

Julia Kieslinger, Maximilian Brönnner, Carina Austermühl und Perdita Pohle

Veränderungen der landwirtschaftlichen Nutzung in Bayern seit 1999 – Spielt der Klimawandel eine Rolle?

Vor dem Hintergrund des Klimawandels als potenzieller Einflussfaktor diskutiert der vorliegende Artikel Veränderungen in der landwirtschaftlichen Nutzung in Bayern seit 1999. Mit Hilfe einer raum-zeitlichen Sekundärdatenanalyse wird ein Überblick über Flächenentwicklungen und Erntedynamiken gegeben. Neben der Abnahme der landwirtschaftlichen Nutzfläche insgesamt, wurde bei den Dauergrünlandflächen ein bayernweiter Rückgang und bei den Ackerflächen eine Abnahme in den nördlichen/östlichen sowie eine Zunahme in den südlichen/westlichen Landkreisen deutlich. Eine Flächenzunahme ist bei Weizen, Silomais und Körnermais zu verbuchen. Die Ernteerträge lagen im Jahr 2019 bei allen Kulturpflanzen, abgesehen von Kartoffeln und Silomais, höher als im Jahr 1999. Ertragseinbußen wurden besonders in den Jahren 2003, 2013, 2015 und 2018 deutlich, die von Niederschlagsmangel, Trockenheit, überdurchschnittlich hohen Temperaturen und vielen Hitzetagen in den Sommermonaten geprägt waren. Ein Zusammenhang zwischen dem Klimawandel und der landwirtschaftlichen Nutzung in Bayern ergibt sich vor allem indirekt über klimapolitische Maßnahmen (Erneuerbare-Energien-Gesetz) und deren Folgen in den Flächenentwicklungen (Zunahme Maisanbau). Außerdem korrelieren die Ertragseinbrüche im Ackerbau mit den in den vergangenen zehn Jahren gehäuft aufgetretenen Witterungsextremen. In der landwirtschaftlichen Produktion werden Anpassungsmaßnahmen im Umgang mit Klimafolgen und Extremwetterereignissen zunehmend wichtiger.

Schlagwörter: **Bayern, Klimawandel, Witterungsextreme, landwirtschaftliche Nutzung, Flächenentwicklungen, Erntedynamiken**

1 Einführung

Landnutzung wird von anthropogenen Faktoren und natürlichen Standortfaktoren bestimmt; dabei unterliegen Art, Intensität und Zweck der Nutzung einem stetigen Wandel. Landnutzungsveränderungen resultieren aus veränderten Landnutzungspraktiken, die sich an institutionellen (rechtlichen und politischen) Rahmenbedingungen sowie technologischen, wirtschaftlichen, sozialen und ökologischen Entwicklungen orientieren und spiegeln Veränderungen gesellschaftlicher Ansprüche an die Landnutzung wider (GÖMANN/WEINGARTEN 2018: 1–2; SCHIMMELPFENNIG et al. 2018). In Deutschland wird seit den 1950er Jahren eine Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsflächen sowie die Intensivierung der landwirtschaftlichen Flächennutzung beschrieben (GÖMANN/WEINGARTEN 2018: 2). Durch das Sichtbarwerden der damit verbundenen negativen Umweltfolgen, wie z.B. Biodiversitätsverlust, Bodendegradation, Beeinträchtigung des Wasserhaushalts, gewinnen seit den 1980er Jahren Aspekte der Nachhaltigkeit in der Landnutzung zunehmend an Bedeutung (WEINGARTEN 2020: 39). An die landwirtschaftliche Nutzung werden aktuell vielfältige Ansprüche gestellt, u.a. die Sicherstellung der Nahrungsversorgung, die Sicherung der landwirtschaftlichen Einkommen, die Bewahrung von

Kulturlandschaften und eine Beitragsleistung zum Umweltschutz. Im Zuge des Klimawandels wird der landwirtschaftlichen Nutzung eine besondere Rolle beigemessen. Einerseits ist neben der Forstwirtschaft vor allem die Landwirtschaft von primären und sekundären Klimafolgen betroffen (SCHIMMELPFENNIG et al. 2018: i), andererseits bieten nachhaltige Bewirtschaftungsverfahren ein hohes Potenzial für den Klimaschutz (Agrar-Atlas 2019: 44–45).

Während allgemeine Entwicklungen in Bezug auf den Landnutzungswandel in Deutschland bereits ausgiebig beschrieben wurden (vgl. z.B. GÖMANN/WEINGARTEN 2018, HOYMAN et al. 2021), sollen in diesem Artikel regionale Trends in Bezug auf Veränderungen der landwirtschaftlichen Nutzung in Bayern seit 1999 anhand von Sekundärdaten identifiziert, räumlich dargestellt und im Kontext relevanter sozialer, ökologischer, ökonomischer und politischer Rahmenbedingungen beleuchtet werden. Ein besonderes Augenmerk wird dabei auf den Zusammenhang zwischen der Entwicklung der landwirtschaftlichen Nutzfläche, der ackerbaulichen Produktion und Klimaveränderungen gelegt. Bayern weist im Vergleich zu anderen Bundesländern die größte Landwirtschaftsfläche auf (*Statistisches Bundesamt* 2020) und verfügt gleichzeitig über eine große Vielfalt an Agrarlandschaften. Die klimatischen

Veränderungen in Bayern wurden zuletzt im Klima-Report Bayern 2021 eindrücklich beschrieben; dabei wurde zwischen 1951 und 2019 ein Erwärmungstrend von 1,9 °C sowie veränderte Niederschlagsmengen mit einer leichten Abnahme im Sommer festgestellt (*StMUV* 2021: 43). Beobachtbare Trends wie eine geringe Zunahme der Niederschläge im Herbst, Winter und Frühjahr, sowie ein Anstieg von Extremwetterereignissen (z.B. Starkregen und Dürre) sind bislang nicht statistisch signifikant (ebd.). Welche Veränderungen in der landwirtschaftlichen Nutzfläche und der ackerbaulichen Produktion in Bayern auf den Klimawandel zurückzuführen sind, soll deshalb im vorliegenden Artikel thematisiert werden. Nach der Erläuterung der Methodik und des Datenmaterials werden Veränderungen der landwirtschaftlichen Nutzflächen in Bayern seit 1999 aufgezeigt sowie Anbau- und Erntedynamiken in der ackerbaulichen Nutzung analysiert. Dabei werden die Entwicklungen der Hektarerträge der wichtigsten Kulturarten mit der agrarmeteorologischen Situation ausgewählter Jahre verglichen. Am Beispiel des Silomais werden zusammenfassend die Ursachen für die beschriebenen Entwicklungen diskutiert. Abschließend wird reflektiert, inwieweit der Klimawandel in Bayern bei den Entwicklungen in der landwirtschaftlichen Nutzung eine Rolle spielt.

2 Methodik und Datenmaterial

Für die Analyse der raum-zeitlichen Flächenentwicklung der landwirtschaftlichen Nutzung sowie der Anbaudynamiken einzelner Kulturpflanzen wurden Daten der Agrarstrukturerhebungen herangezogen. Sie basieren auf regelmäßig bundesweit stattfindenden Befragungen der landwirtschaftlichen Betriebe; sämtliche Vorgaben sind im Agrarstatistikgesetz (*AgrStatG*) und dem Bundesstatistikgesetz (*BStatG*) festgelegt. Ziel der Erhebungen ist es, Betriebsstrukturen sowie den ökonomischen und sozialen Status quo innerhalb des primären Sektors nachzuvollziehen. Die technischen und methodischen Vorgaben sowie die Koordinierung sind vom Statistischen Bundesamt zentral geregelt, die Datengewinnung und Aufbereitung der erhobenen Daten liegt in der Verantwortlichkeit der einzelnen Landesämter für Statistik (*Statistisches Bundesamt* 2017: 6). Auch wenn die Agrarstrukturerhebungen genauere Informationen zur Landnutzung zum Erhebungszeitpunkt liefern als die Daten, die im Rahmen der jährlichen Flächenerhebung im Amtlichen Liegenschaftskataster-Informationssystem (*ALKIS*) erfasst werden und auf der digitalen Ermittlung von geometrischen Flächen anhand von Luftaufnahmen beruhen, ergeben sich auch hier gewisse Ungenauigkeiten bei den

Flächenangaben, da nur Betriebe auskunftspflichtig sind, die eine Mindestgröße von 5 Hektar aufweisen. Die letzte Agrarstrukturerhebung fand im Jahr 2020 statt (*LfStat* 2020a). Diese Daten sind derzeit jedoch nur als vorläufige Zahlen auf Ebene der Bundesländer verfügbar; detaillierte Angaben der jeweiligen Landesstatistikämter auf Ebene der Landkreise sind noch ausständig (Stand: Januar 2021).

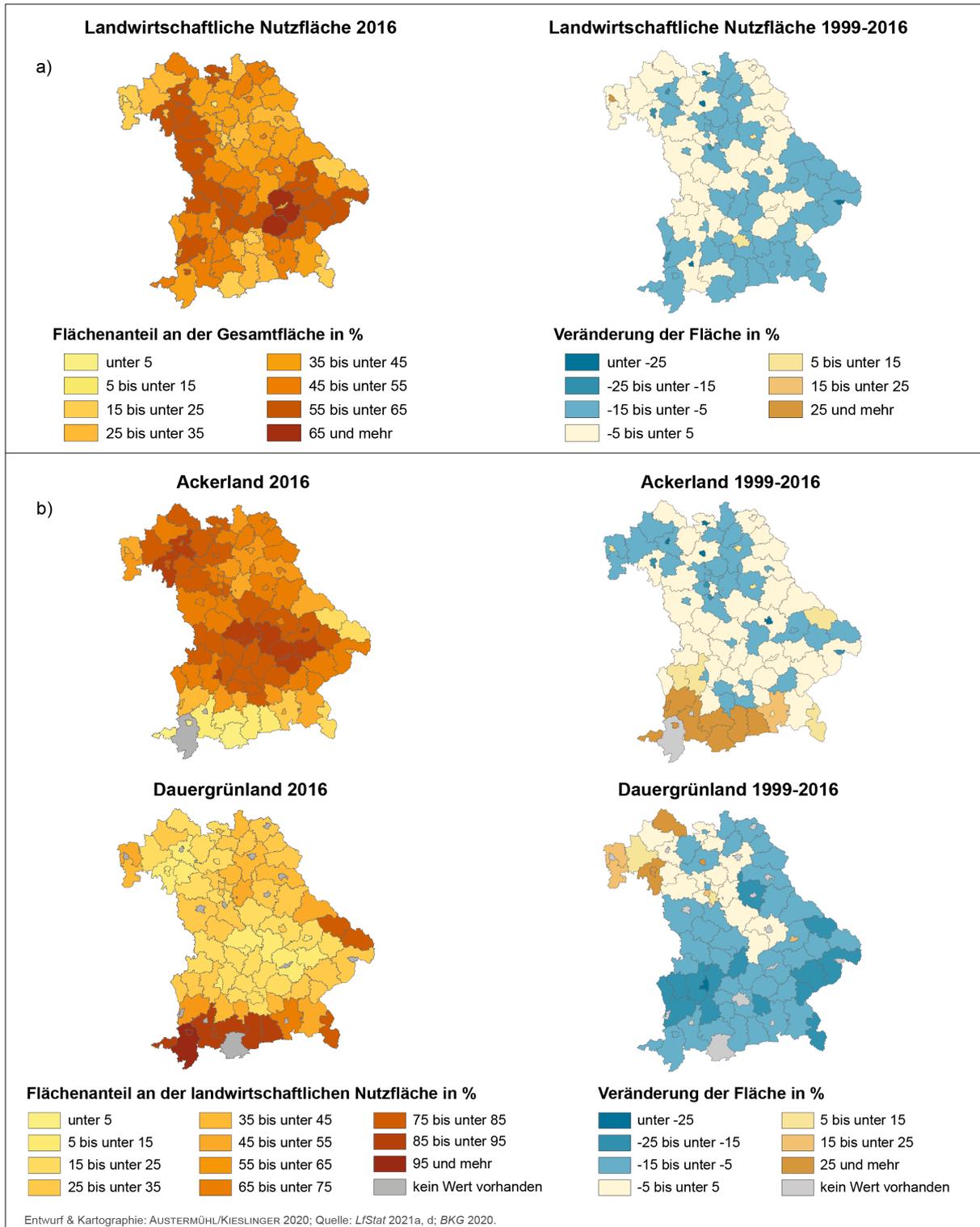
Die Hektarerträge einzelner Kulturarten werden bundesweit über eine Kombination aus Befragungen und Stichprobenverfahren erhoben (*Statistisches Bundesamt* 2021). Zufällig ausgewählte Probeflächen mit einem Stichprobenumfang $n=10.000$ dienen als Grundlage der späteren Hochrechnung. Die einzelnen statistischen Ämter der Länder führen die Befragung durch, die bundesweite inhaltliche Verantwortlichkeit liegt beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (ebd.). Um verlässliche Aussagen zur Signifikanz der dargestellten Trends der Hektarerträge treffen zu können, wurden die Daten mittels des MANN-KENDALL-Test auf Signifikanz überprüft. Ab einem Signifikanzniveau von 95% ($p < 0,05$) wird an dieser Stelle von einem Trend mit hoher Signifikanz ausgegangen, bei einem Signifikanzniveau von 90% ($p < 0,1$) von einer geringen Signifikanz.

3 Veränderungen der landwirtschaftlich genutzten Flächen in Bayern

Laut der letzten Agrarstrukturerhebung im Jahr 2020 betrug die landwirtschaftlich genutzte Fläche (*LWNF*) in Bayern insgesamt 3.079.500 Hektar; dies entspricht einem Anteil an der Gesamtfläche Bayerns von 43,7% (*LfStat* 2020b). Die landwirtschaftlichen Nutzflächen bestanden dabei zu 65% aus Ackerland (2.002.300 ha), 34,5% Dauergrünland (1.063.500 ha) und zu 0,4% aus Flächen für den Anbau von Dauerkulturen (13.700 ha). Im Vergleich zum Jahr 1999 lässt sich insgesamt eine Abnahme der *LWNF* um 6,5% feststellen (*LfStat* 2020b, 2021a). Der flächenmäßige Rückgang im Zeitraum von 1999 bis 2020 liegt beim Ackerbau bei 4,6%, beim Dauergrünland bei 9,6% und beim Anbau von Dauerkulturen bei 20,3%. Aus der jährlichen Flächenerhebung, erfasst im Amtlichen Liegenschaftskataster-Informationssystem (*ALKIS*), ist zu entnehmen, dass die kontinuierliche Abnahme der *LWNF* vor allem auf die Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsflächen zurückzuführen ist. Wald- und Wasserflächen verbuchen nur einen geringen Anstieg (*LfStat* 2021b, c). Der deutschlandweite Trend der kontinuierlichen Abnahme der landwirtschaftlichen Nutzflächen zugunsten von Siedlungs- und Verkehrsflächen ist somit auch in Bayern

deutlich sichtbar (LfStat 2021b, c; StMELF 2020). Dies hat die Bayerische Landesregierung veranlasst, sich in ihrer Nachhaltigkeitsstrategie den Zielen der Deutschen Bundesregierung mit einer Begrenzung der durchschnittlichen Zunahme der Siedlungs- und

Verkehrsflächen bis zum Jahr 2030 auf weniger als 30 ha pro Tag anzuschließen (Die Bundesregierung 2020: 269). Langfristig soll landes- wie bundesweit eine deutliche Reduzierung des Flächenverbrauchs bis hin zu einer Flächenkreislaufwirtschaft ohne weiteren



Flächenneuverbrauch erzielt werden (*Die Bundesregierung 2020: 269; Bayerische Staatsregierung o.J.*). Im Bayerischen Landesplanungsgesetz (BayLpLG Art. 6) wird bis in das Jahr 2030 bei der erstmaligen planerischen Inanspruchnahme von Freiflächen für Siedlungs- und Verkehrszwecke eine landesweite Richtgröße von 5 ha pro Tag angestrebt (*Bayerische Staatskanzlei 2012/2020*).

Abgesehen von diesem allgemeinen Trend lassen sich in Bayern jedoch auch regionale Unterschiede in der Zu- oder Abnahme landwirtschaftlich genutzter Flächen feststellen¹. In Abbildung 1 sind auf Landkreisebene a) die Anteile der LWNF an der Gesamtfläche für 2016 und die Entwicklung der Flächenanteile von 1999–2016 sowie b) die Anteile von Ackerland und Dauergrünland an der LWNF und die Entwicklung der Flächenanteile von 1999–2016 wiedergegeben.

Besonders hohe Anteile der LWNF an der Gesamtfläche (55% und mehr) weisen in der Mainregion die Landkreise Coburg, Schweinfurt, Würzburg, Kitzingen, Neustadt a.d. Aisch - Bad Windsheim und Ansbach und in der Donauregion die Landkreise Donau-Ries, Dillingen a.d. Donau, Neuburg-Schrobenhausen, Aichach-Friedberg, Dachau, Freising, Erding, Landshut, Straubing-Bogen, Dingolfing-Landau, Mühldorf am Inn, Rottal-Inn und Passau auf (vgl. Abb. 1a). Landkreise mit den höchsten Anteilen an landwirtschaftlich genutzten Flächen zeigen von 1999–2016 meist nur geringe Veränderungen – abgesehen von Schweinfurt, Kitzingen, Neuburg-Schrobenhausen, Freising, Straubing-Bogen, Mühldorf am

Inn, Rottal-Inn, Passau, die eine Flächenabnahme von bis zu 15% verzeichnen. Landkreise mit geringeren Anteilen der LWNF an der Gesamtfläche und negativen Flächenentwicklungen von bis zu 15% sind vor allem in östlichen und südlichen Regionen Bayerns sowie im Norden im Übergangsbereich zwischen dem Ostbayerischen Hügel- und Bergland sowie der Main- und Donauregion zu finden.

Da **Ackerbau** und **Dauergrünland** den größten Anteil an der LWNF Bayerns ausmachen, werden diese Kategorien hinsichtlich ihrer räumlichen Verteilung und Entwicklung auf Landkreisebene nachfolgend genauer betrachtet (Abb. 1b). Ackerland macht insgesamt flächenmäßig den größten Anteil an der LWNF Bayerns aus. Ausnahmen stellen Landkreise im Allgäu, in den Bayerischen Alpen und im Bayerischen Wald dar, hier überwiegen die Dauergrünlandflächen. Die Landkreise mit den höchsten Flächenanteilen von über 85% an Ackerland sind Dingolfing-Landau, Landshut, Kelheim, Eichstätt, Würzburg und Schweinfurt. Die Landkreise mit den größten Flächenanteilen von über 85% Dauergrünland sind Lindau, Oberallgäu, Ostallgäu, Weilheim-Schongau, Bad Tölz-Wolfratshausen und Miesbach.

Ackerbau wird in den Regionen betrieben, die günstige klimatische und topographische Voraussetzungen sowie geeignete Bodenqualitäten aufweisen. So deckt sich die Verteilung von Flächen mit besonders hohem Anteil an Ackerland mit Regionen in Bayern, die ein günstiges Ertragspotenzial der Böden aufweisen (vgl. Abb. 2).

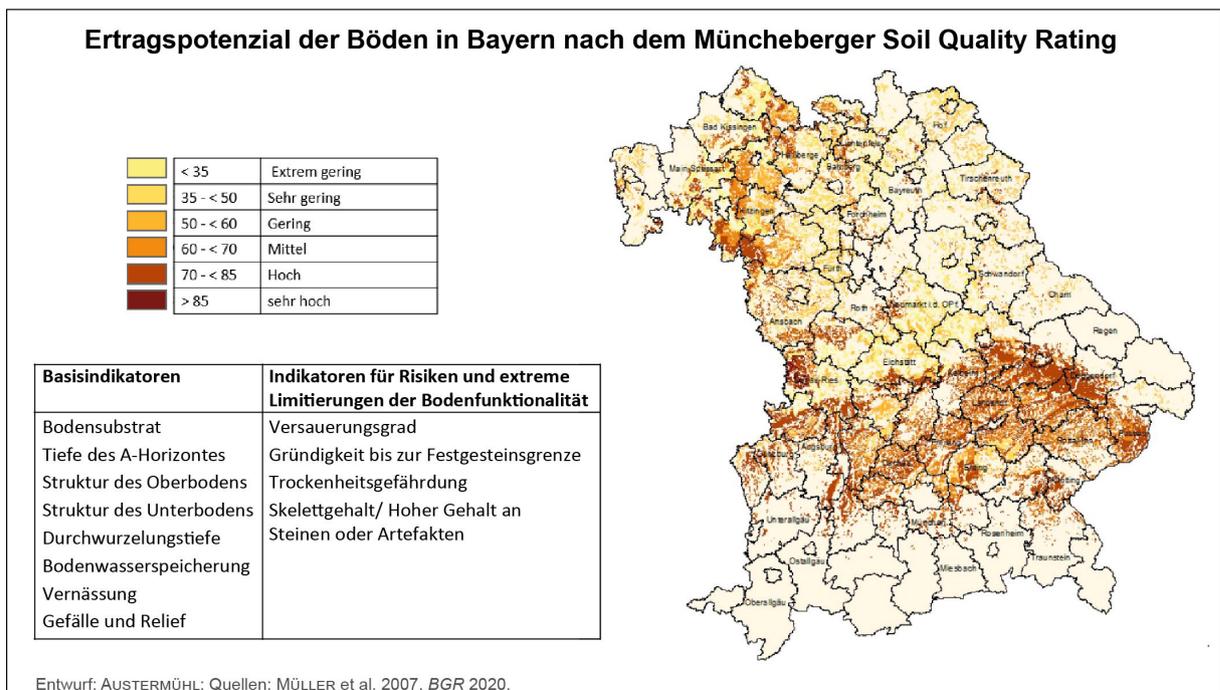


Abb. 2: Ertragspotenzial der Böden in Bayern nach dem Müncheberger Soil Quality Rating

Im Alpenraum sind die topographischen Voraussetzungen für den Ackerbau kaum gegeben; zudem stellen die hohen Niederschlagswerte bei gleichzeitig niedrigen Temperaturen unzureichende Voraussetzungen für viele Kulturpflanzen dar (SCHALLER et al. 2007: 55). Grünlandpflanzen wie ausdauernde Gräser, Leguminosen und Kräuter weisen eine höhere Toleranz gegenüber ungünstigen Wachstumsverhältnissen auf (SCHALLER et al. 2007: 55; DIEPENBROCK et al. 2016: 248). Die Dauergrünlandbewirtschaftung bietet hier eine günstige und gleichzeitig qualitativ hochwertige Möglichkeit zur Produktion von Futtermitteln, besonders für die hier weit verbreitete Milchviehwirtschaft.

Vergleicht man die **für Ackerbau und Dauergrünland genutzten Flächen** im Jahr 1999 mit denen des Jahres 2016, wird ersichtlich, dass eine flächenmäßig geringfügige Zunahme des Ackerlandes lediglich im Südwesten Bayerns zu verzeichnen ist, während eine ausgeprägte großflächige Abnahme des Dauergrünlandes in etwa zwei Dritteln der Landkreise Bayerns stattgefunden hat. Am auffälligsten ist die Zunahme des **Ackerlandes** mit 25% und mehr im Alpenvorland und den Alpen in den Landkreisen Lindau, Unterallgäu, Ostallgäu, Weilheim-Schongau, Garmisch-Partenkirchen, Wolfratshausen und Miesbach. Allerdings sind dies Landkreise, in denen der Anteil des Ackerlandes an der LWNF insgesamt gering ausfällt. Gleichzeitig ergaben sich Flächenabnahmen von bis zu 15% in Landkreisen, in denen der Ackerbau den überwiegenden Anteil an der LWNF ausmacht, wie z.B. Main-Spessart, Kitzingen, Schweinfurt, Kitzingen, Erlangen-Höchstadt, Fürth, Forchheim, Kulmbach, Amberg-Sulzbach, Straubing-Bogen, Deggendorf, Freyung-Grafenau, Roth, Kelheim, Mühldorf am Inn, München und Fürstenfeldbruck. Hier stellt der Flächenrückgang eine markante Veränderung dar. Beim **Dauergrünland** ist eine großflächige Abnahme erkennbar; so ist in einem Großteil der Landkreise eine Abnahme von 5 bis 15% und in einigen Landkreisen sogar bis zu 25% zu verzeichnen, wie z.B. in Neu Ulm, Günzburg, Augsburg, Unterallgäu, Aichach-Friedberg, Pfaffenhofen a.d. Ilm, Passau, Rottal Inn, Altötting, Amberg-Sulzbach. Allerdings ist der Anteil der Dauergrünlandflächen an der LWNF in diesen Landkreisen gering. Die Landkreise Regen und Berchtesgadener Land mit einem insgesamt hohen Anteil an Dauergrünlandflächen verzeichnen ebenfalls eine Abnahme von bis zu 25%, was eine markante Flächenabnahme darstellt. Insgesamt lässt sich eine starke Abnahme der Ackerflächen bei gleichzeitiger Zunahme von Dauergrünlandflächen in Unterfranken sowie eine starke Abnahme der Dauergrünlandflächen bei einer Zunahme der Ackerflächen im Süden Oberbayerns, in Schwaben und im Landkreis Regen beobachten. Eine Abnahme von Acker- und Dauergrünlandflächen verzeichnen die Landkreise Kronach, Kulmbach, Roth,

Amberg-Sulzbach, Straubing-Bogen, Deggendorf, Freyung-Grafenau, Mühldorf am Inn, München, Starnberg und Fürstenfeldbruck.

Der großflächige **Rückgang der Dauergrünlandflächen** kann u.a. mit den strukturellen Entwicklungen in der Milchviehwirtschaft und den rückläufigen Zahlen der Milchviehhalter und deren Bestand an Milchkühen in Verbindung gebracht werden: Zwischen 1980 und 2019 reduzierte sich die Zahl der Milchviehhalter von 175.000 auf 27.600 und die der Milchkühe von knapp 2 Millionen auf 1,13 Millionen (LjL 2019). Aufgrund der negativen Auswirkungen des Rückgangs der Dauergrünlandflächen auf Biodiversität, Zustand der Gewässer und der steigenden Erosionsgefahr für landwirtschaftlich genutzte Flächen, ist die Umwandlung von Dauergrünland in Ackerland und Dauerkulturen seit dem 1. August 2019 nach dem Bayerischen Naturschutzgesetz (BayNatSchG Art. 3 Abs. 4 S. 1 Nr. 1) grundsätzlich verboten. Auf Antrag sind allerdings Ausnahmen zugelassen, wenn ein entsprechender Ausgleich erfolgt (StMELF 2019).

Die Zunahme der **Ackerflächen** im Süden Bayerns könnte vor allem mit dem Anstieg der Silomaisflächen zur Futtermittel- oder Biogasproduktion in Zusammenhang stehen - in diesem Falle wären politische Maßnahmen als indirekte Klimafolgen relevant (siehe Kapitel 4). Gleichzeitig nehmen die Ackerflächen im nördlichen Bayern ab. Hier stellt sich die Frage, ob klimatische Bedingungen für diesen negativen Trend verantwortlich sein könnten (siehe Kapitel 7).

Im Hinblick auf die beschriebenen Veränderungen in der landwirtschaftlichen Nutzfläche lassen sich also vorerst keine direkten Zusammenhänge zu Klimaveränderungen feststellen. Der Rückgang der LWNF insgesamt ist dem Zuwachs der Siedlungs- und Verkehrsflächen geschuldet. Der großflächige Rückgang in den Dauergrünlandflächen hat eher strukturelle/wirtschaftliche Ursachen (Milchviehwirtschaft). Die Zunahme der Ackerflächen im Allgäu und den Bayerischen Alpen könnte hingegen indirekt, durch klimapolitische Maßnahmen im Zuge der Energiegewende verursacht sein (vgl. Kap. 7). Ob die Abnahme der Ackerflächen im nördlichen und nordwestlichen Bayern mit Klimaveränderungen (Anstieg der Temperaturen, Zunahme der Hitzetage, Abnahme der Niederschlagsmengen und Trockenheit) zusammenhängt, kann derzeit noch nicht nachgewiesen werden.

4 Veränderungen der ackerbaulichen Nutzflächen in Bayern

Da klimatische Faktoren vor allem für den Ackerbau von großer Bedeutung sind, soll im Folgenden die ackerbauliche Nutzung hinsichtlich der vorrangigen

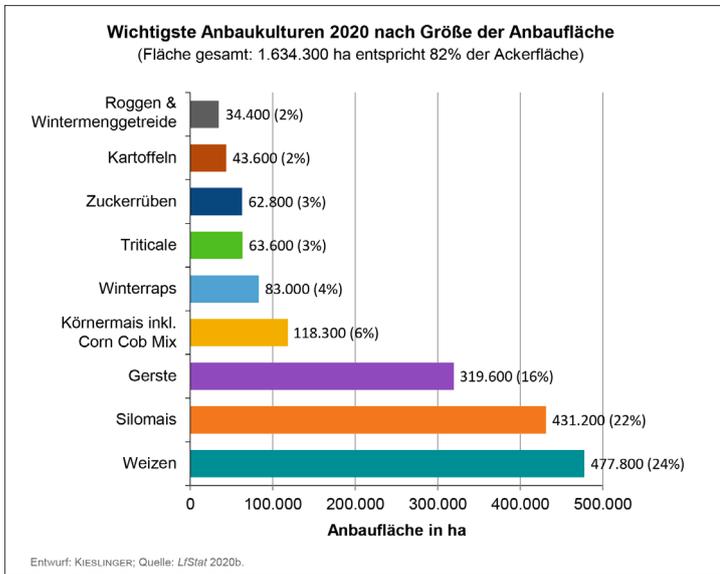


Abb. 3: Die wichtigsten Anbaukulturen nach der Größe ihrer Anbauflächen in Bayern im Jahr 2020

Anbaukulturen sowie Veränderungen bei den bewirtschafteten Flächen genauer betrachtet werden. Ausgehend von der Ackerfläche in Bayern im Jahr 2020 (2.002.300 ha), stellt Weizen mit einem Anteil von 24% an der ackerbaulichen Nutzfläche (477.800

ha) das wichtigste Anbauprodukt dar (Abb. 3), gefolgt von Silomais mit 22% (431.200 ha) und Gerste mit 16% (319.600 ha) (LfStat 2020b).

Betrachtet man die Veränderungen der Anbauflächen der in Abbildung 3 dargestellten Anbaukulturen von 1999 bis 2020 in Bayern, werden jedoch unterschiedliche Entwicklungen sichtbar (Abb. 4).

Bei Weizen, Silomais und Körnermais ist eine Zunahme der Anbauflächen seit 1999 zu verzeichnen, allerdings mit einer Abnahme von 2016 bis 2020. Die Anbauflächen für Triticale verbuchten einen leichten Zuwachs in den Jahren 2010 und 2016, aber auch hier wird eine Abnahme im Jahr 2020 gegenüber 2016 deutlich, sodass die Anbaufläche derzeit sogar unter der von 1999 liegt. Die Flächen von Winterraps, Zuckerrüben, Kartoffeln sowie Roggen und Wintermenggetreide haben hingegen von 1999 bis 2020 abgenommen; allerdings verzeichneten die Anbauflächen von Kartoffeln und Zuckerrüben einen leichten Zuwachs von 2016 bis 2020. Auffällig sind die starken Schwankungen der Anbauflächen von Körnermais und Corn Cob Mix (gelb) sowie Roggen und Wintermenggetreide (dunkelgrau) von 1999 bis 2007. Ebenso auffällig ist der starke Anstieg der Anbauflächen für Silomais ab dem Jahr 2003. Da die Entwicklung der Anbauflächen von vielen Faktoren beeinflusst wird und die Flächenveränderungen starke

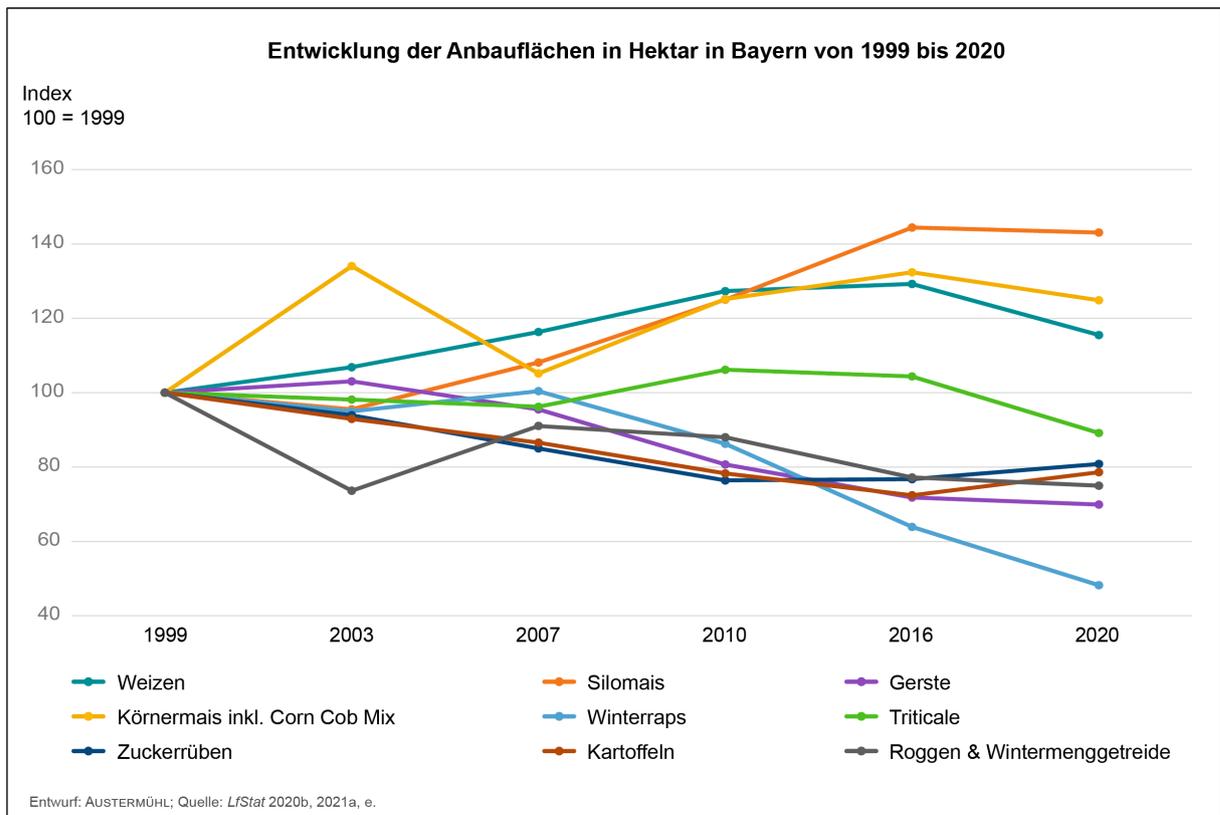


Abb. 4: Entwicklung der Anbauflächen einzelner Kulturarten in Bayern von 1999 bis 2020

regionale Unterschiede aufweisen, wird im Folgenden beispielhaft auf Weizen und Silomais eingegangen. Weizen und Silomais stellen in Bayern flächenmäßig die beiden wichtigsten Anbaukulturen dar (*LfStat* 2020b). Auch hinsichtlich der Zahl der Betriebe, die ihre Flächen 2020 ackerbaulich nutzten (67.270), wird die Bedeutung dieser Kulturpflanzen deutlich; so bauten 67% der Betriebe (44.800) Weizen und 59% der Betriebe Silomais an (39.320) (ebd.).

Bereits 1999 wies **Weizen** von allen Kulturarten die mit Abstand größte Anbaufläche in Bayern auf, wobei die Fläche kontinuierlich bis 2016 um 29% anstieg (*LfStat* 2021a, e). Weizen hat im Vergleich zu anderen Getreidesorten die höchsten Ansprüche an die natürlichen Standortbedingungen, wie Klimaverhältnisse und Bodengüte (SCHALLER et al. 2007; BÖRNER et al. 2008; DIEPENBROCK et al. 2016). Deshalb decken sich die Landkreise mit größten Flächenanteilen am Ackerland (Abb. 5) mit den Regionen, deren Böden ein günstiges Ertragspotenzial aufweisen (vgl. Abb.2), wie z.B. im Gäuboden oder in Unterfranken. Aber auch in Landkreisen mit weniger günstigen Standortbedingungen wird Weizen aufgrund seines hohen Ernteertragspotenzials angebaut.

Im **Maisanbau** konnten im Zuge von Hybridzüchtungen, die seit den 1950er Jahren in Deutschland eingeführt wurden, die Ernteerträge erheblich gesteigert werden (MIEDANER 2014). Grundsätzlich wird nach der Art der Verarbeitung und Verwendung zwischen Körner- und Silomais unterschieden. Bei Ersterem werden die Körner der vollständig ausgereiften Maispflanze verwendet; Körnermais und ein Gemisch von Spindel und Korn (Corn-Cob-Mix) dient hauptsächlich (in Deutschland zu 80%) als Futtermittel für Rinder, Schweine und Geflügel (GREEF 2008: 467; MIEDANER 2014: 149). Bei **Silomais** wird

die gesamte, meist noch unreife Maispflanze verwendet, wobei zerkleinerte Pflanzenteile als Futtermittel für Mastrinder und Milchkühe oder als Substrat in Biogasanlagen eingesetzt werden (MIEDANER 2014). Seit der Einführung von Bonuszahlungen im Jahr 2004 für die Verwendung nachwachsender Rohstoffe zur Stromerzeugung (dem sog. NawaRo-Bonus) im Rahmen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) wurde die Nutzung von Mais in Biogasanlagen finanziell gefördert. Folglich kam es zu einer markanten Zunahme der Anbauflächen für Silomais (vgl. Abb. 4) und entsprechend auch der Biogasanlagen (ebd.). Gleichzeitig ist aus ackerbaulicher Sicht der Anbau von Silomais an geringe Standortbedingungen geknüpft, da keine Gesamtreife der Maispflanze notwendig ist (MIEDANER 2014). Um den massiven Anbau von Silomais zu bremsen, sollte im Rahmen einer Regulierung bis 2021 der maximale Anteil von Mais bei der Verwendung in Biogasanlagen („Maisdeckel“, Einführung 2012) stufenweise bis auf 44% gesenkt werden (*BLE* 2020). Allerdings blieb der gewünschte Effekt durch die Zunahme von Biogasanlagen aus. Mit dem EEG 2014 beendete die Bundesregierung den NawaRo-Bonus und seit 2017 ist es das Ziel „den Zubau im Bereich der Biomasse überwiegend auf Abfall- und Reststoffe (...) zu begrenzen“ (*Bundesinformationszentrum Landwirtschaft* 2021). Diese Voraussetzungen und Entwicklungen spielten auch in Bayern eine Rolle: So deckt sich die räumliche Verteilung der Landkreise mit den größten prozentualen Anteilen von Silomais an den Ackerflächen (Abb. 6) mit Regionen, die ein geringeres Bodenertragspotenzial aufweisen (vgl. Abb. 2), überwiegend zur Dauergrünlandbewirtschaftung genutzt werden (vgl. Abb. 1), vor allem aber auch ein hohes Aufkommen von Biogasanlagen zu verzeichnen

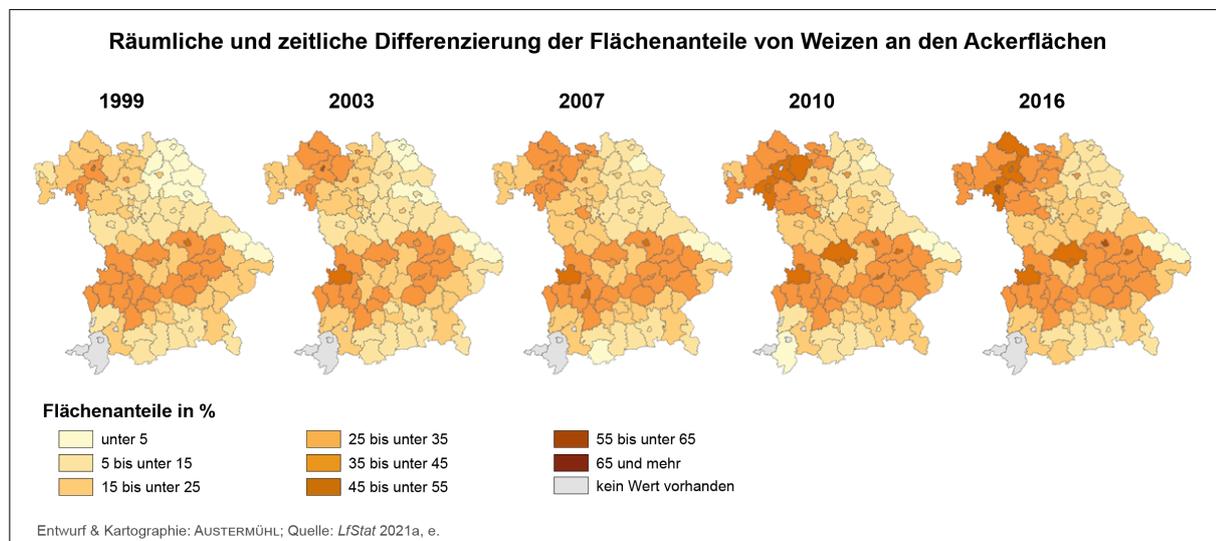


Abb. 5: Anteil der Anbauflächen von Weizen an den Ackerflächen

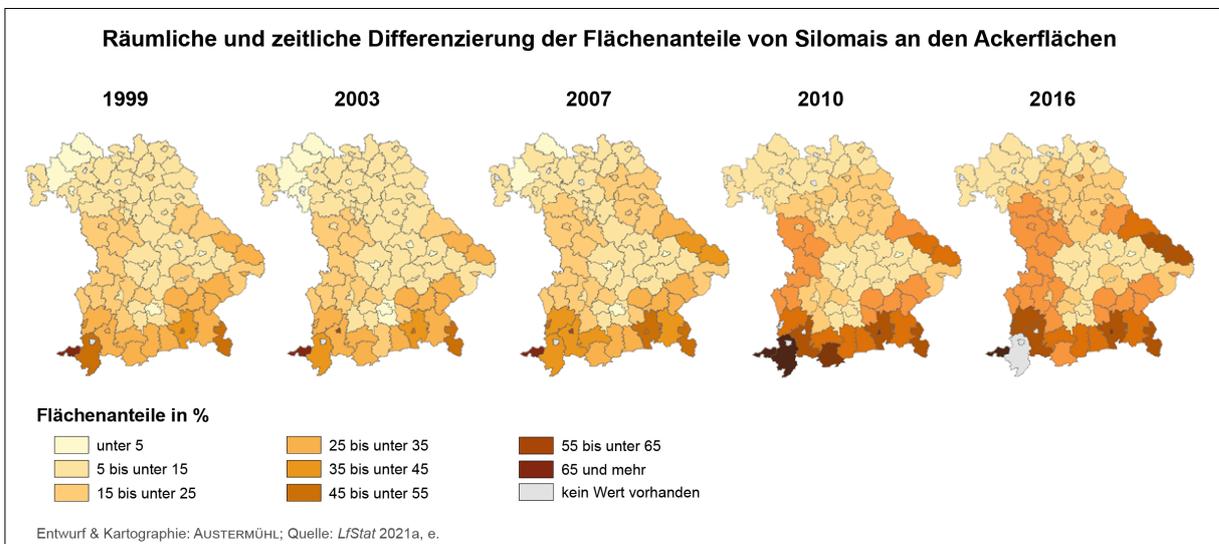


Abb. 6: Anteil der Anbauflächen von Silomais an den Ackerflächen

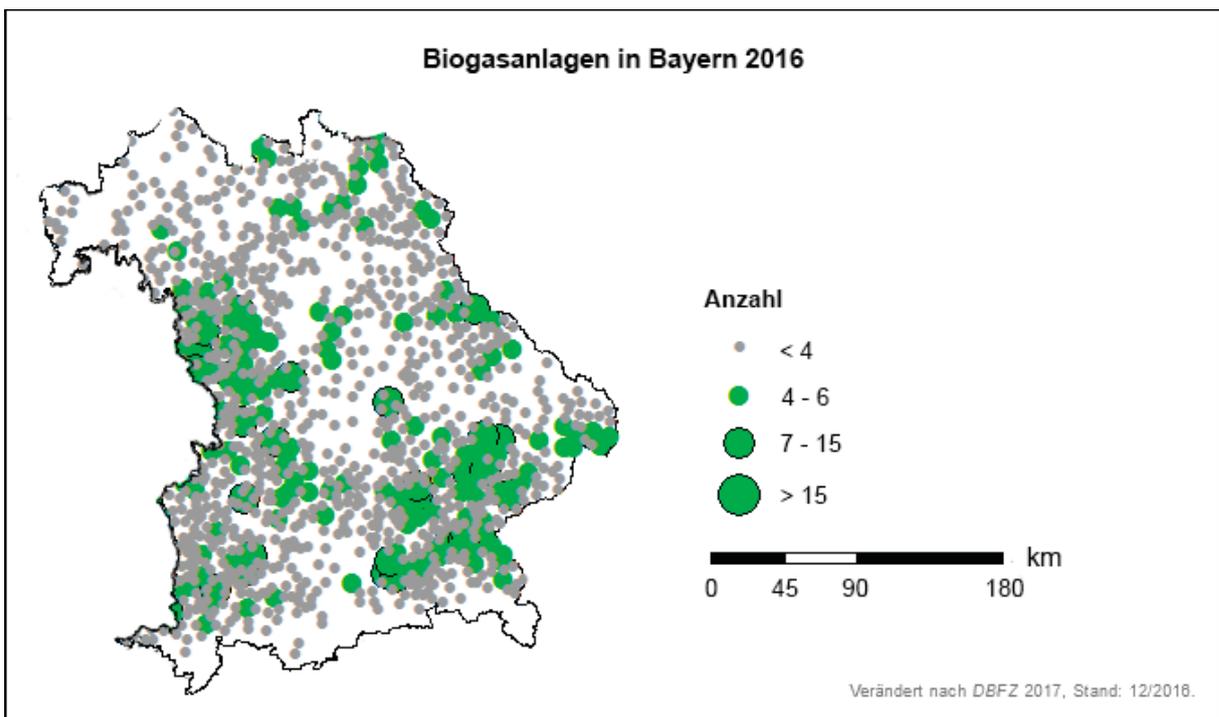


Abb. 7: Standorte von Biogasanlagen in Bayern 2016

haben. In Abbildung 7 ist die Clusterbildung von Biogasanlagen im Jahr 2019 im westlichen, südöstlichen und östlichen Bayern deutlich erkennbar. Insgesamt ist die Zunahme der Anbaufläche von Silomais im Zeitraum von 1999 bis 2016 von allen Kulturpflanzen in Bayern mit 44% am höchsten (LfStat 2021a, e).

Zusammenfassend lässt sich auch hinsichtlich der Entwicklung der ackerbaulichen Nutzflächen

kein direkter Bezug zu Klimaveränderungen herstellen. Dieser ist aber indirekt über klimapolitische Maßnahmen in Bezug auf die Förderung regenerativer Energien und damit der Zunahme des Silomaisanbaus für die Verwendung in Biogasanlagen gegeben. Klimaparameter können aber insbesondere für die ackerbauliche Produktion ausschlaggebend sein, weshalb diese im Folgenden näher betrachtet wird.

5 Erntedynamiken in der ackerbaulichen Produktion in Bayern

In Abbildung 8 ist die Entwicklung der Hektarerträge der Kulturpflanzen mit den größten Anteilen an der ackerbaulichen Nutzfläche in Bayern von 1999–2020 dargestellt. Zur Einschätzung des Einflusses von Klimaparametern wird zwischen Kulturpflanzen, die im Winter oder im Sommer angebaut werden, unterschieden. Im Jahr 2020 entfielen 98% der Weizenanbauflächen auf Winterweizen (467.400 ha) und nur jeweils 1% auf Hartweizen (6.200 ha) und Sommerweizen (4.200 ha) (*LfStat* 2020b), weshalb hier ausschließlich Winterweizen dargestellt wird. Der bevorzugte Anbau von Winterweizen ist auf die hohe Ertragsdifferenz zu Sommerweizen (15dt/ha) zurückzuführen (DIEPENBROCK et al. 2016: 182; SCHALLER et al. 2007: 45). Beim Anbau von Gerste ist ebenfalls die Wintergerste mit 71% der Anbauflächen (226.200 ha) im Jahr 2020 stärker vertreten als die Sommergerste mit 29% (93.400 ha) (ebd.); dennoch werden hier beide Kulturpflanzen in die Betrachtung eingeschlossen.

Vergleicht man die Ernteerträge (dt/ha) im Jahr 1999 mit denen von 2019 (*LfStat* 2021f-i), wird deutlich, dass bei allen Kulturpflanzen abgesehen von Kartoffeln und Silomais die Erträge zuletzt höher lagen. Hinsichtlich der Ertragssteigerungen zeigt sich in den Daten ein signifikanter Trend ($p < 0,05$) bei Zuckerrüben, Winterweizen, Winter- und Sommergerste; ein Trend mit geringer Signifikanz ($p < 0,1$) bei Körnermais inkl. Corn Cob Mix und Triticale. Bei den restlichen Anbaukulturen ist statistisch kein Trend nachweisbar. Die Hektarerträge aller Kulturpflanzen unterliegen zudem starken interannuellen Schwankungen, die die Reaktion der Pflanzen auf klimatische Bedingungen und Wetterereignisse widerspiegeln. Ähnliche Schwankungen, wenn auch mit unterschiedlichen Ertragshöhen, weisen **Zuckerrüben, Kartoffeln und Mais** auf. Die hohen Erträge von Silomais im Vergleich zum Körnermais erklären sich durch die Verwendung der gesamten Pflanze in der Biomasseberechnung (MIEDANER 2014). Gemeinsam ist den genannten Kulturarten eine ähnliche Anbauperiode von Frühjahr bis Herbst (DIEPENBROCK et al. 2016). Besonders relevant für Ertragseinbußen sind hierbei Wassermangel und Trockenheit sowie Hitzestress (ebd.), wobei Zuckerrüben besonders anspruchsvoll sind, was die Temperaturen und die Wasserversorgung angeht (RÖSTEL 1999; SCHALLER et al. 2007). Silomais und Körnermais sind als C4-Pflanzen zwar besser an Hitze und Trockenheit angepasst, der Wasserbedarf besteht jedoch bis zur Ernte und wenn das Längenwachstum einsetzt, ist der Wasserbedarf besonders hoch (SCHALLER et al. 2007; SCHOPFER/BRENNICKE 2010; MEINERT et al.

2019). Getreide wie **Winterweizen, Wintergerste, Triticale, Roggen- und Wintermenggetreide sowie Winterraps** werden je nach Art und Sorte im Herbst und Winter ausgesät (HANUS 2008). Die Hauptwachstumsphase ist im Frühjahr und die Ernte im Sommer bis Herbst. Bei mangelnder Wasserverfügbarkeit wird Wintergetreide früher geerntet. Neben Trockenheit und Hitzestress spielen hier jedoch auch erhöhte Temperaturen in den Wintermonaten eine Rolle, da diese Kulturarten längere Zeit auf niedrige Temperaturen angewiesen sind (Vernalisationsreiz) (SCHALLER et al. 2007; CHRISTEN 2008; DIEPENBROCK et al. 2016). Darüber hinaus vermindert das Fehlen langsam absinkender Temperaturen die Kältetoleranz, sodass Spätfröste die Pflanzen schädigen können (ebd.). Lokal auftretende Starkregenereignisse und Hagel führen bei allen Kulturarten zu Ertragseinbußen (*LfL* 2018).

Wie aus Abbildung 8 ersichtlich ist, verzeichnen alle Anbaukulturen auffällige Ertragseinbrüche in den Jahren 2003, 2013, 2015 sowie 2018. Dies sind die Jahre, in denen starke Abweichungen zu langjährigen Messwerten der Lufttemperatur, der Hitzetage, der Niederschläge im Frühling und Sommer, sowie der Bodenfeuchte im Sommer festgestellt werden können (siehe Annex 1–3). Im Folgenden soll deshalb die agrarmeteorologische Situation dieser Jahre näher beschrieben werden, um die Entwicklungen im Jahresverlauf aufzuzeigen, die für die Ernteerträge der Kulturpflanzenarten eine Rolle spielten:

Das Jahr 2003 (LÖPMEIER 2004: 87) war besonders von einer lang anhaltenden Trockenheit und Hitzeperioden in den Sommermonaten geprägt. Bereits im Februar setzten Hochwetterlagen ein, die mit kurzen Unterbrechungen bis August andauerten, hohe Verdunstungswerte und einen drastischen Wassermangel zur Folge hatten. Dies wirkte sich insbesondere auf den Getreideanbau negativ aus. Durch zusätzliche extreme Hitzeperioden im Juni und August kam es nicht nur bei Getreide, sondern auch bei Kartoffeln, Zuckerrüben und Mais zu erheblichen Ernteverlusten. Erst im Oktober ermöglichte ergiebiger Regen den erfolgreichen Anbau der Wintersaaten. Mit nur 50 bis 70% der normalen Regenmenge, stellte das Jahr 2003 in den meisten Gebieten einen negativen Rekord auf (ebd.: 87).

Im Jahr 2013 setzte sich der wechselhafte Jahresbeginn (BOOSS et al. 2015: 30–36) mit kalten und nassen Wetterperioden phasenweise bis in den Sommer fort und verzögerte die Bestellung der Böden sowie die Vegetationsentwicklung insbesondere bei Kartoffeln und Mais. Zudem führten Schäden durch Starkregen, Hagelschlag, Sturmböen und Staunässe zu Ernteverlusten bis

hin zum Totalausfall. In den Sommermonaten sorgten mangelnde flächendeckende Niederschläge, heiße Trockenphasen mit Niederschlagsarmut und regionalem Wasserstress für Ertragseinbußen bei Kartoffeln und Mais; dies wurde durch kühle und nasse Witterungsbedingungen im Herbst und Winter zusätzlich verstärkt (ebd.).

Ähnlich gestaltete sich das Jahr 2015 (PIETZSCH et al. 2016: 31–42), das im Sommer von tropischen Temperaturen, Rekordhitzewerten und Trockenheit sowie zeitweise unwetterartigen Schauern und Gewittern geprägt war. Der August 2015 war der wärmste Monat seit Beginn der Wetteraufzeichnungen. In Teilen Nordbayerns wies die Bodenfeuchte den

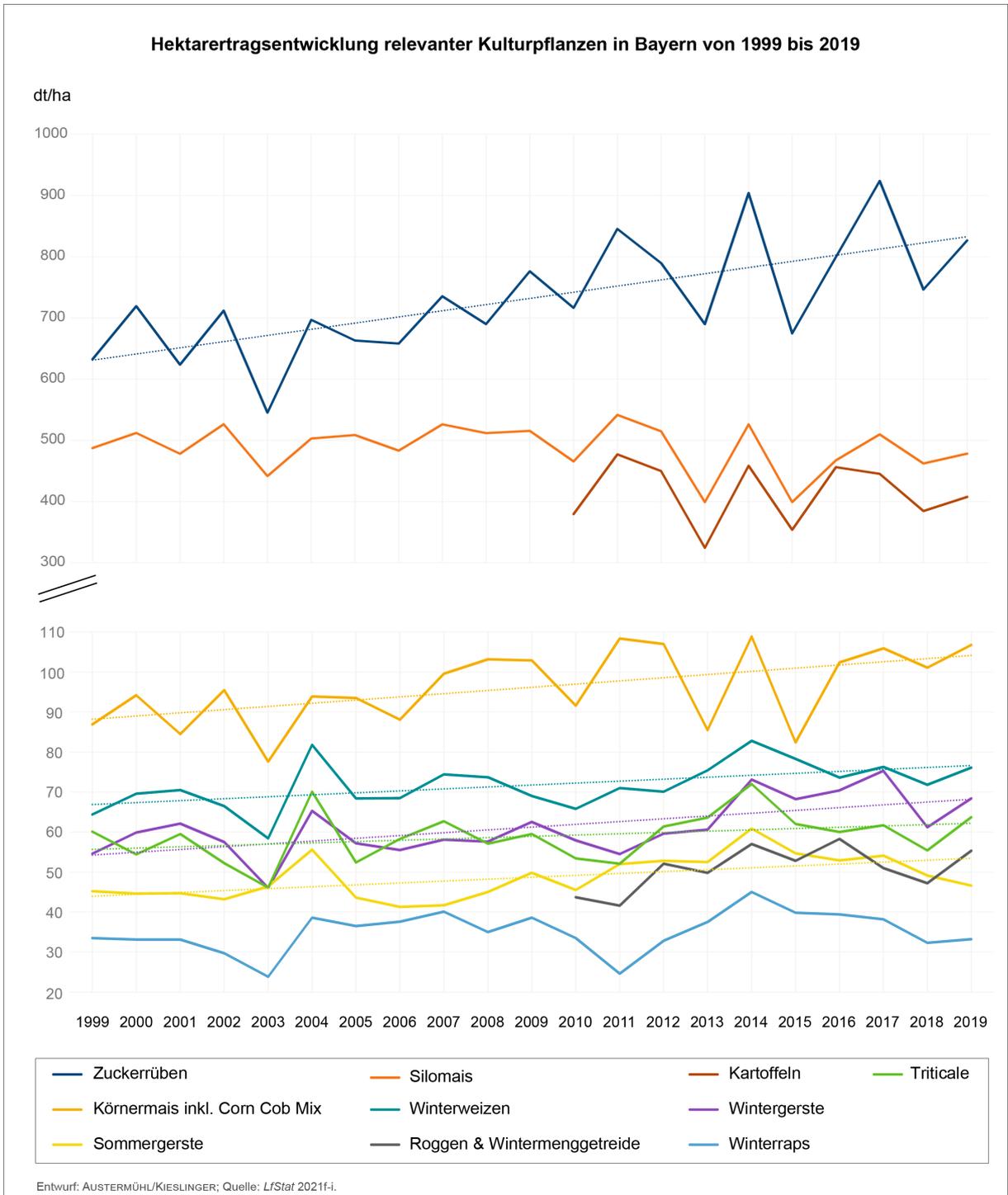


Abb. 8: Hektarertragsentwicklung relevanter Kulturpflanzen in Bayern von 1999–2019

niedrigsten Wert seit den vergangenen 50 Jahren auf. Die Folgen waren Ernteeinbußen und zum Teil eine verfrühte Abreife sowie Noternte von Wintergetreide und Mais. Die Monate November und Dezember zählten ebenfalls zu den wärmsten seit Beginn der Wetteraufzeichnungen. Das Jahresende gestaltete sich zu trocken, extrem warm und sonnig, und die Vegetationsruhe verzögerte sich aufgrund der milden Temperaturen (ebd.).

Das Jahr 2018 war von Rekordhitzewerten, Trockenheit, Gewittern und Starkniederschlägen mit lokalen Hochwasserereignissen geprägt. Mit einer Mitteltemperatur von 10,5°C gilt es als das bisher wärmste Jahr Deutschlands seit Beginn der regulären Wetteraufzeichnung 1881 (DWD 2020a: 4). Trotz der kühlen Monate Februar und März waren die restlichen zehn Monate wärmer als die vieljährigen Monatsmittel der Referenzperioden 1961–1990 und 1981–2010. Ebenso war es mit rund 586 mm Niederschlag das viert-trockenste Jahr in der Klimazeitreihe seit 1881 (ebd.). Die trockenen agrarmeteorologischen Bedingungen führten beim Getreideanbau zu reduzierten Masseerträgen, Noternten und Qualitätsverlusten (MEINERT/SCHUBE 2018).

Für die Einbrüche bei den Ernteerträgen in Bayern sind besonders zu geringe Niederschlagsmengen verantwortlich, was durch die Kombination mit zu hohen Temperaturen vor allem im Sommer verstärkt wird. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Niederschlagsmuster zeitlich und räumlich stark variieren, ebenso das Auftreten von Hitzetagen (vgl. Annex 1–3). So konnten in einigen Jahren Niederschlagsdefizite im Jahresverlauf auch wieder aufgeholt werden. Ebenso konnten aufgrund regional günstigerer Witterungsbedingungen durchschnittliche Ertragssteigerungen erzielt werden, auch wenn auf lokaler Ebene Ertragsseinbußen zu verzeichnen waren (DWD 2020b).

Wie aus Abbildung 8 ersichtlich ist, waren die Ertragsseinbrüche bei Winterweizen nicht so stark ausgeprägt wie bei Körner- und Silomais, obwohl Mais als C4-Pflanze besser an Hitze und Trockenheit angepasst ist (SCHALLER et al. 2007: 50–51). Gründe dafür liegen in der früheren Anbauperiode des Winterweizens und ackerbaulichen Maßnahmen wie einer vorgezogenen Ernte im Falle früherer Abreife durch Trockenstress. Ebenso kann der Ernteertrag des Winterweizens in Trockenjahren durch die Nutzung von Beregnungsanlagen mit einem Zusatzwasser von 70 bis 120 mm um 4 bis 12 dt/ha gesteigert werden (DIEPENBROCK et al. 2016: 188).

Zusammenfassend sind die Trends der Ertragssteigerungen von 1999 bis 2019 nicht vorrangig auf klimatische Bedingungen zurückzuführen, sondern vielmehr auf züchterische und ackerbauliche Maßnahmen

(WEINGARTEN 2020: 40). Bei den interannuellen Ertragsschwankungen ergibt sich allerdings sehr wohl ein direkter Zusammenhang mit Klimaparametern. Deshalb ist auch in Zukunft im Zuge des Klimawandels mit vermehrten Ertragsseinbußen zu rechnen. Hierbei spielen in Bayern vor allem geringere Niederschlagsmengen und Trockenheit im Sommer sowie das Auftreten von Extremereignissen wie Hitzetagen eine Rolle.

6 Ursachen für die Anbau- und Erntedynamiken von Silomais in Bayern

Um mögliche klimatische Ursachen für die Anbau- und Erntedynamiken von Silomais in Bayern herauszufinden, wurden die Ernteerträge auf Landkreisebene in den Jahren 2002–2004, 2013–2015 und 2017–2019 mit ausgewählten Klimaparametern (Lufttemperatur, Hitzetage, Niederschlag und Bodenfeuchte) verglichen. Die Ernteerträge für Silomais sind in Abbildung 9 dargestellt, die Abweichungen der Klimaparameter von den Normalwerten 1961–1990 sind in den Anhängen 1 bis 3 wiedergegeben.

Eine ergiebige und gleichmäßige Niederschlagsverteilung im Frühling und Sommer 2002 sorgte für landesweit gute Ernteerträge von Silomais (vgl. Abb. 9). Dem gegenüber steht das Extremwetterjahr 2003, das sowohl im Frühjahr als auch im Sommer überdurchschnittliche Temperaturen sowie Hitzetage verzeichnete (vgl. Annex 1). Die Auswirkungen lassen sich in fast allen Regionen, insbesondere in Franken, durch stark gesunkene Ertragsmengen ablesen. Lediglich in südlichen Teilen Schwabens und Oberbayerns konnten die Ertragsmengen des Vorjahres aufrechterhalten werden. Das Folgejahr 2004 sorgte mit ausreichenden Niederschlagsverhältnissen im Frühjahr und insbesondere im Sommer für optimale Wachstumsbedingungen in den Regionen Schwabens, Ober- und Niederbayerns sowie Unterfrankens. Gebiete mit leicht erhöhten Sommertemperaturen wie die Oberpfalz, Mittelfranken sowie nördliche Teile Oberbayerns, weisen niedrigere Ertragswerte auf. Als Nachwirkung des Trockenjahres 2003 lässt sich im Jahr 2004 eine landesweit gleichmäßig niedrige Bodenfeuchte erkennen (vgl. Annex 1).

Im Jahr 2013 waren in Oberfranken, in der Oberpfalz und in Niederbayern sehr niedrige Ertragswerte zu verzeichnen (vgl. Abb. 9). Diese Regionen waren von hohen Lufttemperaturen im Sommer und einem vermehrten Aufkommen an Hitzetagen geprägt (vgl. Annex 2). Bayernweit war die Bodenfeuchte gering, insbesondere in südlichen und südöstlichen Teilen Oberbayerns, was die allgemein niedrigeren Ernteerträge erklären könnte. Die Auswirkungen optimaler

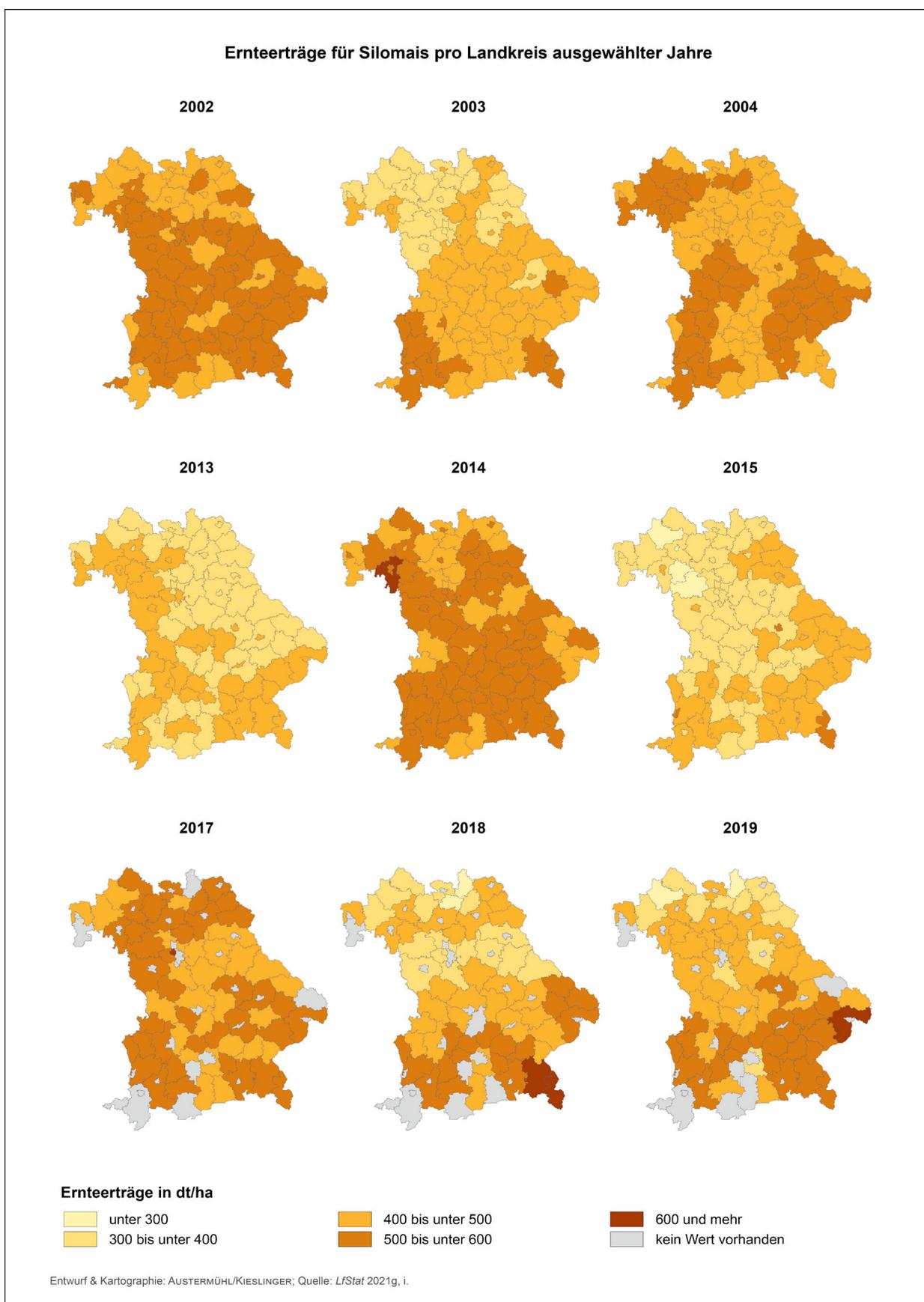


Abb. 9: Ernteerträge für Silomais pro Landkreis in den Jahren 2002-2004, 2013-2015, 2017-2019

Witterungsbedingungen beim Maisanbau lassen sich im Folgejahr 2014 erkennen. Dort sorgten gemäßigte Lufttemperaturen im Sommer, wenige Hitzetage und gute Niederschlagsbedingungen für landesweit bessere Wachstumsbedingungen. Ähnlich wie im Jahr 2013 konnten im Sommer 2015 bayernweit hohe Lufttemperaturen gemessen werden. Zusätzlich gab es eine große Anzahl von Hitzetagen sowie ein niedriges Bodenfeuchteniveau (vgl. Annex 2). Die Ernteerträge lagen deutlich unterhalb derer des Vorjahres, insbesondere in den Regierungsbezirken Fränkens.

Im Jahr 2017 wiesen insbesondere Teile Schwabens, Mittel- und Oberfrankens, Niederbayerns und süd-östliche Regionen Oberbayerns bei den Ernteerträgen von Silomais erhöhte Werte auf (vgl. Abb. 9). Dort konnten ausreichende bis erhöhte Niederschlagswerte im Frühjahr und Sommer gemessen werden. Gerade die Oberpfalz fällt durch ihre geringeren Ertragsmengen auf, erhielt aber auch weniger Niederschläge im Sommer als andere Regionen bei gleichzeitig niedrigeren Werten der Bodenfeuchte (vgl. Annex 3). Insgesamt war die Lufttemperatur im Sommer in allen Regionen bis auf den Norden Bayerns extrem warm. Im Jahr 2018 fällt auf, dass sich die ertragsschwachen Regionen in Franken und Oberbayern mit den Gebieten decken, die extreme Lufttemperaturen im Sommer, eine hohe Anzahl an Hitzetagen sowie geringe Niederschlagsmengen im Sommer zu verzeichnen hatten. Eine gemäßigte Witterungslage sowie höhere Ertragsmengen lassen sich lediglich im Süden Oberbayerns und Schwabens erkennen. Ein ähnliches Nord-Süd-Gefälle mit erhöhten Erträgen im Süden und verminderten Erträgen im Norden lässt sich im Jahr 2019 beobachten. Auch hier zieht sich ein Korridor von heißen Lufttemperaturen im Sommer und vermehrten Hitzetagen von Unter- und Oberfranken in südöstlicher Richtung bis hin nach Niederbayern. Gerade die nördlichen Regionen Fränkens verzeichneten sehr geringe Niederschlagsmengen im Sommer und wiesen demzufolge besonders geringe Ertragsmengen auf.

Klimaextreme wie Hitzerekorde und Trockenstress oder eine geringe Bodenfeuchte wirken sich merklich auf die Ernteerträge von Silomais in den verschiedenen Regionen Bayerns aus. Derartige Witterungsextreme waren seit der Jahrtausendwende bis heute besonders häufig zu verzeichnen. Eine Auswirkung klimatischer Bedingungen auf Ernteerträge ist somit gegeben. Wie bereits in Kapitel 4 erläutert, können im Gegensatz dazu die Entwicklung der Anbauflächen von Silomais nicht mit Klimaveränderungen in Verbindungen gebracht werden. Allerdings spielten vor allem klimapolitische Maßnahmen zur Förderung regenerativer Energien (NawaRo-Bonus 2004) eine tragende Rolle bei der Ausweitung der Anbauflächen (vgl. Abb. 4 und 6). Auch der politische Versuch, den

massiven Anbau von Silomais mithilfe einer stufenweisen Deckelung der Verwendung in Biogasanlagen zu bremsen (BLE 2020), war aufgrund der Zunahme der Biogasanlagen nicht erfolgreich. Im Jahr 2014 wurde der NawaRo-Bonus beendet; seit 2017 wird das Ziel verfolgt, vor allem Abfall- und Reststoffe in Biogasanlagen zu verwenden (Bundesinformationszentrum Landwirtschaft 2021). Insgesamt weist Silomais hinsichtlich der Anbauflächen seit 1999 einen positiven Trend auf ($p < 0,1$), auch wenn sich bei den Ernteerträgen kein klarer Trend aufzeigen lässt ($p = 0,44$) und der Wert von 2019 unter dem des Jahres 1999 zurückblieb (Abnahme von 1,9%). Diesem politisch gestützten Trend der Zunahme der Anbauflächen von Silomais stehen Ertragseinbrüche, insbesondere in den Extremwetterjahren 2003, 2013, 2015, 2018 und 2019, gegenüber.

7 Entwicklungen in der landwirtschaftlichen Nutzung – die Rolle des Klimawandels

Im Untersuchungszeitraum von 1999 bis 2016 fanden in Bayern erhebliche Landnutzungsveränderungen statt, allerdings mit unterschiedlichen regionalen Ausprägungen. Während landwirtschaftliche Nutzflächen insgesamt und insbesondere Dauergrünlandflächen großflächig zurückgingen, zeigte sich beim Ackerbau eine regionale Differenzierung zwischen den nördlichen und östlichen Landkreisen, die eine Abnahme der Ackerfläche aufwiesen und den südlichen und westlichen Landkreisen, die einen Zuwachs verzeichneten; diese Zunahme ist vor allem auf den Anbau von Silomais zurückzuführen. Gerade am Beispiel von Silomais wird deutlich, dass vor allem politische Maßnahmen zur Förderung regenerativer Energien (NawaRo-Bonus 2004) die Ausweitung der Anbauflächen hervorgerufen haben. Eine Abnahme der Ackerflächen im Norden Bayerns aufgrund von Klimaparametern ist wahrscheinlich, da Unterfranken zu den trockensten Regionen Deutschlands zählt, mit unterdurchschnittlichen Niederschlägen bei starken jahreszeitlichen Schwankungen von Temperatur und Niederschlag (SCHIMMELPFENNIG et al. 2018: 9). Um diesen Zusammenhang eindeutig nachzuweisen, sind allerdings weitere Untersuchungen notwendig, zumal viele ertragswirksame Faktoren bis heute noch weitgehend ungeklärt sind (ebd.).

Alle Kulturpflanzen, abgesehen von Kartoffeln und Silomais, wiesen im Jahr 2019 höhere Ernteerträge als im Jahr 1999 auf. Außerdem wurden bei allen Kulturpflanzen starke interannuelle Schwankungen mit Ertragseinbußen in den Jahren mit ungünstigen Witterungsbedingungen deutlich. Besonders auffällig waren

dabei die Jahre 2003, 2013, 2015 und 2018, die von Niederschlagsmangel, Trockenheit, überdurchschnittlich hohen Temperaturen und einer großen Anzahl von Hitzetagen in den Sommermonaten geprägt waren. Während bei den Trends der steigenden Erträge vor allem Intensivierungsmaßnahmen eine Rolle spielen, ergibt sich bei den interannuellen Schwankungen ein direkter Zusammenhang mit Klimaparametern. Am Beispiel des Silomaisanbaus konnte gezeigt werden, dass dem politisch gestützten Trend der Zunahme der Anbauflächen insgesamt geringere Erträge und Ertragseinbrüche in den Extremwetterjahren gegenüberstehen. Ein Zusammenhang zwischen dem Klimawandel und der landwirtschaftlichen Nutzung in Bayern ergibt sich indirekt über klimapolitische Maßnahmen bei den Flächenentwicklungen. Ebenso besteht eine starke Vulnerabilität der ackerbaulichen Produktion gegenüber dem Klimawandel. So konnte gezeigt werden, dass Witterungsextreme, die in den vergangenen zehn Jahren gehäuft auftraten, mit Ertragseinbrüchen korrelieren. Auch wenn der Anstieg von Extremwetterereignissen bislang nicht statistisch signifikant ist, ist in Zukunft mit stärkeren Erntedynamiken zu rechnen. In der landwirtschaftlichen Produktion werden Anpassungsmaßnahmen und Strategien für den Umgang mit Klimafolgen und Extremwetterereignissen wie Dürren, Starkregen und Hagel dringend benötigt (SCHIMMELPFENNIG et al. 2018). Dabei werden vor allem regionsspezifische Ausrichtungen der Produktionssysteme sowie ein verbessertes Risikomanagement zunehmend wichtiger (ebd.).

Im Zuge des Klimawandels ist auch in Zukunft mit erheblichen Folgen für die landwirtschaftliche Produktion in Bayern zu rechnen. Abhängig von bestehenden, aber auch zukünftigen Klimaschutz- und Anpassungsstrategien existieren verschiedene Zukunftsprognosen der klimatischen Bedingungen Bayerns bis in das Jahr 2100 (LEDERER/POHLE 2021). Alle Szenarien prognostizieren einen Anstieg der Jahresdurchschnittstemperaturen, die Zunahme der Niederschlagsmengen im Winter und eine Abnahme im Sommer sowie die voranschreitende Aridität in den Sommermonaten. Ebenso wird eine Zunahme von Extremwetterereignissen wie beispielsweise Hitzetagen prognostiziert. Im Hinblick auf die landwirtschaftliche Produktion werden Klimafolgen wie Veränderungen bei den Vegetationsperioden, ein wachsender Schädlings- und Krankheitsbefall sowie zunehmende Ertragseinbußen beschrieben. Gleichzeitig wird auch hier darauf hingewiesen, dass es innerhalb dieser Zukunftsszenarien starke regionale, zeitliche und kulturartenspezifische Variabilitäten gibt (ebd.). Dies macht räumlich differenzierte sowie regionale Klimamodellierungen notwendig, um geeignete Anpassungsstrategien zu entwickeln.

Die starke regionale sowie saisonale Variabilität des bayerischen Klimas hinsichtlich der Temperaturen und des Niederschlags wird auch im Klima-Report Bayern 2021 thematisiert. Der Bericht geht dabei explizit auf die Auswirkungen des Klimawandels auf die Landwirtschaft ein und gibt einen Ausblick auf zukünftige Entwicklungsszenarien. Zusätzlich verweist der Bericht auf Anpassungsstrategien wie die Bayerische Klimaanpassungsstrategie (BayKLAS 2016) (StMUV 2021). Die Prognosen zeigen deutlich, dass eine weitere Entwicklung ohne regionale bzw. globale Klimaschutz- und -anpassungsstrategien gegen Ende des Jahrhunderts zu einer Erwärmung der 30-jährigen bayerischen Mitteltemperatur zwischen $+3,8^{\circ}\text{C}$ und $+4,8^{\circ}\text{C}$ führen wird. Dies wird weitreichende Folgen für die Bevölkerung Bayerns und die Landwirtschaft haben. Bei einer erfolgreichen Integration von Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen liegt dieser Wert bei bis zu $+1,5^{\circ}\text{C}$ (ebd.).

Die Bundesregierung hat sich im Rahmen ihrer Nachhaltigkeitsstrategie bis 2030 Ziele gesetzt, die sich auf die Landnutzung auswirken werden. Beispiele dafür sind: den durchschnittlichen täglichen Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsflächen auf unter 30 Hektar bis 2030 zu reduzieren; Stickstoffüberschüsse der Gesamtbilanz für Deutschland auf 70 Kilogramm je Hektar landwirtschaftlich genutzter Fläche im Jahresmittel 2028–2032 zu senken sowie den Anteil des ökologischen Landbaus an der landwirtschaftlich genutzten Fläche auf 20% bis 2030 zu erhöhen; den Anteil erneuerbarer Energien am Brutto-Endenergieverbrauch schrittweise auf bis zu 60% bis 2050 sowie den Anteil des Stroms aus erneuerbaren Energiequellen am Bruttostromverbrauch sukzessiv auf 80% bis 2050 zu steigern (Die Bundesregierung 2020).

Wie dieser Artikel verdeutlicht hat, werden sich politische Steuerungsmechanismen und Landnutzungspraktiken zur Anpassung an den Klimawandel auch in Zukunft raumwirksam auf die Landnutzung auswirken.

Danksagung

Diese Studie wurde vom Bayerischen Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst im Rahmen des Bayerischen Klimaforschungsnetzwerks (bayklif) gefördert.

Endnote

- 1) Für die kreisfreien Städte und Landkreise, die in grau dargestellt sind, wurden aus datenschutzrechtlichen Gründen keine exakten Werte ausgewiesen, die in den Gesamtzahlen für Bayern jedoch enthalten sind. In kreisfreien Städten, die kleine Flächen der jeweiligen Kategorie aufweisen, bewirken bereits minimale Zu- oder Abnahmen markante Flächenveränderungen, weshalb auf eine detaillierte Beschreibung an dieser Stelle verzichtet wird.

Literatur

- Agrar-Atlas 2019. Daten und Fakten über Tiere zur EU-Landwirtschaft. Hg. Heinrich-Böll-Stiftung, Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland, Le Monde Diplomatique, 3. Aufl. 2020, Berlin. Online: https://www.boell.de/sites/default/files/2020-02/agraratlas2019_III_web.pdf?dimension1=ds_agraratlas_2019, (28.05.2021).
- Bayerische Staatskanzlei*. 2012/2020: Bayerisches Landesplanungsgesetz (BayLplG)(GVBl. S. 254) BayRS 230-1-W. Art. 6 Grundsätze der Raumordnung. Zuletzt geändert durch das Gesetz (GVBl. S. 675) vom 23. Dezember 2020. Online: <https://www.gesetze-bayern.de/Content/Document/BayLplG/true>, (28.05.2021).
- Bayerische Staatsregierung*. o.J.: Bayerische Nachhaltigkeitsstrategie. Online: https://www.nachhaltigkeit.bayern.de/strategie/naturliche_ressourcen/index.htm, (05.06.2021).
- BGR, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe*. 2020: Ackerbauliches Ertragspotential der Böden in Deutschland 1:1.000.000. Online: <https://produktcenter.bgr.de/terraCatalog/OpenSearch.do?search=47BE6C4F-409A-11E3-8643-8851FB422C62&type=/Query/OpenSearch.do>, (14.06.2020).
- BKG, Bundesamt für Kartographie und Geodäsie*. 2020: Digitale Geodaten- Verwaltungsgebiete. Online: <https://gdz.bkg.bund.de/index.php/default/digitale-geodaten/verwaltungsgebiete/verwaltungsgebiete-1-1-000-000-ebenen-stand-01-01-vg1000-ebenen-01-01.html>, (12.05.2020).
- BLE, Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung*. 2020: Praxis-Agrar - BLE: EEG 2017 – Vergütung nur noch über Ausschreibung. Online: <https://www.praxis-agrar.de/betrieb/bioenergie/erneuerbare-energie-gesetz/>, (31.08.2020).
- BOOSS, Andreas et al. 2015: Die agrarmeteorologische Situation im Jahr 2013. In: Deutscher Wetterdienst (Hg.): Klimastatusbericht 2013. Offenbach: 30–43. Online: https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimastatusbericht/publikationen/ksb_2013.pdf?__blob=publicationFile&v=2, (28.05.2021).
- BÖRNER, Holger et al. 2008: Weizen. In: HANUS, Herbert et al. (Hg.): Handbuch des Pflanzenbaues 2. Getreide und Futtergräser. Stuttgart: 241–321.
- Bundesinformationszentrum Landwirtschaft* 2021: Energie aus nachwachsenden Rohstoffen. Online: <https://www.landwirtschaft.de/diskussion-und-dialog/umwelt/energie-aus-nachwachsenden-rohstoffen> (10.09.2021).
- CHRISTEN, Olaf. 2008: Triticale. Physiologie und Ertragsbildung. In: HANUS, Herbert et al. (Hg.): Handbuch des Pflanzenbaues 2. Getreide und Futtergräser. Stuttgart: 362–363.
- DBFZ, Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH*. 2017. Anlagenbestand Biogas und Biomethan – Biogaserzeugung und -nutzung in Deutschland. DBFZ Report Nr. 30. Leipzig. Online: https://www.dbfz.de/fileadmin/user_upload/Referenzen/DBFZ_Reports/DBFZ_Report_30.pdf, (15.6.2021).
- Deutscher Klimaatlas 2020. Wetter und Klima. Hg. Deutscher Wetterdienst. Online: https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas_node.html (15.12.2020).
- Die Bundesregierung*. 2020: Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Weiterentwicklung 2021. Online: <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/998006/1873516/3d3b15c-d92d0261e7a0bc8f43b7839/2021-03-10-dns-2021-finale-langfassung-nicht-barrierefrei-data.pdf?download=1>, (18.10.2020).
- DIEPENBROCK, Wulf et al. 2016: Ackerbau, Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung (= UTB 2629). Stuttgart.
- DWD, Deutscher Wetterdienst*. 2020a: Klimastatusbericht Deutschland Jahr 2018. Online: https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimastatusbericht/publikationen/ksb_2018.pdf?__blob=publicationFile&v=5, (15.03.2020).
- DWD, Deutscher Wetterdienst*. 2020b: Klimastatusbericht Deutschland Jahr 2019. Online: https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimastatusbericht/publikationen/ksb_2019.pdf?__blob=publicationFile&v=5, (22.03.2021).
- HOYMANN, Jana et al. 2021: Landnutzung in Deutschland. In: GÖMANN, Horst; FICK, Johanna (Hg.): Wechselwirkungen zwischen Landnutzung und Klimawandel. Braunschweig: 35–50.
- GÖMANN, HORST; WEINGARTEN, Peter. 2018: Landnutzungswandel. In: *Akademie für Raumforschung und Landesplanung* (Hg.): Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung. Hannover: 1335–1347.
- GREEF, Jörg Michael. 2008: Mais. Wirtschaftliche Bedeutung. In: HANUS, Herbert et al. (Hg.): Handbuch des Pflanzenbaues 2. Getreide und Futtergräser. Stuttgart: 464–469.
- HANUS, Herbert. 2008: Getreide. Saat und Bestandesführung. In: HANUS, Herbert et al. (Hg.): Handbuch des Pflanzenbaues 2. Getreide und Futtergräser. Stuttgart: 89–103.
- LEDERER, Lauritz; POHLE, Perdita. 2021: Der Klimawandel in Bayern – aktuelle Klimatrends und Zukunftssimulationen im Hinblick auf die Landwirtschaft. In: *Fränkische Geographische Gesellschaft* (Hg.): Herausforderungen des Klimawandels in Bayern. Band 67. Erlangen.
- LfL, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft*. 2018: Bayerischer Pflanzenbauspiegel 2018. Online: <https://www.bayerischerbauernverband.de/sites/default/files/2018-07/LfL%20-%20Bayerischer%20Pflanzenbauspiegel%202018.pdf>, (28.05.2021).
- LfL, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft*. 2019: Milchreport Bayern 2019. Ergebnisse der Betriebszweiggabrechnung Milchproduktion 2018/19. Online: https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/milchreport-bayern-2019_lfl-information.pdf, (10.05.2021).
- LfStat, Bayerisches Landesamt für Statistik*. 2020a: Pressemitteilung – Start der Landwirtschaftszählung 2020. Online: <https://www.statistik.bayern.de/presse/mitteilungen/2020/pm038/index.html>, (12.11.2020).
- LfStat, Bayerisches Landesamt für Statistik*. 2020b: Landwirtschaftliche Betriebe insgesamt 2020 nach jeweiligen Flächen und Anbaukulturen (In Tausend) – vorläufiges Ergebnis – TAB. 0101.1R-5R, schriftliche Auskunft (11.11.2020).
- LfStat, Bayerisches Landesamt für Statistik*. 2021a: 41121-202s: Agrarstrukturerhebung (Bodennutzung): Gemeinde, landwirtschaftlich genutzte Fläche, Kulturarten (17)/ Kulturarten (45), Jahr (1999, 2003, 2007). GENESIS-Online Datenbank. Online: <https://www.statistikdaten.bayern.de/genesis/online?operation=table&code=41121-202s&bypass=true&levelindex=0&levelid=1626860085384#abreadcrumb>, (01.01.2021).
- LfStat, Bayerisches Landesamt für Statistik*. 2021b: 33111-201r: Fläche: Gemeinden, Fläche, Art der tatsächlichen Nutzung (6)/(10)/(17), Jahr (von 1980 bis 2013). GENESIS-Online Datenbank. Online: <https://www.statistikdaten.bayern.de/genesis/online?operation=table&code=33111-201r&bypass=true&levelindex=0&levelid=1628260668462#abreadcrumb>, (01.01.2021).
- LfStat, Bayerisches Landesamt für Statistik*. 2021c: 33111-001r: Fläche: Gemeinden, Fläche (ALKIS), Art der tatsächlichen Nutzung (nach ALKIS-Nutzungsarten), Jahr (ab 2014). GENESIS-Online Datenbank. Online: <https://www.statistikdaten.bayern.de/genesis/online?operation=table&code=33111-001r&bypass=true&levelindex=0&levelid=1626859894715#abreadcrumb>, (01.01.2021).

- LfStat, Bayerisches Landesamt für Statistik. 2021d: 41141-001: Landwirtschaft: Kreise, Betriebe, Fläche, Bodennutzungsarten, Jahr (2010, 2016). GENESIS-Online Datenbank. Online: <https://www.statistikdaten.bayern.de/genesis/online?operation=table&code=41141-001&bypass=true&levelindex=0&levelid=1626860190308#abreadcrumb>, (01.01.2021).
- LfStat, Bayerisches Landesamt für Statistik. 2021e: 41141-002: Landwirtschaft: Kreise, Anbau auf dem Ackerland, Fruchtarten, Jahr (2010, 2016). GENESIS-Online Datenbank. Online: <https://www.statistikdaten.bayern.de/genesis/online?operation=table&code=41141-002&bypass=true&levelindex=0&levelid=1626860256887#abreadcrumb>, (01.01.2021).
- LfStat, Bayerisches Landesamt für Statistik. 2021f: 41241-101r: Ernte: Kreise, Durchschnittlicher Hektarertrag, Fruchtart (Getreide), Jahr (bis einschl. 2015). GENESIS-Online Datenbank. Online: <https://www.statistikdaten.bayern.de/genesis/online?operation=table&code=41241-101r&bypass=true&levelindex=0&levelid=1626860356468#abreadcrumb>, (01.01.2021).
- LfStat, Bayerisches Landesamt für Statistik. 2021g: 41241-102r: Ernte: Kreise, Durchschnittlicher Hektarertrag, Fruchtarten (Hülsen-, Hackfrüchte, Futterpflanzen, Handelsgewächse), Jahr (bis einschl. 2015). GENESIS-Online Datenbank. Online: <https://www.statistikdaten.bayern.de/genesis/online?operation=table&code=41241-102r&bypass=true&levelindex=0&levelid=1626860505813#abreadcrumb>, (01.01.2021).
- LfStat, Bayerisches Landesamt für Statistik. 2021h: 41241-103r: Ernte: Kreise, Durchschnittlicher Hektarertrag, Fruchtarten (Grünland), Jahr (bis einschl. 2015). GENESIS-Online Datenbank. Online: <https://www.statistikdaten.bayern.de/genesis/online?operation=table&code=41241-103r&bypass=true&levelindex=0&levelid=1628261064394#abreadcrumb>, (01.01.2021).
- LfStat, Bayerisches Landesamt für Statistik. 2021i: 41241-001z: Ernte: Kreis, Durchschnittlicher Hektarertrag, ausgewählte Fruchtarten, Jahre (2016-2020). GENESIS-Online Datenbank. Online: <https://www.statistikdaten.bayern.de/genesis/online?operation=table&code=41241-001z&bypass=true&levelindex=0&levelid=1626860941240#abreadcrumb>, (01.01.2021).
- LÖPMEIER, Franz-Josef. 2004: Die agrarmeteorologische Situation 2003. In: *Deutscher Wetterdienst* (Hg.): Klimastatusbericht 2003. Offenbach: 84–93.
- MEINERT, Torben et al. 2019: Ursachen und Folgen der Trockenheit in Deutschland und Europa ab Juni 2019. Online: https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/duerre/20190712_trockenheit_juni_juli_2019.pdf?__blob=publicationFile&v=1, (28.05.2021).
- MEINERT, Torben; SCHUBE, Corina. 2018: Die Trockenheit in Deutschland 2018 aus agrarmeteorologischer Sicht. Online: https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/duerre/20180705_trockenheit_in_deutschland_2018.pdf?__blob=publicationFile&v=5, (28.05.2021).
- MIEDANER, Thomas. 2014: Kulturpflanzen. Botanik – Geschichte – Perspektiven. Berlin, Heidelberg.
- MÜLLER, Lothar et al. 2007: The Müncheberg Soil Quality Rating. Field Manual for Detecting and Assessing Properties and Limitations of Soils for Cropping and Grazing. – Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF), Müncheberg. 1. Entwurf, Nov. 2007. Online: http://www.zalf.de/de/forschung_lehre/publikationen/Documents/Publikation_Mueller_L/field_mueller.pdf (20.07.2021).
- PIETZSCH, Saskia et al. 2016: Die agrarmeteorologische Situation im Jahr 2015. In: *Deutscher Wetterdienst* (Hg.): Klimastatusbericht 2015. Offenbach: 31–48.
- RÖSTEL, Hans-Joachim. 1999: Zuckerrübe. Biologische und Ökologische Grundlagen. Physiologie der Ertragsbildung. In: KELLER, Ernst Robert et al. (Hg.): *Handbuch des Pflanzenbaues 3. Knollen- und Wurzelfrüchte, Körner- und Futterleguminosen*. Stuttgart: 324–327.
- SCHALLER, Michaela et al. (Hg.). 2007: Analyse des Sachstands zu Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die deutsche Landwirtschaft und Maßnahmen zur Anpassung. Landbauforschung Völkenrode. Sonderheft 316. Braunschweig.
- SCHIMMELPFENNIG, Sonja et al. 2018: Klimaanpassung in Land- und Forstwirtschaft – Ergebnisse eines Workshops der Ressortforschungsinstitute FLI, JKI und Thünen-Institut. Thünen Working Paper 86. Braunschweig.
- SCHOPFER, Peter; BRENNICKE, Axel. 2010: *Pflanzenphysiologie*. Heidelberg, 7. Aufl.
- Statistisches Bundesamt. 2017: Land- und Forstwirtschaft. Methodische Grundlagen der Agrarstrukturerhebung 2016. Fachserie 3 Reihe 2: 5. https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Landwirtschaftliche-Betriebe/Publikationen/Downloads-Landwirtschaftliche-Betriebe/grundlagen-strukturerhebung-2032605169004.pdf;jsessionid=DFABB896277B2862F1A567A8283D7D2E.live742?__blob=publicationFile, (12.05.2021).
- Statistisches Bundesamt. 2020: Bodenfläche nach Nutzungsarten und Bundesländern 31.12.2019. Online: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Flaechennutzung/Tabellen/bodenflaeche-laender.html>, (06.11.2020).
- Statistisches Bundesamt. 2021: Qualitätsbericht. Besondere Ernte- und Qualitätsermittlung (BEE). Online: https://www.destatis.de/DE/Methoden/Qualitaet/Qualitaetsberichte/Land-Forstwirtschaft-Fischerei/ernte-qualitaet-bee.pdf;jsessionid=12AE92E7476DC74DA3EE72FEE145A80F.live722?__blob=publicationFile, (10.5.2021).
- StMELF, Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. 2019: Merkblatt. Genehmigung einer Umwandlung von Dauergrünland. Online: https://www.stmelf.bayern.de/mam/cms01/agrarpolitik/dateien/m_dauergruenland.pdf, (28.05.2021).
- StMELF, Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. 2020: Bayerischer Agrarbericht 2020. Entwicklung der Landwirtschaft. Online: <https://www.agrarbericht-2020.bayern.de/landwirtschaft-laendliche-entwicklung/landnutzung.html>, (08.05.2021).
- StMUV, Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz. 2020: Flächenverbrauchsbericht 2020. Online: <https://www.stmuv.bayern.de/themen/boden/flaechensparen/verbrauchsbericht.htm>, (28.05.2021).
- StMUV, Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz. 2021: Klima-Report Bayern 2021. Klimawandel, Auswirkungen, Anpassungs- und Forschungsaktivitäten. Online: [https://www.bpb.de/izpb/laendliche-raeume-343/312717/landnutzungswandel](https://www.bestellen.bayern.de/application/eshop_app000006?SID=183993780&ACTIONxSESSxS HOWPIC(BILDxKEY:%27stmuv_klima_012%27,BILDxCLASS:%27Artikel%27,BILDxTYPE:%27PDF%27), (04.05.2021).</p>
<p>WEINGARTEN, Peter. 2020: Landnutzungswandel. In: Bundeszentrale für politische Bildung (Hg.): <i>Informationen zur politischen Bildung. Ländliche Räume</i> 343: 38–45. Online: <a href=), (12.05.2021).

Abstract: Agricultural Land Use Changes in Bavaria since 1999 – Does Climate Change Matter?

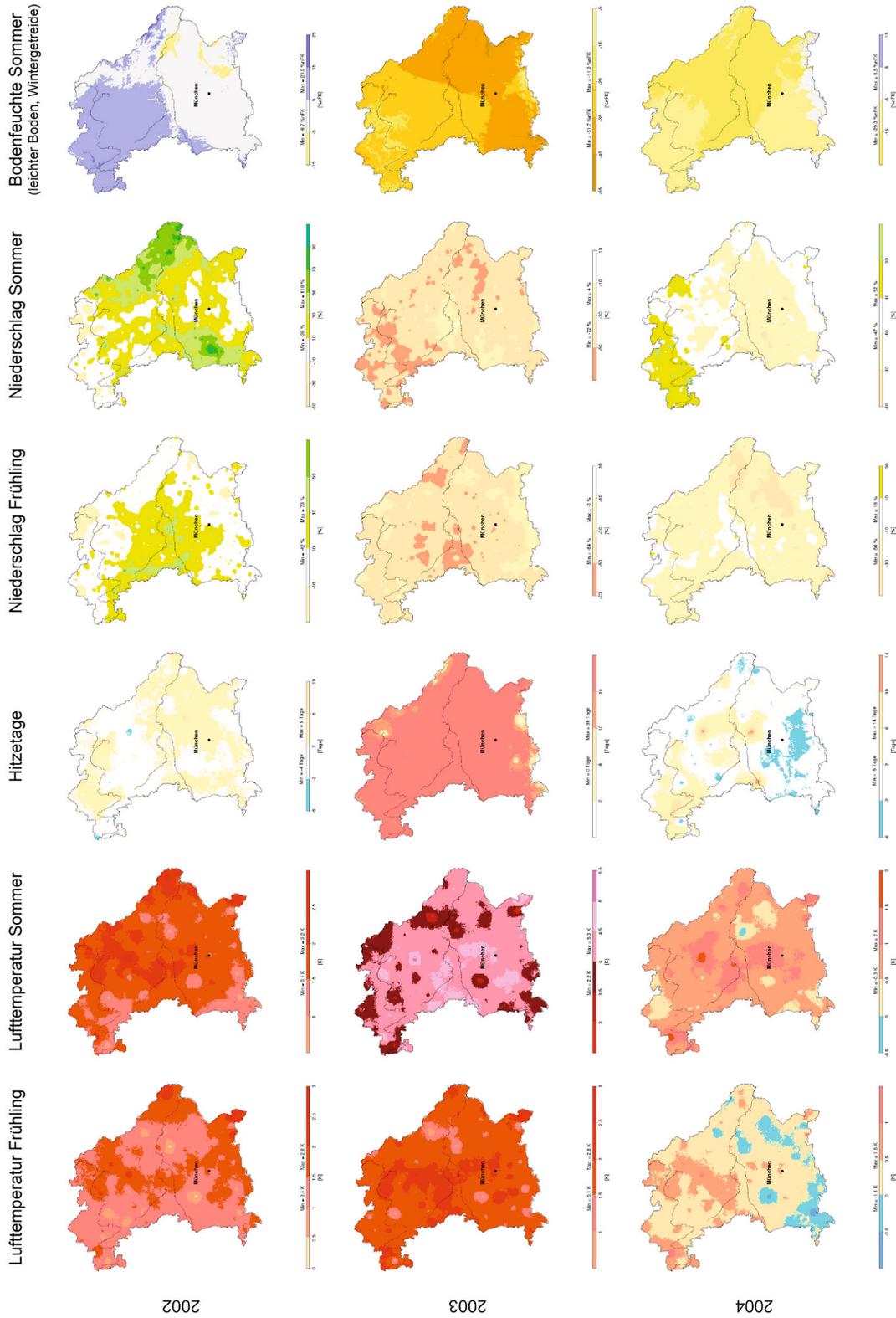
Against the background of climate change as a potential influencing factor, this article discusses changes in agricultural land use in Bavaria since 1999. By means of a spatio-temporal secondary data analysis we provide an overview of area trends and harvest dynamics. In addition to the overall decrease in agricultural land, a Bavaria-wide decrease in permanent grassland was evident. In the case of arable land, a decrease was visible in the northern/eastern counties as well as an increase in the southern/western counties. An increase of acreage was recorded for wheat, silage corn and grain corn. Crop yields in 2019 were higher than in 1999 for all crops except potatoes and silage corn. Yield losses were particularly evident in the years 2003, 2013, 2015 and 2018, which were characterized by a lack of precipitation, droughts, above-average temperatures and many heat days in the summer months. A link between climate change and agricultural land use in Bavaria especially arises indirectly via climate change policy measures (Renewable Energy Sources Act) and their consequences in area trends (increase in corn cultivation). In addition, the drop in yields in arable farming correlates with the weather extremes that have occurred more frequently in the past ten years. In agricultural production, adaptation measures to deal with climate change impacts and extreme weather events are becoming increasingly important.

Keywords: **Bavaria, climate change, weather extremes, agricultural land use, area trends, harvest dynamics**

Autor*innen: Dr. Julia Kieslinger, julia.kieslinger@fau.de; Maximilian Brönner, maximilian.broenner@fau.de; Carina Austermühl, car.austerm@googlemail.com; Prof. Dr. Perdita Pohle, perdita.pohle@fau.de, alle Institut für Geographie der Friedrich-Alexander-Universität (FAU) Erlangen-Nürnberg.

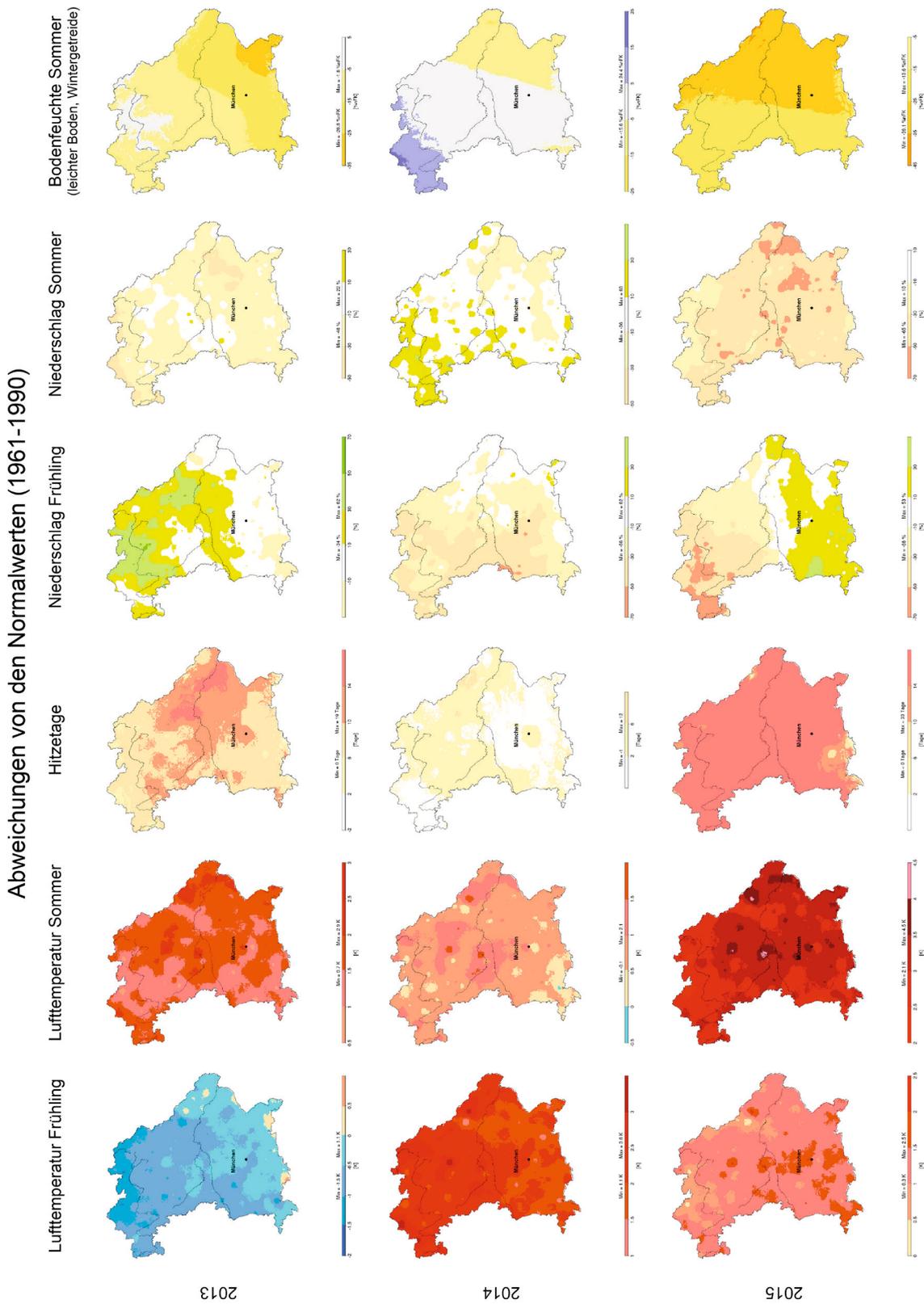
Annex 1: Karten des DWD mit ausgewählten Klimaparametern für Bayern 2002–2004

Abweichungen von den Normalwerten (1961-1990)



Entwurf: KIESLINGER; Quelle: Deutscher Klimaatlas 2020.

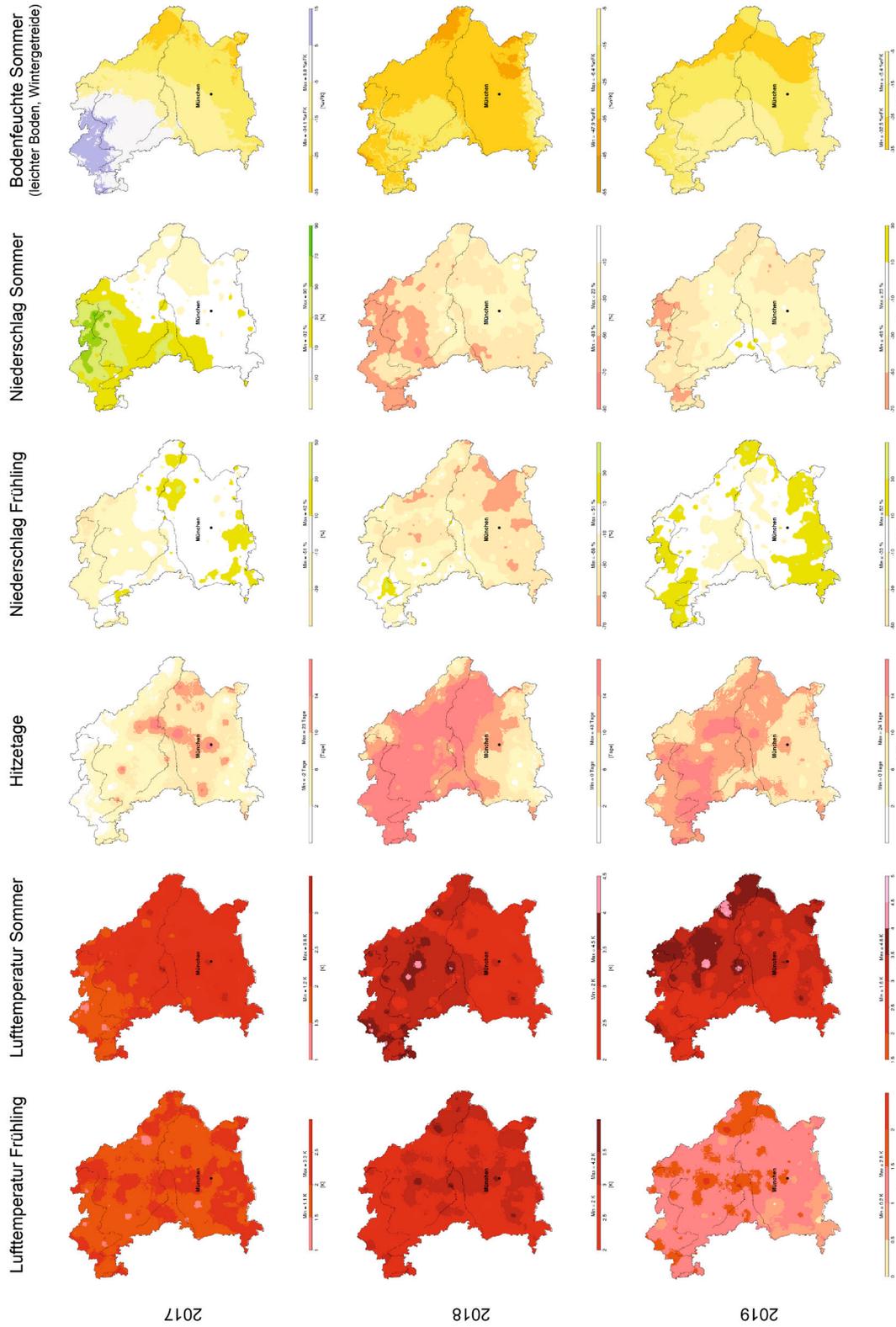
Annex 2: Karten des DWD mit ausgewählten Klimaparametern für Bayern 2013–2015



Entwurf: KIESLINGER; Quelle: Deutscher Klimaatlas 2020.

Annex 3: Karten des DWD mit ausgewählten Klimaparametern für Bayern 2017–2019

Abweichungen von den Normalwerten (1961-1990)



Entwurf: KIESLINGER; Quelle: Deutscher Klimaatlas 2020.