschlag 1971-2000	2,1	B	2,4	d	2,7	D
2.	Sommer - 10%	2,0	B	2,6	c	2,9	C
3.	Sommer - 20%	2,2	AB	2,9	b	3,0	B
4.	Sommer - 40%	2,7	A	3,3	a	3,5	A

a,b: F-Test, Mittelwertvergleich nach Tukey innerhalb der Jahre, $\alpha = 0,05\%$;

A,B: Kruskal-Wallis-Test, Mittelwertvergleich nach Bonferroni innerhalb der Jahre, $\alpha = 0,05\%$

Eine „Lysimeter-Füllung“ Bodenwasser entspricht rund 70 Liter Wasser

Reduzierte Sommerniederschläge werden durch zunehmende Bewässerungsmengen ausgeglichen. Bewässert wird bei Unterschreitung der nutzbaren Feldkapazität (nFK) von 60% auf jeweils 90% nFK.



Dies führt in Verbindung mit erhöhten Niederschlagsmengen außerhalb der Vegetationsperiode zu einem höheren Sickerwasseranfall.



Die Austauschhäufigkeit der Lysimeter nimmt mit steigender Niederschlagsumverteilung in den Winter zu.



Fazit

- Die Analyse der Niederschlagscharakteristika zeigte für alle verwendeten Kombinationen aus den Regionalisierungs- und Globalmodellen eine Umverteilung der Niederschläge vom Sommer (bis zu -24%) hin zum Winter (bis zu +18%).
- In allen Projektionen ergaben sich höhere Häufigkeiten und eine zeitliche Verlängerung von niederschlagsfreien Perioden innerhalb der Vegetationsperioden.

Im Vergleich zur Referenzperiode (1971 – 2000) nimmt für die Zeiträume 2031-2060 und besonders für 2071-2100 in allen vier Modellkombinationen die Evapotranspiration zu. In Kombination mit dem Trend abnehmender Niederschläge führte dies zu einer stärker negativen klimatischen Wasserbilanz (KWB) und damit zu einer Zunahme der Wasserbedarfe in die gemüsebauliche Produktion.

Die großen Bandbreiten sind den unterschiedlichen Ausprägungen der Klimaprojektionen hinsichtlich der modellierten Niederschlagsverhältnissen geschuldet. Dies macht deutlich, dass nur die Verwendung von einer ausreichenden Anzahl möglicher Klimaprojektionen zu belastbaren Aussagen hinsichtlich Veränderungen des Wasserhaushaltes führt.



Fazit

Die Modellierungen der zukünftigen Zusatzwasserbedarfe ergeben ebenfalls große Spannbreiten. Deutlich wird jedoch, dass mit einem deutlichen Mehr an Zusatzwasser zu rechnen sein wird.

Die simulierten thermischen Vegetationsperioden für die beiden Zukunftsperioden verlängerten sich signifikant im Vergleich zur Referenzperiode, wobei sowohl eine Verfrühung der Anbauperiode (Aussaat- und Pflanztermine bereits in den Wintermonaten) als auch ein späteres Kulturende zu verzeichnen war.

Die zeitliche Adaptierung der Kulturführung auf die veränderten Vegetationsperioden machte sich durch weniger negativer KWB und damit niedrigere kulturspezifische Wasserbedarfe bemerkbar.

Hingegen wies eine zeitlich unveränderte Vegetationsperiode (März bis Oktober) eine zukünftig stärker negative kulturspezifische KWB, bedingt durch höhere Temperaturen auf. Dies geht mit steigenden Bewässerungsbedarfen einher.

Fazit

Die Wirkung der projizierten Umverteilung von Niederschlägen aus den Monaten Mai bis August in die Monate September bis April wurde im Rahmen eines Lysimeterversuchs untersucht.

Die Bewässerungsmenge stieg in den drei Versuchsjahren um maximal 27 bis 48 mm bei verschiedenen Szenarien an.

Die Sickerwassermengen stiegen in den drei Versuchsjahren um maximal 55 bis 77 mm pro Jahr gegenüber der Kontrollvariante an.

Gleichfalls stiegen die Austauschhäufigkeiten, und damit verbunden die Stickstoffausträge, gegenüber der Kontrollvariante an.

Der zunehmenden Wasserbedarf wird in Zukunft eine effiziente und weitgehend automatisierte Bewässerungstechnik sowie Bewässerungssteuerung bedingen.

Die hohen Austauschraten, verbunden mit hohen Stickstoffverlusten, die durch die projizierten Niederschlagsumverteilungen noch gesteigert werden, sollten Anlass zu einem Überdenken der etablierten Düngergaben und Bewässerungsgaben sein.

Handlungsempfehlungen:



- ▶ **Ausbau vorhandener sowie Schaffung neuer regionaler und örtlicher Verbundsysteme zur Kompensation von Spitzenverbrauchsphasen und Dargebotseinschränkungen**
- ▶ **Einsatz effizienter Bewässerungstechniken**
- ▶ **Überarbeitete, computergestützte Bewässerungssteuerung**
- ▶ **Anbau von Kulturen und Sorten, die weniger Wasser verbrauchen bzw. mehr Wasserstress vertragen**
- ▶ **Überarbeitungen der Düngebedarfe für Gemüsekulturen**
- ▶ **Möglichst geschlossene Bestände (z. B. Winterbegrünung), um die Nährstoffe vor Auswaschung zu schützen**
- ▶ **Aktualisierung der Simulationen auf Grundlage „Regionale Klimaprojektionen Ensemble für Deutschland (ReKliEs-De)“**