

Einfluss des Klimawandels auf Flora, Fauna und Lebensräume in den Landkreisen Ober-, Ost- und Unterallgäu (Bayern, Deutschland)

von Michael F. Schneider

ZUSAMMENFASSUNG

Ziel der vorliegenden Untersuchung war, Änderungen der Luft- und Wassertemperaturen, der Verweildauer von Zugvögeln sowie der Dauer der Vegetationsperiode in den Landkreisen Ober-, Ost- und Unterallgäu zu untersuchen. Die Jahresdurchschnittstemperaturen haben sich seit 1850 um 1,4 °C bis 2,4 °C erhöht, die Wassertemperaturen der untersuchten Gewässer stiegen zwischen 1981 und 2018 um 1,2 °C bis 3,4 °C. Die Dauer der Vegetationsperiode betrug in den untersuchten Orten 2016 zwischen 238 und 271 Tage und hat sich gegenüber 1952 um bis zu 35 Tage verlängert. Von 20 untersuchten Zugvogelarten kehrten in der untersuchten Zeitspanne von 30 Jahren 2017 16 Arten im Durchschnitt 13 Tage früher aus den Überwinterungsgebieten zurück. Schließlich wurden Biologen, Schmetterlingskundler, Herpetologen und Fachleute aus Forst- und Wasserwirtschaft um ihre Einschätzung zum Einfluss des Klimawandels auf Flora, Fauna und Lebensräume im Allgäu (Bayern) befragt, die Ergebnisse vorgestellt und diskutiert.

1. EINLEITUNG

Das Klima auf der Erde war im Laufe der Erdgeschichte wiederholt Schwankungen unterworfen (Mayewski et al., 2004). Messungen seit Beginn der Wetteraufzeichnungen um 1850 belegen eine weltweite Temperaturerhöhung; besonders seit den 1980er Jahren ist ein steilerer Anstieg der Temperatur zu verzeichnen. Heute liegt die globale Mitteltemperatur bereits knapp 1 ° Celsius über den Temperaturen der vorindustriellen Zeit und die globale Temperatur wird bis zum Ende des Jahrhunderts weiter um 2 °C bis 4,5 °C steigen (IPCC, 2013).

Ursache für den Klimawandel ist hauptsächlich eine Erhöhung des Anteils des atmosphärischen Kohlenstoffdioxids (CO₂), daneben auch anderer Treibhausgase wie Wasserdampf, Methan, Lachgas und Ozon durch menschliche Aktivitäten. Von den Treibhausgasen wird vermehrt infrarotes Licht absorbiert und dadurch bodennahe Luftschichten erwärmt (Roedel & Wagner, 2011).

Folgen des anthropogenen Klimawandels sind neben der Erderwärmung die Zunahme von Extremwetterereignissen, das Auftauen der Permafrostgebiete, das Abschmelzen der Polkappen und Gletscher sowie die damit einhergehende Erhöhung des Meeresspiegels, eine Änderung von Meeresströmungen, die Versauerung der Meere, das Ergrünen der Sahara und die Verschiebung der Klimazonen (Schönwiese, 2013).

Das Klima in Mitteleuropa wird künftig geprägt durch heiße, niederschlagsärmere Sommer und wärmere, niederschlagsreichere Winter. Kälteextreme treten seltener auf, Wärmeextreme häufiger. Insgesamt sind höhere Durchschnittstemperaturen in Mitteleuropa zu erwarten, ferner eine Abnahme der Jahresniederschlagsmenge, die Zunahme von Starkregenereignissen, Orkanen, Dürreperioden und Hitzewellen mit neuen Temperaturrekorden, Hochwässern, Bodenerosion und Murenabgängen (UBA, 2006).

Eine Temperaturerhöhung kann starke Verschiebungen der Verbreitungsgebiete von Tier- und Pflanzenarten, sowie Änderungen der Artenzusammensetzung und der Struktur ganzer Ökosysteme nach sich ziehen. Die Konsequenz für viele Arten in Mitteleuropa ist eine Wanderung Richtung Norden und Osten oder in Richtung höherer Lagen der Gebirge (Klotz & Settele, 2017). Außerdem geht der Klimawandel mit einem Verlust von Biodiversität und Ökosystem-Dienstleistungen einher (Scholes, 2016). Am deutlichsten zeigen sich Temperaturänderungen bereits an phänologischen Ereignissen wie Beginn und Ende der Vegetationszeit, Rückkehr von Vögeln aus ihren Winterquartieren, Brutzeiten, Erstflug der Honigbiene oder Aufwachen der Murmeltiere (DWD, ohne Jahr).

Die Änderung der Ankunftszeiten von Zugvögeln aus den Überwinterungsgebieten wurde bereits für unterschiedliche Regionen Europas dokumentiert (z. B. Hüppop et al. 2008; Kullberg & Fransson, 2015; Newson & Moran, 2016). Phänologische Studien bei Pflanzen richten den Blick auf periodisch wiederkehrende Wachstums- und Entwicklungserscheinungen und betrachten die Eintrittszeiten charakteristischer Vegetationsstadien (Phasen). Beginn und Ende dieser Phasen hängen stark von der Witterung ab, deshalb sind phänologische Befunde gut für Trendanalysen zur Klimadiagnostik geeignet (Heiland et al, 2018). So markiert beispielsweise der Beginn der Blüte der Gewöhnlichen Hasel (*Corylus avellana*) den Beginn des Vorfrühlings, der Beginn der Blüte des Schwarzen Holunders (*Sambucus nigra*) den Beginn des Frühsommers, seine Fruchtreife den Beginn des Frühherbstes und schließlich der Beginn des Nadelfalls der Europäischen Lärche (*Larix decidua*) den Beginn des Winters (DWD, ohne Jahr).

Studien zur Auswirkung des Klimawandels auf Lebensräume, Tier und Pflanzenarten, insbesondere zu Vogelzug und phänologischen Ereignissen für Pflanzen liegen für das Allgäu bisher noch nicht vor. Ziel der vorliegenden Untersuchung war, diese Lücke zu schließen.

2. MATERIAL UND METHODE

2.1 Klimadaten und Wassertemperatur

Die Datensätze Jahresdurchschnittstemperatur der Luft in 2 m Höhe über dem Boden wurden vom FTP-Server des Deutschen Wetterdienstes geladen (DWD, ohne Jahr). Folgende Standorte aus der Region waren verfügbar und wurden gewählt: Oberstdorf (ab 1886), Hohen-Peißenberg (ab 1850), Kempten/Spitalhof (ab 1952) und Memmingen (ab 1940). Weitere Standorte wie Petersthal oder Reschenberg, wo Daten erst ab 1990 oder später aufgezeichnet werden, sind nicht in die Auswertung einbezogen worden. Bei folgenden Wetterstationen wurden Daten zur Jahresdurchschnittstemperatur angefragt: Wetterwarte Südwest in Bad Schussenried (<http://www.wetterwarte-sued.com>), Agrarmeteorologie Bayern (<http://www.wetter-by.de>), den privaten Wetterstationen Isny (<http://www.wetterstation-isny.de>) und Mindelheim (<https://www.wetterstation-mindelheim.de>) sowie den Waldklimastationen der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft und Forsten (<http://www.lwf.bayern.de/wks>), die aber entweder nicht über den Messparameter Lufttemperatur verfügen oder Daten erst ab 1990 erheben. Auf der Plattform GLOWA-Projekt Donau (2015) wurden Sommer- und Wintertemperaturen für Oberstdorf für die Dekaden 2031 bis 2060 simuliert und mit den Temperaturen der Dekaden 1971 bis 2000 verglichen. Von vier Klimamodellen wurde dasjenige mit der moderatesten Temperaturänderung gewählt (www.glowa-danube.de/atlas/s2.php).

Die Wassertemperaturen der Fließgewässer stammen vom Server des Gewässerkundlichen Dienstes Bayerns (GKD, ohne Jahr). Das eingeschränkte verfügbare Angebot an Messpunkten mit dem gewünschten Messparameter Wassertemperatur gab die Standorte vor: die Iller bei Sonthofen und Wiblingen, die Wertach/Grüntensee bei Haslach sowie die Günz bei Waldstetten. Aus den mittleren täglichen Wassertemperaturen wurden die Jahresdurchschnittstemperaturen errechnet.

2.2 Phänologische Daten

Die Suche nach Erst- und Letztzeiten von Vogelarten erfolgte in den „Avifaunistischen Kurzmitteilungen aus dem Oberallgäu“ der Mitteilungen des Naturwissenschaftlichen Arbeitskreises Kempten (Allgäu) der Volkshochschule Kempten (Walter, 1978-2011) und den Naturkundlichen Beiträgen aus dem Allgäu (Walter 2012-2018), die auf http://www.zobodat.at/publikation_series.php?id=17530 abgerufen werden können. Zusätzlich stammen die Daten für manche Arten ab 2014 von ornitho.de (DDA, ohne Jahr).

Folgende **20 Zugvogel-Arten** wurden untersucht: Kuckuck (*Cuculus canorus*), Mauersegler (*Apus apus*), Uferschwalbe (*Riparia riparia*), Mehlschwalbe (*Delichon urbicum*), Rauchschwalbe (*Hirundo rustica*), Baumpieper (*Anthus trivialis*), Schafstelze (*Motacilla flava*),

Steinschmätzer (*Oenanthe oenanthe*), Gartengrasmücke (*Sylvia borin*), Klappergrasmücke (*S. curruca*), Feldschwirl (*Locustella naevia*), Teichrohrsänger (*Acrocephalus scirpaceus*), Sumpfrohrsänger (*A. palustris*), Gelbspötter (*Hippolais icterina*), Fitis (*Phylloscopus trochilus*), Waldlaubsänger (*P. sibilatrix*), Berglaubsänger (*P. bonelli*), Grauschnäpper (*Muscicapa striata*), Braunkehlchen (*Saxicola rubetra*) und Neuntöter (*Lanius collurio*). Die Ergebnisse werden ohne Ortsbezug für den Landkreis Oberallgäu dargestellt. Aus dem phänologischen Grundnetz des Deutschen Wetterdienstes (DWD, ohne Jahr) wurden Daten der Jahresmelder, die ab 1951 verfügbar sind, gewählt. Diese Daten werden von ehrenamtlichen Beobachtern gemäß einer ausführlichen Beobachteranleitung erhoben.

Aus den Landkreisen Ober-, Ost- und Unterallgäu wurden idealerweise Orte mit mehr als 50 phänologischen Beobachtungsjahren ausgesucht, außerdem sollten die Beobachtungen bis in die Gegenwart reichen. Die gewählten Orte markieren eine Nord-Süd- sowie eine Ost-West-Achse mit dem östlichsten Ort Füssen, dem südlichsten Ort Oberstdorf, dem nördlichsten und tiefst gelegenen Ort Pfaffenhausen/Schwaben und dem westlichsten und höchst gelegenen Ort Wegscheidel (Oberallgäu).

Aus der Gesamtheit von ca. 180 Phasen (Entwicklungsstadien), die beim **DWD** verfügbar sind, wurden folgende acht Phasen ausgewählt: Beginn der Blüte der Gewöhnlichen Hasel (*Corylus avellana*), des Löwenzahns (*Taraxacum officinale*), der Herbstzeitlosen (*Colchicum autumnale*), Höhepunkt des Laubfalls der Hänge-Birke (*Betula pendula*) und der Gewöhnlichen Rosskastanie (*Aesculus hippocastanum*), Höhepunkt der Laubfärbung und des Laubfalls der Stiel-Eiche (*Quercus robur*) sowie des Nadelfalls der Europäischen Lärche (*Larix decidua*). Entscheidend jedoch waren die Ereignisse zu Beginn und Ende der Vegetationsperiode (Beginn der Blüte der Hasel sowie Höhepunkt des Nadelfalls der Lärche). Nicht alle phänologischen Daten sind für alle Beobachtungsorte und nicht für den Gesamtzeitraum von 1951 bis 2018 verfügbar. Außer in Oberstdorf gab es an diesen Orten leider keine Wetterstationen.

2.3 Datenaufbereitung

Die Daten von den Servern des DWD und des GKD werden als *.txt-Dateien ausgegeben, diese wurden durch Import in MS Access in Tabellen umgewandelt und anschließend in MS Excel importiert. Datum-Angaben, beispielsweise 19520723 mussten zunächst in das Datumformat 23.07.1952 umgewandelt werden (=DATUM(LINKS(G3;4);LINKS(RECHTS(G3;4);2);RECHTS(G3;2))). Um statistische Auswertungen zu ermöglichen, war weiterhin die Berechnung des Tages des Jahres aus dem Datum erforderlich (=D2-DATUM(JAHR(D2);1;1)+1)) und umgekehrt das Datum aus dem Tag des Jahres (=DATUM(M27;1;0)+O27)). Beispielsweise entspricht der 23.07. dem 204. Tag des Jahres, in einem Schaltjahr Tag 205 des Jahres. Bei der grafischen Darstellung der Ergebnisse wurde das Datumsformat für die Ordinate gewählt und lineare Trendlinien / Regressionsgeraden (einfache lineare Regression nach der Methode der kleinsten Quadrate) eingefügt. Der Verlauf der Regressionsgeraden wurde verwendet, um zeitliche Änderungen der Jahresdurchschnittstemperaturen, Wassertemperaturen, Ankunft in und Wegzug aus den Brutgebieten sowie Dauer der Vegetationsperiode in den Untersuchungszeiträumen zu untersuchen. Der Korrelationskoeffizient, also die Summe der Abweichungsquadrate, wurde bestimmt (=KORREL(M3:M35;O3:O35)). Geringe Korrelation liegt vor bei einem Betrag des Korrelationskoeffizienten von $|r| < 0,3$, mittlere Korrelation bei einem Betrag von $|0,3 < p < 0,5|$ und hohe Korrelation bei einem Betrag $|r| \geq 0,5$. Da die Daten normalverteilt sind und die beiden Variablen in einem linearen Zusammenhang stehen, wurde der Pearson-Korrelationskoeffizient mit Hilfe des Statistik-Programms R (The R Foundation for Statistical Computing, Version 3.5.2 von 2018) berechnet. Dieser zeigt das Signifikanzniveau: Eine Irrtumswahrscheinlichkeit kleiner 5% ($p < 0,05$) gilt als statistisch signifikant, p-Werte kleiner 0,01 ($<1\%$) sind stark signifikant (Renner, E., 1970). Alle Daten, auch „Ausreißer“, wurden berücksichtigt und diese nicht eliminiert.

2.4 Persönliche Mitteilungen

Johann Bauer (Verfasser „Notizen zur Flora des Allgäus“, Marktoberdorf), Andreas Fisel (Revierförster, Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten [AELF], Fischen), Peter Harsch (Biologe, Hegge), Walter Hundhammer (Schmetterlingskundler, Füssen), Alfred Karle-Fendt (Insektenkundler, Herpetologe, Sonthofen), Olav König (Gewässerbiologe, Wasserwirtschaftsamt (WWA), Kempten), Herbert Stadelmann (Insektenkundler, Herpetologe, Kempten), Dietmar Walter (Leiter Ornithologischer Arbeitskreis der VHS Kempten, Börwang) und Dr. Ulrich Weiland (Projektleiter, Allgäuer Moorallianz, Marktoberdorf) wurden zum Einfluss des Klimawandels auf Lebensräume, Flora und Fauna befragt.

2.5 Literatursuche

Naturkundliche Beiträge aus dem Allgäu (vor 2012 Mitteilungen des Naturwissenschaftlichen Arbeitskreises Kempten (Allgäu) der Volkshochschule Kempten), abrufbar unter http://www.zobodat.at/publikation_series.php?id=17530, wurden nach Berichten über (Erst-)Beobachtungen wärmeliebender Arten im Allgäu durchgesehen.

3. ERGEBNISSE UND DISKUSSION

3.1 Auswirkungen des Klimawandels auf Lebensräume

3.1.1 Jahresdurchschnittstemperaturen

Die ausgewerteten Jahresdurchschnittstemperaturen (**Abb. 1**) zeigen eine Erhöhung um 1,4 °C bis 2,4 °C im Untersuchungszeitraum: Hohen-Peißenberg von 5,5 °C im Jahr 1850 auf 7,4 °C, Kempten von 6,1 °C im Jahr 1952 auf 8,5 °C, Oberstdorf von 5,5 °C im Jahr 1886 auf 6,9 °C und Memmingen von 6,8 °C im Jahr 1940 auf 8,8 °C im Jahr 2018.

Mittels GLOWA-Projekt Donau (2015) wurde der Klimatrend für Oberstdorf simuliert: Die mittleren Sommertemperaturen (Mai-Oktober) für die Dekaden 2031-2060 liegen bei 14-15 °C, die mittleren Wintertemperaturen (November-April) bei 3-4 °C. Im Vergleich dazu lagen die mittleren Wintertemperaturen in den Dekaden 1971-2000 bei 1-2 °C, die Sommertemperaturen bei 11-12 °C. Der Vergleich der Dekaden 1971-2000 mit 2031-2060 weist auf eine Temperaturerhöhung auf etwa 2 °C im Winter rund 3 °C im Sommer hin.

Der Alpenraum reagiert besonders sensibel auf Klimaänderungen, die Temperaturen stiegen im letzten Jahrhundert mit 1,5 °C etwa doppelt so stark wie im globalen Durchschnitt. In Österreich sind die Jahresdurchschnittstemperaturen in den vergangenen 100 Jahren um 1,8 °C gestiegen, was einer zwei- bis dreifach stärkeren Zunahme des Durchschnitts auf der Nordhalbkugel entspricht. Prognosen deuten darauf hin, dass die Jahresdurchschnittstemperaturen in Österreich bis 2085 um 2,5 °C bis über 5 °C ansteigen werden. Die stärkste Erwärmung verzeichnen Gebirgslagen, unter anderem in Tirol (ÖBf, ohne Jahr).

3.1.2 Wald

„Nördlich der Donau ist die Gewöhnliche Fichte (*Picea abies*) an vielen Standorten auf dem Rückzug, im Süden jedoch scheinen bislang zumindest die Bergwälder des Allgäus mit dem Klimawandel noch relativ gut zurechtzukommen. Die Schäden durch Borkenkäfer sind selbst während des extremen Sommers des Jahres 2018 in einem überschaubaren Rahmen geblieben. Extreme Winterstürme, die früher etwa alle 10 Jahre auftraten, sind jedoch häufiger geworden. Der Wald, ein großer, träger Organismus, reagiert langsam auf den Klimawandel. Veränderungen in der Artenzusammensetzung, bisher im Allgäu noch nicht festgestellt, werden aber eintreten: Die Rot-Buche (*Fagus sylvatica*) wird zu Lasten der Fichte einen größeren Raum einnehmen. Auch die Waldgrenze wird sich nach oben verschieben, unbemerkt allerdings, da sie ja heute schon nicht durch den Standort, sondern durch die überlagernde Alpwirtschaft bestimmt wird. Die Dramatik extremer Witterungsverläufe zeichnet sich schon sehr deutlich in den Waldbildern des Flachlandes und der Mittelgebirge ab. Hier werden bereits bei einer Erwärmung um 2 °C klimatische Gege-

benheiten skizziert, die Wuchsbedingungen außerhalb der uns bekannten Waldgesellschaften erzeugen könnten. Im Allgäu wird diese Entwicklung weniger dramatisch sein. Die Temperaturen im Gebirge werden etwas ansteigen und in der neuen Klimahülle werden die altbekannten Arten Rot-Buche, Eichen (*Quercus* spp.), Edellaubbäume und Weiß-Tanne (*Abies alba*) bleiben und sich lediglich neu mischen. Gewinner eines trockeneren Klimas werden Insekten sein, die den heimischen Baumarten bestimmt auch vermehrt zusetzen werden“ (pers. Mitteilung Andreas Fisel).

Ebenso in Österreich wird die Fichte bereits als Verlierer gewertet. Gewinner sind Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris*) und Stiel-Eiche (*Quercus robur*), die mit weniger Niederschlägen während der Vegetationsperiode auskommen, sowie die Buche, die sich bergauf in höhere Lagen ausbreitet. Im Gebirge wird es zu einem Ansteigen der klimabedingten Waldgrenze kommen (ÖBf, ohne Jahr). Die Fichtenreinbestände der Alpen haben eine schlechte Überlebenschance. Da die Fichte nicht gut an längere Trockenperioden angepasst ist, wurde ein Waldumbau mit einem höheren Anteil an Laubbäumen und Weißtanne unabdingbar. Dieser wird im Rahmen der Bayerischen Bergwaldoffensive vollzogen.

Buchen könnten in ein paar Jahrzehnten bis 400 Meter höher am Berg wachsen, ebenso wird die Latschen-Kiefer (*Pinus mugo*) weiter hinauf wandern. Manche Forscher schätzen, dass die Waldgrenze in den Bergen bis zum Jahr 2050 um mehr als 1.000 Höhenmeter steigen könnte. Wenn großräumige Vegetationsverschiebungen besonders in Waldgebieten eintreffen, ändert sich das Abflussverhalten der Fließgewässer aus den alpinen Einzugsgebieten. Zusammen mit großflächigen Borkenkäfer-Kalamitäten in Fichtenbeständen der Hanglagen kann dies zu erhöhtem Bodenabtrag durch Erosion und Verlust der Wasserspeicherkapazität des Gebietes führen. Ferner nimmt das Risiko für Waldbrände zu (BR, 2018). Schließlich bedingen steigende Temperaturen einen weiteren Gefährdungsfaktor: Durch das Auftauen des Permafrosts in Lagen über 2.200 m ü NN können Steinerschlag und Muren ausgelöst werden (LfU, ohne Jahr).

3.1.3 Moore

Der Klimawandel wird wegen der Temperaturerhöhung und wegen einer Änderung der Niederschlagsmengen große Auswirkungen auf Moore und Feuchtgebiete haben. Hochmoore beheimaten als Reliktstandorte stark spezialisierte, kälteliebende Arten, die ggf. über „Moortreppen“ in höhere Lagen ausweichen, die aber keine Ersatz-Lebensräume besiedeln können (ÖBf, ohne Jahr).

„Eine der augenfälligsten Veränderungen unserer Moore ist ihre fortschreitende Verwaldung, auch von hydrologisch intakten Flächen ohne Entwässerungseinrichtungen. Luftbildvergleiche machen dies deutlich. Die Moor-Spirke oder Moor-Kiefer (*Pinus x rotundata*), konnte zunächst durch graduelle Veränderungen der Moore durch Nutzung und Entwässerung profitieren und von den Randbereichen der Hoch- und Übergangsmoore flächig in die zuvor offenen Moorflächen eindringen. Mittlerweile wird die Spirke jedoch in vielen Mooren von der nachrückenden Fichte eingeholt und verdrängt“ (pers. Mitt. Dr. Ulrich Weiland).

3.1.4 Gewässer

„Bisher lassen sich für das Allgäu aus aquatisch-biologischer Warte noch keine Veränderungen feststellen, die ausschließlich auf den Klimawandel zurückgeführt werden können. Bayernweit wird eine steigende Zahl an Neobiota beobachtet, deren Auftauchen in erster Linie noch nichts mit dem Klimawandel zu tun hat, jedoch kann eine allmähliche Erwärmung der Gewässer möglicherweise deren Etablierung begünstigen. Echte Gewinner und Verlierer sind aktuell schwer auszumachen. Grundsätzlich kann wegen der ansteigenden Wassertemperaturen von kleinräumigen Verschiebungen der Fischregionen im Allgäu ausgegangen werden.

Wärmeliebende, sauerstofftolerante (Fisch-)Arten werden von den wärmeren Temperaturen langfristig profitieren im Gegensatz zu kälteliebenden Arten. Von den Befischungs-

und Monitoringergebnissen, die von den Wasserwirtschaftsämtern im Zuge der Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie seit 2006 mit standardisierter, einheitlicher Methodik an repräsentativen Messstrecken erhoben werden, können solche langfristigen Veränderungen (noch) nicht belastbar abgeleitet werden. Auch für Makrozoobenthos-Arten (große Tiere der Gewässersohle wie Schwämme, Hohltiere, Krebse, Muscheln, Schnecken, Strudelwürmer, Egel oder Insektenlarven) kann keine konkrete Verschiebung beobachtet werden“ (pers. Mitt. Olav König).

Die **Wassertemperaturen (Abb. 2)** stiegen im Untersuchungszeitraum um 1,2 °C bis 3,4 °C: in der Iller bei Sonthofen von 5,0 °C im Jahr 1981 auf 8,4 °C, bei Wiblingen von 8,3 °C auf 10,7°C, in der Wertach/Grüntensee bei Haslach von 7,5 °C auf 8,8 °C und in der Günz bei Waldstetten von 10,8 °C im Jahr 2010 auf 12,0 °C heute.

In den Schweizer Fließgewässern ist die Wassertemperatur zwischen 1980 und 2005 um bis zu 1,6 °C angestiegen. Dadurch hat sich die Forellenregion um 100 bis 200 Höhenmeter gewässeraufwärts verlagert. Eine weitere Erwärmung von 2 °C bis 2050 wird die Lebensräume der Salmoniden in der Schweiz um 20-25% gegenüber heute verringern (OcCC & ProClim, 2007).

Schon ein geringer Anstieg der Wassertemperatur um 0,5 °C kann die Verbreitung von Arten wie Bachforelle (*Salmo trutta fario*), Mühlkoppe (*Cottus gobio*) oder Äsche (*Thymallus thymallus*) einschränken. Besonders an den Grenzen der Fischregionen kann eine Erwärmung der Gewässer Auswirkungen auf temperatursensitive Arten haben und beispielsweise die Bestände der Bachforelle negativ beeinflussen. Weitere Konsequenzen des Klimawandels sind Trockenphasen mit Wirkung auf die Wasserstände in den Gewässern. Langfristig werden sich die Fischregionen verschieben. Kälteliebende Arten werden besonders durch eine Degradierung ihres Lebensraumes betroffen sein (Basen & Ros, 2018).

Eine weitere Folge des Klimawandels könnte eine **beschleunigte Entwicklung** beispielsweise der Fischbrut sein, so dass der höchste Nahrungsbedarf der Fischlarven nicht mehr mit der Verfügbarkeit von Nährtieren zusammenfällt und dadurch Bestandseinbußen zur Folge hat. Eine Temperaturerhöhung wirkt sich auch auf die Ausbreitung und Häufigkeit von Fischkrankheiten wie Proliferierende Nierenkrankheit bei Salmoniden aus. Generalisten werden profitieren, die Artenzusammensetzung wird sich in Folge des Klimawandels ändern: Heimische Arten werden mittelfristig verdrängt, die Einwanderung invasiver Arten kann begünstigt sein. Weitere Gewinner werden Karpfen (*Cyprinus carpio*), Brachse (*Abramis brama*) und Europäischer Wels (*Silurus glanis*) sein, die Verlierer Bachforelle und Mühlkoppe (Basen, 2018).

3.2 Pflanzenwelt

Abb. 3 bis Abb. 10 zeigen die Eintrittszeiten charakteristischer Vegetationsstadien (Phasen) für die Orte Wegscheidel, Füssen, Oberstdorf und Pfaffenhausen/Schwaben. Die **Blüte** von Hasel, Löwenzahn, Herbst-Zeitlose sowie Laubfall von Hänge-Birke und Rosskastanie (**Abb. 3 bis Abb. 7**) treten heute in Oberstdorf, Füssen und Pfaffenhausen signifikant früher auf, lediglich in Wegscheidel lässt sich keine eindeutige Tendenz erkennen. Die meisten Ergebnisse zeigen eine mittlere ($|r| \geq 0,3$) bis hohe Korrelation ($|r| \geq 0,5$) mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p \leq 5\%$. Die Ereignisse **Laubfärbung** und **Laubfall** von Stiel-Eiche sowie Nadelfall von Lärche (**Abb. 8 bis Abb. 10**) setzen meist später ein, jedoch ist die Korrelation gering ($|r| < 0,3$) und die Ergebnisse meist nicht signifikant (Signifikanzniveau $p > 5\%$), da bestimmte Phasen in Wegscheidel und Oberstdorf nicht und andere Phasen erst ab 1990 erhoben wurden. Vermutlich beginnen die phänologischen Ereignisse in Wegscheidel auf Grund der dortigen klimatischen Gegebenheiten sowie der Höhenlage nicht früher, so wie in den übrigen Orten. Mit 920 m ü NN liegt Wegscheidel höher als die anderen untersuchten Standorte, ferner ist die Gegend bekannt für vergleichsweise früh beginnende und lang andauernde Winter.

Abb. 11 bis Abb. 14 vergleichen die Dauer der **Vegetationsperiode** von 1952 mit 2016. Diese beträgt 2016 in den vier Orten zwischen 238 und 271 Tagen und hat sich gegenüber 1952 um bis zu 35 Tage verlängert, außer in Wegscheidel, wo die Vegetationsperiode konstant blieb. Die Grafiken zeigen, dass frühe Phasen früher und späte Phasen später auftreten und sich die Dauer der Vegetationsperiode aus diesem Grunde verlängert hat. Das Einsetzen der Phasen ist stark witterungsabhängig und deshalb gut als Indikator für die Folgen der Erderwärmung geeignet (Heiland et al, 29018; DWD, ohne Jahr).

Eine weitere Reaktion auf den Klimawandel ist eine **Wanderung von Arten** den Berg hinauf oder polwärts. In einer europaweiten Studie wurden Daten von 302 europäischen Gipfeln aus den letzten 145 Jahren untersucht, unter anderem auch Gipfel der Ost- und Westalpen. Von 2007 bis 2016 haben sich europaweit fünfmal so viele Arten auf diesen Gipfeln etabliert wie im gleichen Zeitraum vor 50 Jahren. Die Artenvielfalt auf den Gipfeln steigt an, die Zunahme der Vielfalt war in den letzten 20 bis 30 Jahren am stärksten. Die Zunahme war temperaturabhängig und nicht bedingt durch eine Änderung der Niederschlagsmengen oder durch Stickstoffeinträge.

Je mehr etablierte Arten in höheren Lagen, desto größer die Extinktionsrate der spezialisierten alpinen Arten wie Bayerischer Enzian (*Gentiana baccarica*) auf Grund von Konkurrenz durch Generalisten (Steinbauer et al., 2018). Pflanzenarten wie Arnika (*Arnica montana*), Alpen-Löwenzahn (*Taraxacum alpinum*) und Alpen-Rispengras (*Poa alpina*) sind heute in höheren Lagen anzutreffen als noch vor 50 Jahren. Arnika kam früher nur auf einem Gipfel vor, heute auf 14 Gipfeln, davon ist der höchste 3.052 m ü NN. Das Alpen-Rispengras wurde früher nur auf 84 Gipfeln bis maximal 3.300 m ü NN angetroffen, heute auf 162 Gipfeln bis 3.500 m ü NN. Die Vorkommen des Alpen-Löwenzahns, früher auf 40 Gipfel beschränkt, erstrecken sich heute auf 73 Gipfel. Die Art kam früher kaum über 3.000 m ü NN vor, kann heute aber auf 12 Gipfeln über 3.000 m gefunden werden, der höchste Standort liegt auf 3.198 m ü NN. 1920 waren drei Alpengipfel frei von Vegetation, so wachsen auf diesen heute jeweils mehr als 10 Arten (Steinbauer, 2018). Die Ergebnisse dieser Studie lassen sich durchaus auch auf das Allgäu übertragen, selbst wenn die Gipfel hier nur bis in eine Höhe von etwa 2.650 m ü NN reichen.

Die Berge sind besonders anfällig für Änderungen durch den Klimawandel, da die Temperaturzunahme dort am höchsten ist (Gobiet et al., 2014) und sich an der „Kältgrenze des Lebens“ am stärksten auswirkt (ÖBf, ohne Jahr). Es steht zu befürchten, dass bei manchen Arten die „Wandergeschwindigkeit“ zu gering ist, um mit dem Fortschreiten der Klimaveränderung schrittzuhalten (WWF, 2014).

Verlierer der Erwärmung sind offensichtlich manche **Glazialrelikte**, die seit den 1980er Jahren im Allgäu auffallend zurückgehen wie beispielsweise Moor-Steinbrech (*Saxifraga hirculus*), Strauch-Birke (*Betula humilis*) oder Frühlings-Enzian (*Gentiana verna*). Weitere Verlierer sind konkurrenzschwache Arten, die von wärmeliebenden Arten zurückgedrängt werden. Gewinner sind **Neophyten** aus wärmeren Regionen wie Schmalblättriges Greiskraut (*Senecio inaequidens*) (pers. Mitt. Johann Bauer).

3.3 Tierwelt

3.3.1 Invertebraten

Im Rahmen von Kartierungen der Allgäuer Hochalpen und des Alpenrandes für den Tagfalteratlas Bayerns (Bräu et al., 2013) konnten nach knapp zehn Jahren alle **alpinen Tagfalterarten** an der Untergrenze ihrer Verbreitung wiedergefunden werden. Eine vertikale, durch den Klimawandel bedingte Wanderung konnte nicht festgestellt werden. Auch die Alpen-Mosaikjungfer (*Aeshna caerulea*) im Straußbergmoos bei Sonthofen sowie die Gletscher-Glasschnecke (*Eucobresia glacialis*) an der Nordseite des Kleinen Daumen sind nach wie vor auf der gleichen Höhe wie früher anzutreffen. Auffällig ist jedoch heute das gelegentliche Einwandern von Schmetterlingsarten aus den West- bzw. Zentralalpen. Als Folge des Klimawandels kommt es häufiger zu Südwestwetterlagen, wodurch die Schmet-

terlinge über die sogenannte „Arlbergbrücke“ in die Allgäuer Hochalpen verdriftet werden (pers. Mitt. Alfred Karle-Fendt).

„Bedeutende Gewinner des Lebensraumes Wald in Folge des sich ändernden Klimas mit niederschlagsarmen, trockenen Vegetationsperioden sind eine ganze Zahl an Insekten, die verschiedene Baumarten befallen, wie Schwammspinner (*Lymantria dispar*) an Eiche oder Buchdrucker (*Ips typographus*) und Gewöhnlicher Kupferstecher (*Pityogenes chalcographus*) an Fichte. Mit dem Nordischen Fichtenborkenkäfer (*Ips duplicatus*) kommen aus dem Osten noch neue Arten hinzu“ (pers. Mitt. Andreas Fisel).

Daneben werden Eichen-Prozessionsspinner (*Thaumetopoea processionea*), sowie Überträger von Infektionskrankheiten des Menschen wie Tigermücke (*Stegomyia albopicta*) und Gewöhnlicher Holzbock (*Ixodes ricinus*) als weitere Gewinner des Klimawandels identifiziert (WWF, 2014).

Der Temperaturanstieg in Mitteleuropa ist eine Chance für **wärmeliebende Arten**: Die Goldwespe (*Chrysis marginata*), ursprünglich eine Art mit pontomediterraner Verbreitung, breitet sich seit 1960 nach Norden aus. Ihr Fund am 12.08.2018 in Oy-Mittelberg ist der zweite Nachweis für Bayern (Bühler & Stadelmann, 2018). Der mediterrane Malven-Dickkopffalter (*Carcharodus alceae*), bisher in Bayern u.a. nur vom Untermain bekannt, breitet sich entlang Straßenböschungen mit Malven (*Malva* spp.) als larvaler Futterpflanze von der Schweiz ins Allgäu aus. Nachweise in Sonthofen gelangen am 12.08.2018, in Gschwend bei Nesselwang am 02.09.2018, zwischen Seeg und Rückholz am 06. und 07.09.2018 (Karle-Fendt & Stadelmann, 2018). Eine dritte Generation gelingt dem Rotklee-Bläuling (*Polyommatus semiargus*) mittlerweile im Oberallgäu (pers. Mitt. Herbert Stadelmann).

Eine „Mediterranisierung“ des Allgäus erfolgte durch folgende **Libellenarten**: Südliche Binsenjungfer (*Lestes barbarus*) mit Verbreitungsgebiet u.a. im Mittelmeerraum, im Oberallgäu Funde seit 1963; Südliche Mosaikjungfer (*Aeshna affinis*), Verbreitungsgebiet u.a. Südeuropa, im Oberallgäu Funde seit 2002; Schabrackenlibelle (*Hemianax ephippiger*), Verbreitungsgebiet Afrika bis Indien, im Oberallgäu einmaliger Fund im Jahr 2000; Feuerlibelle (*Crocothemis erythraea*), Verbreitungsgebiet u.a. Mittelmeerraum, am Oberrhein seit 2000, im Oberallgäu erstmaliger Fund 2002; Frühe Heidelibelle (*Sympetrum fonscolombii*), Verbreitungsgebiet u.a. Afrika bis Indien, im Oberallgäu Funde seit 1990 (Karle-Fendt & Stadelmann, 2006).

„Der Erstnachweis der Gewöhnlichen Winterlibelle (*Sympecma fusca*) gelang im Oberallgäu 2008, inzwischen ist die Art am Alpenrand etabliert. Ein weiterer Profiteur des Klimawandels mit mitteleuropaweit vielen neuen Fundpunkten in den letzten Jahren sowie eine Reihe neuer Populationen im Allgäu ist die Große Moosjungfer (*Leucorrhinia pectoralis*)“ (pers. Mitt. Alfred Karle-Fendt).

Die Verbreitungsobergrenze der Feldgrille (*Gryllus campestris*) lag im Oberallgäu lange Zeit bei 850 m ü NN, im Extremjahr 2003 stieg diese auf 1.400 m ü NN. Stabile Populationen haben sich inzwischen bis 1.350 m ü NN eingestellt (pers. Mitt. Alfred Karle-Fendt). Mittlerweile sind auch Herbstgesänge der Feldgrille im Oberallgäu zu hören (pers. Mitteilung Herbert Stadelmann). Seit dem Jahrtausendwechsel breitet sich die Sumpfschrecke (*Stethophyma grossum*) in größeren Teilen Süddeutschlands auf Grund des rezenten Klimawandels regional aus (Wagner & Wagner, 2012).

Verlierer bei den **Insekten** sind spezialisierte, boreo-alpine, an Kältestandorte angepasste Arten, die zugunsten mobiler Generalisten lokal aussterben werden. „Ein Glazialrelikt des Allgäus, der Hochmoor-Perlmutterfalter (*Boloria aquilonaris*), wird bald verschwinden. Die Beobachtung, dass dieser Falter immer seltener wird, wird auch vom Landesamt für Umwelt (LfU) bestätigt“ (pers. Mitt. Walter Hundhammer). „Der Hochmoor-Gelbling (*Colias palaeno*) hat sich in den vergangenen Jahren aus den tieferen Lagen zurückgezogen. Im Allgäu ist die Art aus dem Landkreis Lindau bis auf den grenznahen Bereich bei Oberstaufer nahezu verschwunden und kann im Landkreis Ravensburg nun nur noch im östlichen Bereich Kißlegg-Argenbühl-Isny angetroffen werden. Wie groß der direkte und indirekte

Einfluss des Klimawandels tatsächlich ist, bleibt noch abschließend zu klären“ (pers. Mitt. Dr. Ulrich Weiland).

Hohe Frühjahrstemperaturen zwischen 2002 und 2011 führten im Felmer Moos (Lkr. Oberallgäu) bei fast allen untersuchten Großlibellenarten, besonders bei Hochmoor-Arten, zu niedrigen Schlupfzahlen und es wird diskutiert, dass der Klimawandel moortypische Libellenpopulationen zumindest in tieferen Lagen negativ beeinflusst (Karle-Fendt & Stadelmann, 2013). Durch eine Erwärmung sind ferner kälteliebende Libellenarten wie die Kleine Moosjungfer (*Leucorrhinia dubia*) gefährdet (WWF, 2014).

Auch der Rückgang des Großen Wiesenvögelchens (*Coenonympha tullia*) im Alpenvorland könnte dem Klimawandel geschuldet sein (Wagner & Wagner, 2012).

Das Verschwinden einer Art infolge des Klimawandels kann einen „Dominoeffekt“ im Ökosystem auslösen und den Verlust weiterer Arten nach sich ziehen. Je stärker die Abhängigkeit zwischen den Partnern ist und je spezialisierter und weniger anpassungsfähig diese sind, desto größer ist die Gefahr. Generalisten hingegen sind durch den Klimawandel weniger gefährdet (Schleunig & Hof, 2018). Ein Beispiel ist der Natternwurz-Perlmutterfalter (*Boloria titania*): Das Verbreitungsgebiet dieses Falters und das seiner Wirtspflanze verschieben sich so, dass der Überlappungsbereich deutlich kleiner wird.

Das Fehlen blütenbestäubender Insektenarten hat schwerwiegende Konsequenzen für heimische Pflanzenarten (WWF, 2014). Veränderungen phänologischer Ereignisse können zur Entkoppelung von Fortpflanzungs- und Nahrungsbeziehungen zwischen Arten führen (Both et al., 2010): Wenn der Kuckuck nicht rechtzeitig heimkehrt, sind die Eier seiner Wirtsarten womöglich bereits gelegt oder die Salweide (*Salix caprea*), die erste Tracht der Honigbiene (*Apis mellifera*), bereits vor ihrem Erstflug verblüht...

3.3.2 Herpetofauna

Auch **Amphibien** und **Reptilien** sind besonders von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen, da sich ihr Lebensraum durch Trockenperioden stark verändert. Außerdem sind die wechselwarmen Tiere meist nicht so mobil wie andere Tiergruppen und können deshalb mit der Verschiebung ihres Temperaturoptimums nicht Schritt halten. Hinzu kommt in Zukunft die für Amphibien tödliche Pilzinfektion Chytridiomykose, die in Nordrhein-Westfalen bereits Bestände von Wasserfröschen (*Pelophylax* spp.), Bergmolch (*Ichthyosaura alpestris*) und Gelbbauchunke (*Bombina variegata*) gefährdet und sich in Deutschland weiter nach Süden und Osten hin ausbreitet (WWF, 2014).

„Bezüglich **Amphibien** sind Aussagen zum Klimawandel schwierig. Grasfrosch (*Rana temporaria*) und Erdkröte (*Bufo bufo*) sind sehr anpassungsfähig bezüglich höherer Temperaturen. Da spielen eher die Niederschläge die entscheidende Rolle, ebenso beim Teichmolch (*Triturus vulgaris*) und Kammolch (*T. cristatus*). Beim Bergmolch (*T. alpestris*) kann es in Zukunft wohl temperaturbedingt Ausfälle geben. Diese wird er aber noch lange durch seine Pionierfähigkeiten ausgleichen können. Bei den drei Grünfrosch-Arten (*Rana* spp.) spielt eine Temperaturerhöhung von 2 °C keine große Rolle. Kreuzkröte (*Bufo calamita*) und Gelbbauchunke (*Bombina variegata*) profitieren vermutlich vom Klimawandel, so lange die Niederschläge ausreichend sind. Da aber beide Arten nur noch in anthropogenen Lebensräumen Restvorkommen besitzen, überlagert deren Erhalt mögliche Effekte des Klimawandels. Beim Alpensalamander (*Salamandra atra*) sind bei den Tallagenpopulationen am Iller-/Ostrachdamm bei Sonthofen/Oberstdorf bis jetzt keine Rückgänge zu beobachten.

Bei den **Reptilien** sind bei Blindschleiche (*Anguis fragilis*) und Waldeidechse (*Lacerta vivipara*) wegen deren großen Anpassungsfähigkeit bei einem Temperaturanstieg um 2 °C keine Ausfälle zu erwarten. Die Zauneidechse (*L. agilis*) befindet sich im Allgäu an der oberen Verbreitungsgrenze bei ca. 1.100 m ü NN beispielsweise im Gunzesrieder Tal. Eine Besiedlung höherer Lagen konnte bislang nicht beobachtet werden. Die Tallagenpopulationen sind inzwischen jedoch so fragmentiert und der Druck auf ihre Restlebensräume so groß (z.B. durch Hauskatzen (*Felis silvestris lybica*)), dass die Klimaerwärmung sich bis

jetzt nicht positiv auswirkt. Die Ringelnatter (*Natrix natrix*) scheint vom Klimawandel zu profitieren. Es gab südlich von Kempten östlich der Iller im Oberallgäu keine Populationen. Die Alpseepopulation war vor 40 Jahren auf sporadische Beobachtungen im Bereich der Konstanzer-Ach-Mündung beschränkt. Inzwischen ist sie selbst im Strandbad Hauser ein häufigerer Anblick, hat in Bühl die Gartenteiche besiedelt, im Felmer Moos vor vier Jahren die Ostseite der Iller erreicht und dort eine dauerhafte Kleinpopulation etabliert. Der Hauptgrund liegt vermutlich in der erfolgreicherer Fortpflanzung durch höhere Temperaturen, da im Alpseebereich die Lebensraumbedingungen ziemlich unverändert erscheinen. Die Population der Kreuzotter (*Vipera berus*) im Felmer Moos wird seit Jahrzehnten intensiv beobachtet. In den letzten zehn Jahren hat sich das Erscheinen der ersten Tiere um etwa eine Woche vorverlagert, in den letzten 30 Jahren um etwa zwei Wochen. Auch erfolgten in den letzten Jahren Oktoberbeobachtungen, bis dahin verschwand die Art zwischen Anfang und Mitte September. Da der Biorhythmus der Art wohl endogen stark festgelegt ist, dürfte es bei den Tallagenpopulationen auch im Allgäu durch den Temperaturanstieg bald zu Rückgängen kommen. Aktuelle Beobachtungen deuten bereits in diese Richtung, doch überlagert die Verinselung der Restpopulationen diese Effekte. Bei dieser Art der gemäßigten, kühlfeuchten Zone ist als Folge des Klimawandels nur ein langfristiges Überleben der Gebirgspopulationen zu erwarten. Bei der Schlingnatter (*Coronella austriaca*) ist die Datenlage nicht ausreichend. Ob die erst kürzlich entdeckte Population oberhalb von Gailenberg bis in 1.200 m ü NN Höhe etwas mit dem Temperaturanstieg zu tun hat, ist seriös nicht zu beurteilen“ (pers. Mitt. Alfred Karle-Fendt).

3.3.3 Vögel

Abb. 15 bis Abb. 21 zeigen die **Erstdaten** (und drei Letztdaten) von 20 Vogelarten seit 1974. Von diesen **20 Arten** kommen heute **16** früher an als vor 30 Jahren, bei fünf Arten besteht eine mittlere ($|0,3 < r < 0,5|$) bis hohe Korrelation ($|r > 0,5|$) mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit kleiner 5%. Durchschnittlich erfolgt die Rückkehr **13 Tage** früher als vor 30 Jahren. Die Auswertung der Letztdaten zeigt eine verfrühte Abreise der drei untersuchten Arten, bei Grauschnäpper und Neuntöter mit hoher Korrelation ($|r = 0,5|$) und einem Signifikanzniveau von $p \leq 0,05$ trotz geringer Datenmenge. Jedoch sind die Vögel im Herbst hinsichtlich Akustik und Färbung meist unauffälliger und können deshalb leichter übersehen werden.

Weltweit können Änderungen der Zugzeiten von Vögeln beobachtet werden. Es zeigt sich ein deutlicher Trend zur verfrühten Ankunft in den Durchzugs- und Brutgebieten sowohl bei Kurz-, Mittel- als auch Langstreckenziehern. Auf Helgoland beträgt die mittlere Verfrühung der Ankunftszeiten von 24 Arten zwischen 1960 und 2007 8,6 Tage, was einer Verfrühung von 1,8 Tagen pro Jahrzehnt entspricht. Beispielsweise kehrten der Grauschnäpper 11 Tage und die Mönchsgrasmücke (*Sylvia atricapilla*) 17 Tage eher zurück (Hüppop et al., 2008).

Die Verfrühung eurasischer Zugvogelarten erfolgt mit 2,5 bis 3,3 Tagen pro 1 °C Erwärmung. Der Anteil der überwinterten Arten hat zugenommen. Die Änderung der Wegzeiten ist weniger einheitlich als die Veränderung der Ankunftszeiten, es zeigt sich aber ein Trend zur Verspätung des Wegzuges. Insgesamt konnte eine Verlängerung der Aufenthaltsdauer in den Brutgebieten bei 20 Arten um 10,3 Tage festgestellt werden. In Großbritannien brüten 20 von 65 untersuchten Stand- und Zugvogelarten heute 9 Tage früher als vor 25 Jahren (Wiki Klimawandel, ohne Jahr).

Phänologische Änderungen können zur räumlichen und zeitlichen Entkoppelung der Interaktionspartner führen (Schweiger et al., 2008): Beispielsweise kann auf Grund höherer Temperaturen im Frühjahr die früher einsetzende Entwicklung von Schmetterlingsraupen dazu führen, dass der Zeitpunkt der höchsten Insektendichte und der Futterbedarf für Jungvögel asynchron verlaufen. Kommt ein dritter Partner hinzu, wie die Wirtsvögel beim Kuckuck, so müssen die Rückkehr des Kuckucks, die Eiablage seiner Wirtsvögel sowie der Zeitpunkt der höchsten Insektendichte zeitlich zueinander passen.

Es konnte gezeigt werden, dass Daten aus Beobachtungsportalen und von sogenannten „Citizen Science“-Projekten für phänologische Untersuchungen wertvoll sind (Newson & Moran, 2016). Im deutschsprachigen Raum hat die Zahl der Vogelbeobachter seit 2014 wegen des Portals „ornitho.de“ enorm zugenommen, was künftig eine solide Datengrundlage für phänologische Untersuchungen liefert.

3.3.4 Säugetiere

Alpen-Murmeltiere (*Marmota marmota*) reagieren empfindlich auf steigende Temperaturen und folgen ihrem Temperaturoptimum weiter den Berg hinauf. Jedoch ist dort die Humusaufgabe weniger mächtig und irgendwann nicht mehr geeignet, um genügend tiefe Höhlen anzulegen (BR, 2018).

Innerhalb der letzten 30 Jahre hat das Gewicht von Gämsen (*Rupicapra rupicapra*) um etwa 20% abgenommen. Einer der Gründe hierfür ist der Klimawandel, da die Tiere durch die höheren Temperaturen inaktiver werden und weniger fressen. Außerdem wandern auch Gämsen in höhere Lagen, wo das Nahrungsangebot jedoch geringer ist. Schließlich werden die Tiere durch unsere Freizeitaktivitäten in dichtere Wälder mit weniger Futter zurückgedrängt (Spektrum, 2014).

Wildschweine (*Sus scrofa*) profitieren von der Ausbreitung der Laubwälder: Der Klimawandel bedingt eine verstärkte Eichel- und Bucheckermast, außerdem überleben mehr Frischlinge die milderen Winter. Deshalb ist auch ihre Ausbreitung in höhere Lagen der Berge zu erwarten (Jagdverband, 2015).

Eine Langzeitstudie über 30 Jahre stellt ein deutlich verfrühtes Aufwachen des Siebenschläfers (*Myoxus glis*) aus dem Winterschlaf um durchschnittlich vier Wochen fest, so dass die Tiere heute oft bereits im Mai erscheinen. Dieses kann zu erhöhter Konkurrenz zwischen höhlenbrütenden Singvögeln und Artgenossen um Nisthöhlen führen. Siebenschläfer belegten die Bruthöhlen früher erst im Juni, so kann dies heute mit der Erstbrut bestimmter Vogelarten zusammenfallen. Trifft dieser Bilch auf die Vogelbrut so frisst er diese. Langfristig könnte dies den Rückgang von Vogelarten wie Trauerschnäpper (*Ficedula hypoleuca*), Meisen (*Parus* spp.), Kleiber (*Sitta europaea*) und andere bedeuten (WWF, 2014).

Für das Allgäu liegen keine Aufwachdaten des Siebenschläfers über einen längeren Zeitraum vor. Die Erstbrut von Meisen und Kleiber beginnt heute ebenso früher, so dass es kaum zu Überschneidungen mit dem Siebenschläfer kommt. Lediglich der etwas später eintreffende Trauerschnäpper könnte mit dem Siebenschläfer konkurrieren. Schließlich ernährt sich dieser Bilch überwiegend vegetarisch (pers. Mitt. Peter Harsch).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass von der Erderwärmung mediterrane, wärmeliebende Arten profitieren werden (Ott, 2010), spezialisierte, von anderen Arten abhängige, wenig mobile und kälteliebende Arten hingegen – vor allem die der Hochgebirge – besonders gefährdet sind (Stuhldreher et al., 2014).

4. LITERATUR

- Bräu, M., Bolz, R., Kolbeck, H., Nummer, A., Voith, J. & Wolf, W. (2013): Tagfalter in Bayern. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart
- Basen, T. (2016): Auswirkungen des Klimawandels auf die Fische. AUF AUF 2016(2): 26-31
- Basen, T. & Ros, A. (2018): Wie warm darf's denn sein? Temperaturbedürfnisse der Bachforelle in Baden-Württemberg. AUF AUF 2018 (1): 46-50
- Bayerischer Rundfunk (BR) (2018): Klimawandel in den Alpen.
<https://www.br.de/klimawandel/klimawandel-alpen-berge-auswirkungen-100.html> (Stand 19.02.2019)
- Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU) (ohne Jahr): Permafrost im Klimawandel.
<https://www.lfu.bayern.de/geologie/permafrost/index.htm> (Stand 19.02.2019)

- Beratendes Organ für Fragen der Klimaänderung (OcCC) & Forum der Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (ProClim) (2007): Klimaänderung und die Schweiz 2050 - Erwartete Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft. Bern
- Both, C., van Turnhout, C.A. et al. (2010): Avian population consequences of climate change are most severe or long-distance migrants in seasonal habitats. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences* **277(1685)**: 1259-1266
- Bühler, B. & Stadelmann, H. (2018): Erstnachweis der Goldwespe (*Chrysis marginata*) in Südbayern. *Naturkundliche Beiträge aus dem Allgäu* **53**: 83
- Dachverband Deutscher Avifaunisten (DDA) e.V. (ohne Jahr): ornitho.de. <https://www.ornitho.de/>
- Deutscher Jagdverband (2015) Wildschweine profitieren vom Klimawandel. <https://www.jagdverband.de/content/wildschweine-profitieren-vom-klimawandel> (Stand 19.02.2019)
- Deutscher Wetterdienst (DWD) (ohne Jahr): Phänologisches Grundnetz. ftp://ftp-cdc.dwd.de/pub/CDC/observations_germany/phenology/annual_reporters/wild/historical/ (Stand 19.02.2019)
- Deutscher Wetterdienst (DWD) (ohne Jahr): Phänologie. https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaueberwachung/phaenologie/phaenologie_node.html (Stand 19.02.2019)
- Deutscher Wetterdienst (DWD) (ohne Jahr): Quelle Klimadaten (Jahresdurchschnittstemperatur). <https://cdc.dwd.de/portal/201810240858/mapview> (Stand 19.02.2019)
- Renner, E. (1979) *Mathematisch-statistische Methoden in der praktischen Anwendung*. Paul Parey Verlag, Hamburg
- Gewässerkundlicher Dienst Bayern (GKD) (ohne Jahr): Daten Wassertemperatur der Fließgewässer. <https://www.gkd.bayern.de/> (Stand 19.02.2019)
- GLOWA-Projekt Donau (2015): Integrative Techniken, Szenarien und Strategien zur Zukunft des Wassers im Einzugsgebiet der Oberen Donau. <http://www.glowa-danube.de> (Stand 19.02.2019)
- Gobiet, A. et al. (2014): 21st century climate change in the European Alps – a review. *Sci. Total Environ* **493**: 1138-1151
- Heiland, S., Schliep, R., Bartz, R., Schäffler, L., Dziok, S., Radtke, L., Trautmann, S., Kowarik, F., Sudfeldt, C. & Sukopp, U. (2018): Indikatoren zur Darstellung von Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt. *Natur u. Landschaft* **93**: 2-12
- Hüppop, K., Hüppop, O. & Bairlein, F. (2008): Immer früher wieder zurück: Veränderung von Zugzeiten. *Der Falke* **55**: 294-299
- IPCC (Hrsg.) (2013): *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the 5th Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge
- Karle-Fendt, A. & Stadelmann, H. (2006): Libellen mit mediterranem bzw. subtropischem Verbreitungsschwerpunkt im Lkr. Oberallgäu (Schwaben, Bayern). *Naturkundliche Beiträge aus dem Allgäu* **41_1-2**: 5-12
- Karle-Fendt, A. & Stadelmann, H. (2013): Entwicklung der Libellenfauna eines regenerierenden Hochmoores nach Renaturierungsmaßnahmen (Odonata). *Libellula* **32 (1/2)**: 1-30
- Karle-Fendt, A. & Stadelmann, H. (2018): Nachweis des Malven-Dickkopffalters (*Carcharodus alceae*) in den Landkreisen Ober- und Ostallgäu. *Naturkundliche Beiträge aus dem Allgäu* **53**: 77-81
- Klotz, S. & Settele, J. (2017): Biodiversität. in Brasseuer, G., Jacob, D. & Schuck-Zöller, S. (Hrsg.): *Klimawandel in Deutschland*. 151–160
- Kullberg, C. & Fransson, T. (2015): Change in spring arrival of migratory birds under an area of climate change. Swedish data of the last 140 years. *Ambio* **44**: 69-77
- Land Oberösterreich (2014-2019): Zoologisch-Botanische Datenbank (ZOBODAT). http://www.zobodat.at/publikation_series.php?id=17530 (Stand 19.02.2019)
- Mayewski, P. A. et al. (2004): Holocene climate variability. *Quat. Res.* **62**, 243–255
- Newson, S.E. & Moran, N.J. (2016) Long-term changes in the migration phenology of UK breeding birds detected by large-scale citizen science recording schemes. *Ibis* **158(3)**: 481-495
- Österreichische Bundesforste (ÖBf) (ohne Jahr) *Klimawandel und Artenvielfalt - Wie klimafit sind Österreichs Wälder, Flüsse und Alpenlandschaften?*
- Ott, J. (2010): Dragonflies and climatic change – recent trends in Germany and Europe. *BioRisk* **5**: 253-286
- Roedel, W. & Wagner, T. (2011): *Physik unserer Umwelt: Die Atmosphäre*. Springer-Verlag, Heidelberg

- Schleunig, M. & Hof, C. (2018): Der Klimawandel-Dominoeffekt. Senckenberg – Natur, Forschung, Museum **148**: 178-181
- Scholes, R. J. (2016): Climate change and ecosystem services. Wiley Interdiscip. Rev. Clim. Chang. **7**: 537–550
- Schönwiese, C.-D. (2013): Klimatologie. UTB, Stuttgart
- Schweiger, O., Settele, J. et al. (2008): Climate change can cause spatial mismatch of tropically interacting species. Ecology **89**: 3472-3479
- Spektrum.de (2014): Klimawandel lässt Gämse schrumpfen. www.spektrum.de/news/klimawandel-laesst-gaemse-schrumpfen/1314551 (Stand 19.02.2019)
- Steinbauer, M. et al. (2018): Accelerated increase in plant species richness on mountain summits is linked to warming. Nature **556**: 231-234
- Steinbauer, M. (2018): Pflanzen erobern Europas Gipfel immer schneller. <https://www.fau.de/2018/04/news/wissenschaft/pflanzen-erobern-europas-gipfel-immer-schneller/> (Stand 19.02.2019)
- Stuhldreher, G., Hermann, C. & Fartmann, T. (2014): Cold-adapted species in a warming world – an explorative study of the impact of high winter temperatures on a continental butterfly. Entomologica Experimentalis et Applicata **151**: 270-279
- Umweltbundesamt (UBA) (Hrsg.) (2006): Künftige Klimaänderungen in Deutschland – Regionale Projektionen für das 21. Jahrhundert. Max-Planck Institut für Meteorologie, Dessau, Hamburg
- Wagner, A. & Wagner, I. (2012): Pflege- und Entwicklungsplan Naturschutzgroßprojekt „Allgäuer Moorallianz“. Im Auftrag des Zweckverbands „Allgäuer Moorallianz“, Markt-oberdorf
- Walter, D. (1978-2011): Avifaunistische Kurzmitteilungen aus dem Oberallgäu: Mitteilungen des Naturwissenschaftlichen Arbeitskreises Kempten (Allgäu) der Volkshochschule Kempten **23** bis **46**
- Walter, D. (2012-2018): Avifaunistische Kurzmitteilungen aus dem Oberallgäu: Naturkundliche Beiträge aus dem Allgäu **47** bis **53**
- Wiki Klimawandel (ohne Jahr): Klimawandel und Zugvögel. http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Klimawandel_und_Zugvoegel#cite_note-H.C3.BCpopp-2 (Stand 19.02.2019)
- WWF (2014) Bedeutung des Klimawandels für Fauna und Flora in Deutschland und Nordeuropa. https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/Klimawandel_Artenschutz_Deutschland.pdf (Stand 19.02.2019)

DANKSAGUNG

Besten Dank an Johann Bauer, „bele“ Bernhard von <http://www.statistik-forum.de/>, Andreas Fisel, Peter Harsch, Walter Hundhammer, Alfred Karle-Fendt, Olav König, Herbert Stadelmann und Dr. Ulrich Weiland. Mein besonderer Dank gilt Dietmar Walter für die Geduld und die vielen wertvollen Hinweise zur Verbesserung des Manuskriptes.

Dr. Michael F. Schneider
Pfeiffermühle 3
87497 Wertach
michaelfschneider@gmx.de
www.odsfm.com

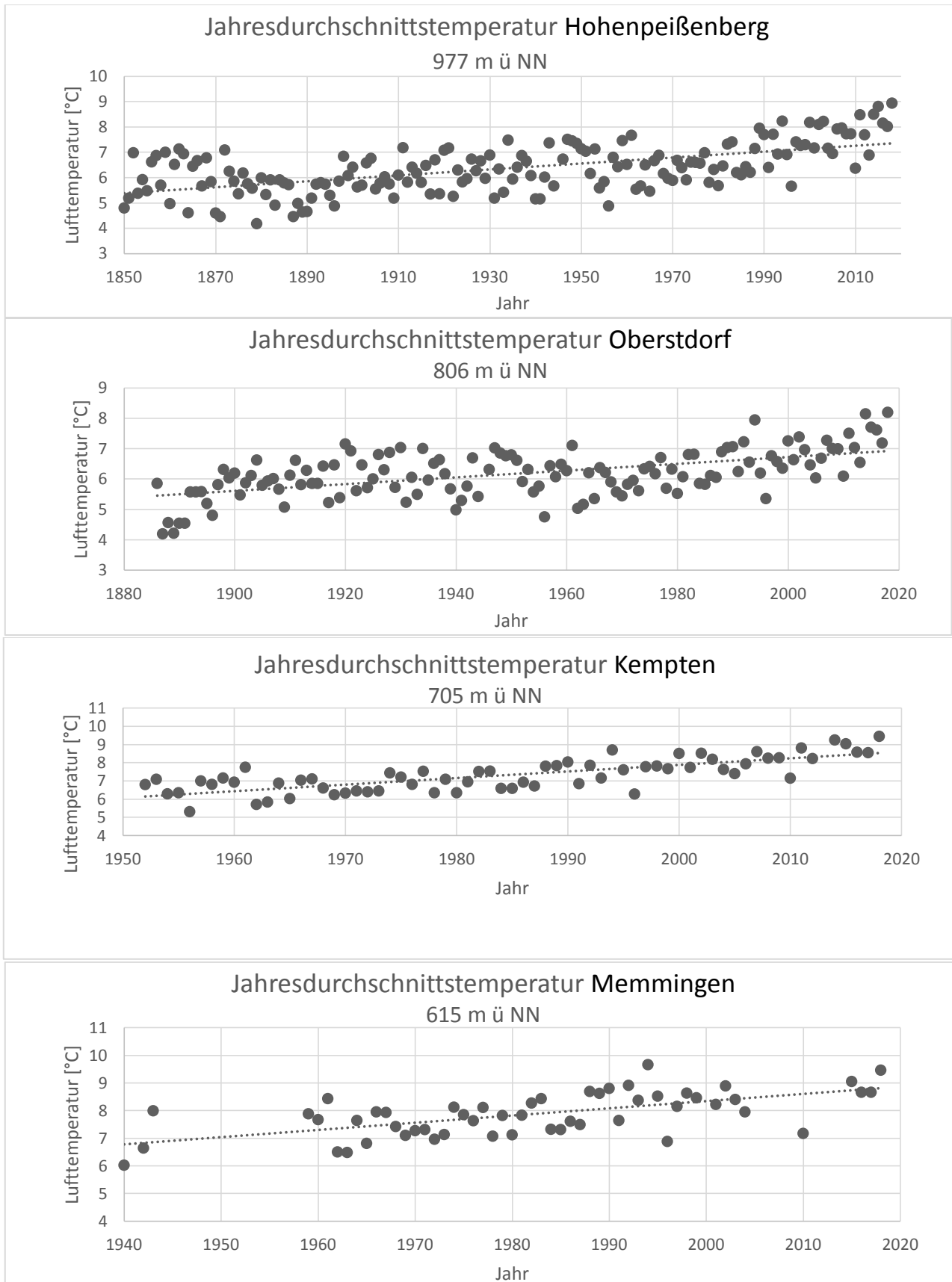


Abb. 1: Jahresdurchschnittstemperaturen (Lufttemperatur gemessen 2 m über dem Boden) von Hohenpeißenberg, Oberstdorf, Kempten (Spitalhof) und Memmingen: Sie stieg in Hohenpeißenberg von 5,5 °C im Jahr 1850 auf 7,4 °C, in Kempten von 6,1 °C im Jahr 1952 auf 8,5 °C, in Oberstdorf von 5,5 °C im Jahr 1886 auf 6,9 °C und in Memmingen von 6,8 °C im Jahr 1940 auf 8,8 °C im Jahr 2018.

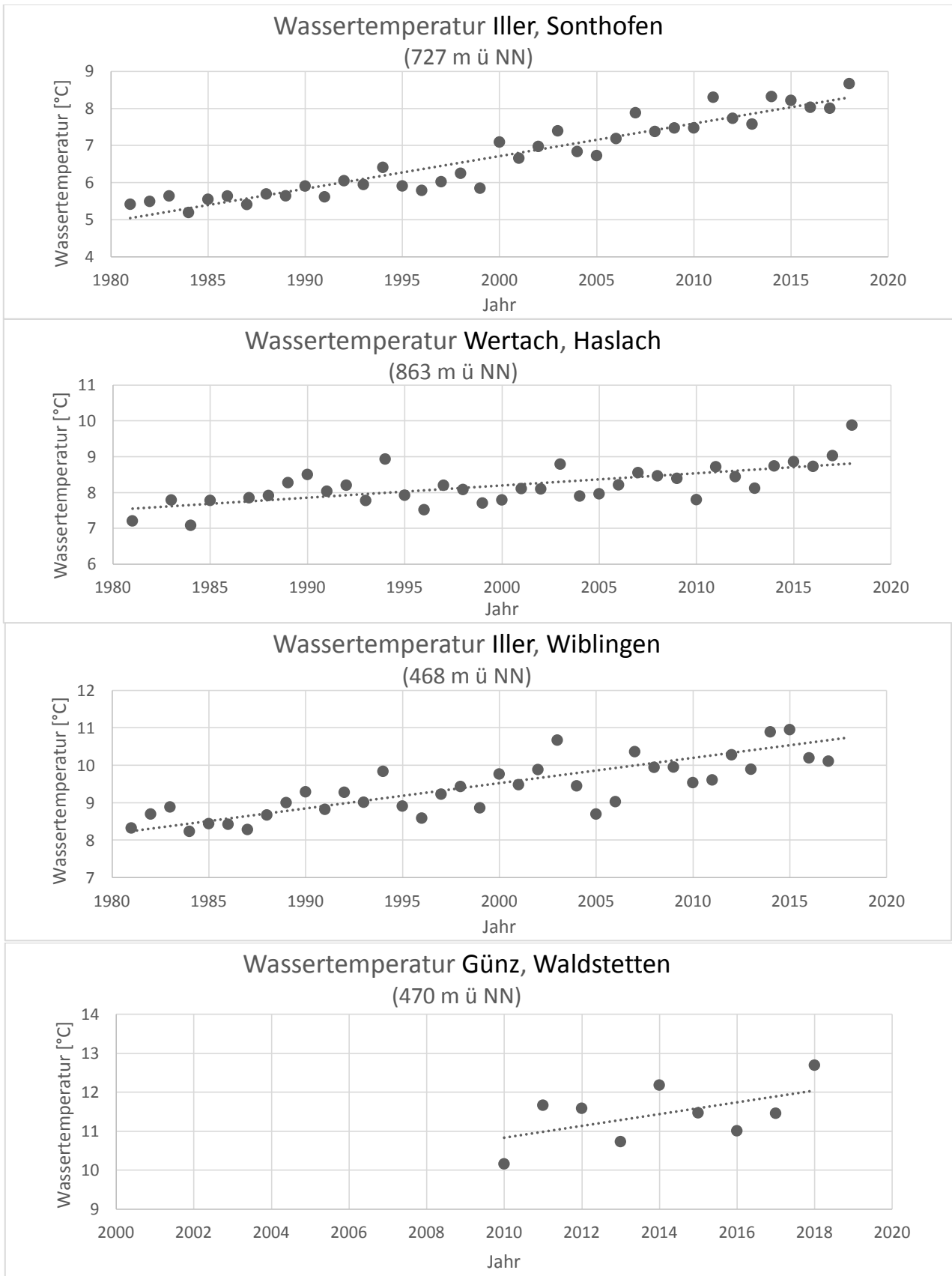


Abb. 2: Durchschnittliche Wassertemperatur der Iller in Sonthofen und Wiblingen, der Wertach/Grüntensee bei Haslach und der Günz in Waldstetten: Sie stieg seit 1981 in der Iller bei Sonthofen von 5,0 °C auf 8,4 °C, bei Wiblingen von 8,3 °C auf 10,7°C, in der Wertach/Grüntensee bei Haslach von 7,5 °C auf 8,8 °C und in der Günz bei Waldstetten von 10,8 °C im Jahr 2010 auf 12,0 °C im Jahr 2018.

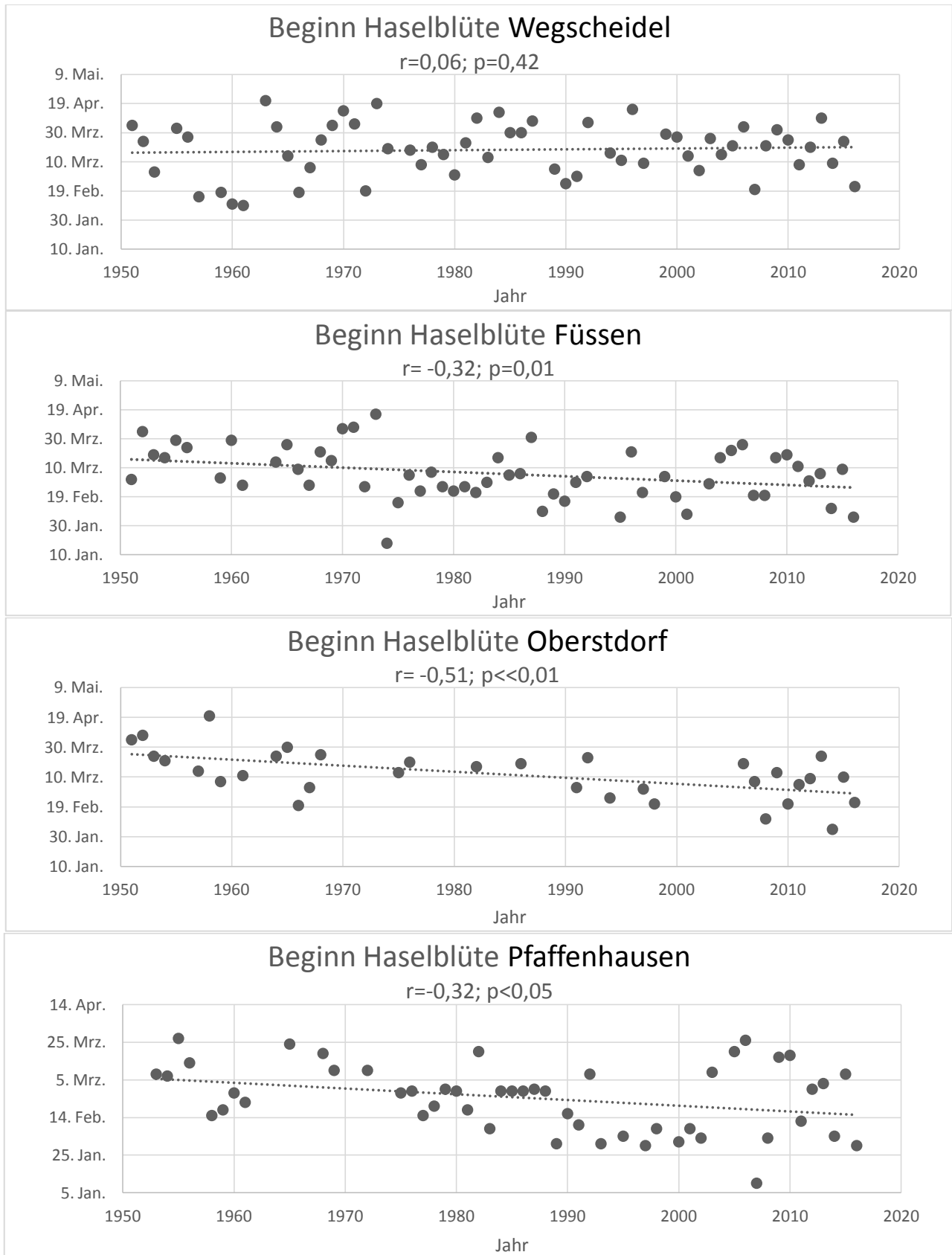


Abb. 3: Beginn der **Blüte** der **Gewöhnlichen Hasel** (*Corylus avellana*) in Wegscheidel, Füssen, Oberstdorf und Pfaffenhausen (Schwaben) Sie fand in Wegscheidel Anfang der 1950er Jahre 4 Tage früher statt als 2016 (keine Korr., $|r \approx 0|$), in Füssen 20 Tage später (mittlere Korrelation, $|r \approx 0,3|$; stark signifikant, $p=0,01$), in Oberstdorf 26 Tage später (hohe Korrelation, $|r > 0,5|$; stark signifikant, $p<<0,01$) und in Pfaffenhausen 20 Tage später (mittlere Korrelation, $|r \approx 0,3|$; signifikant, $p<0,05$).

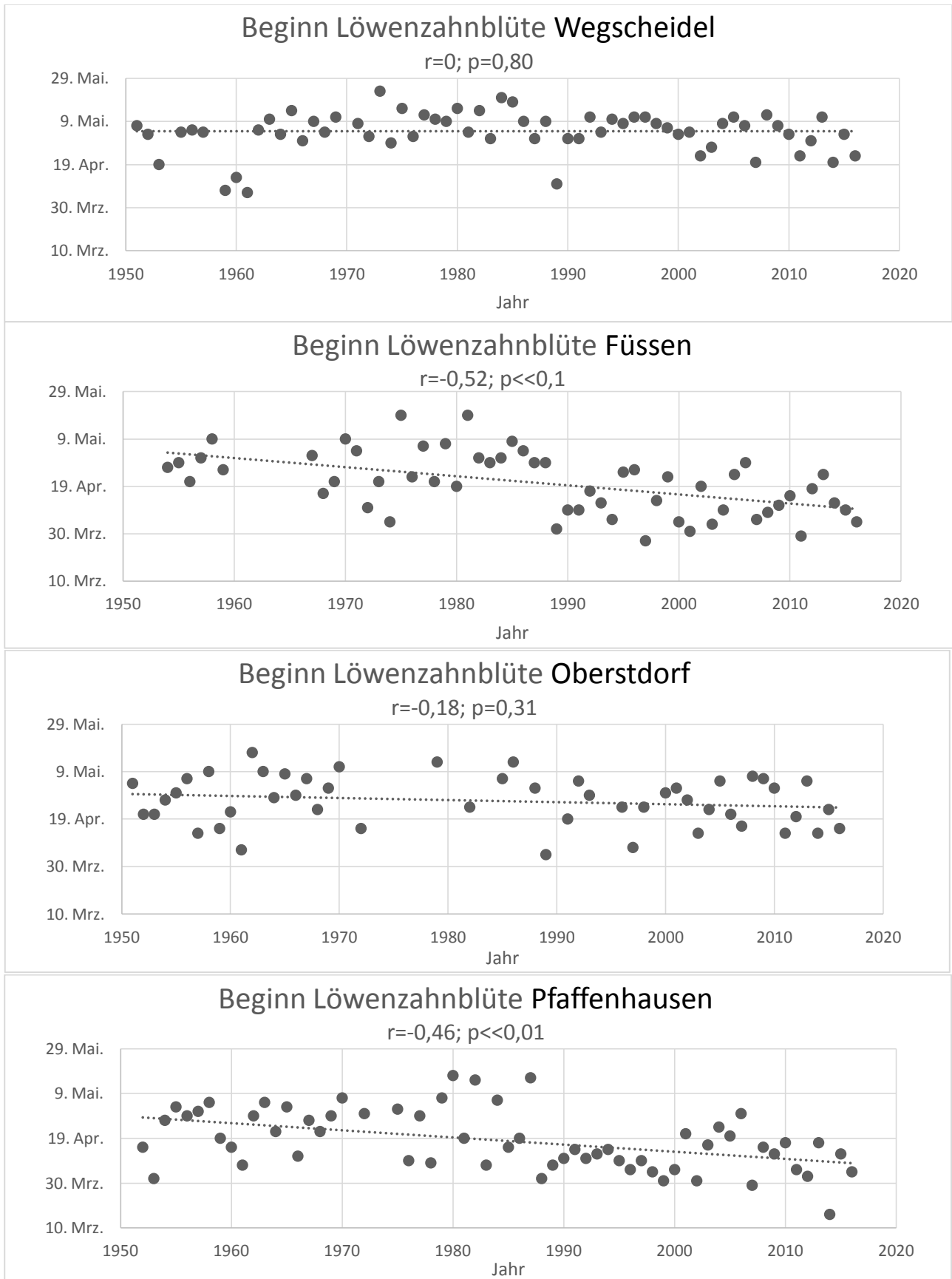


Abb. 4: Beginn der **Blüte** des **Löwenzahns** (*Taraxacum officinale*) in Wegscheid, Füssen, Oberstdorf und Pfaffenhausen: Sie fand 2016 in Wegscheid 2 Tage später statt als Anfang der 1950er Jahre (keine Korrelation, $|r \approx 0|$), in Füssen 25 Tage früher (hohe Korrelation, $|r > 0,5|$; stark signifikant, $p << 0,01$), in Oberstdorf 5 Tage früher (geringe Korrelation, $|r < 0,3|$; nicht signifikant) und in Pfaffenhausen 21 Tage früher (hohe Korrelation, $|r \approx 0,5|$; stark signifikant, $p << 0,01$).

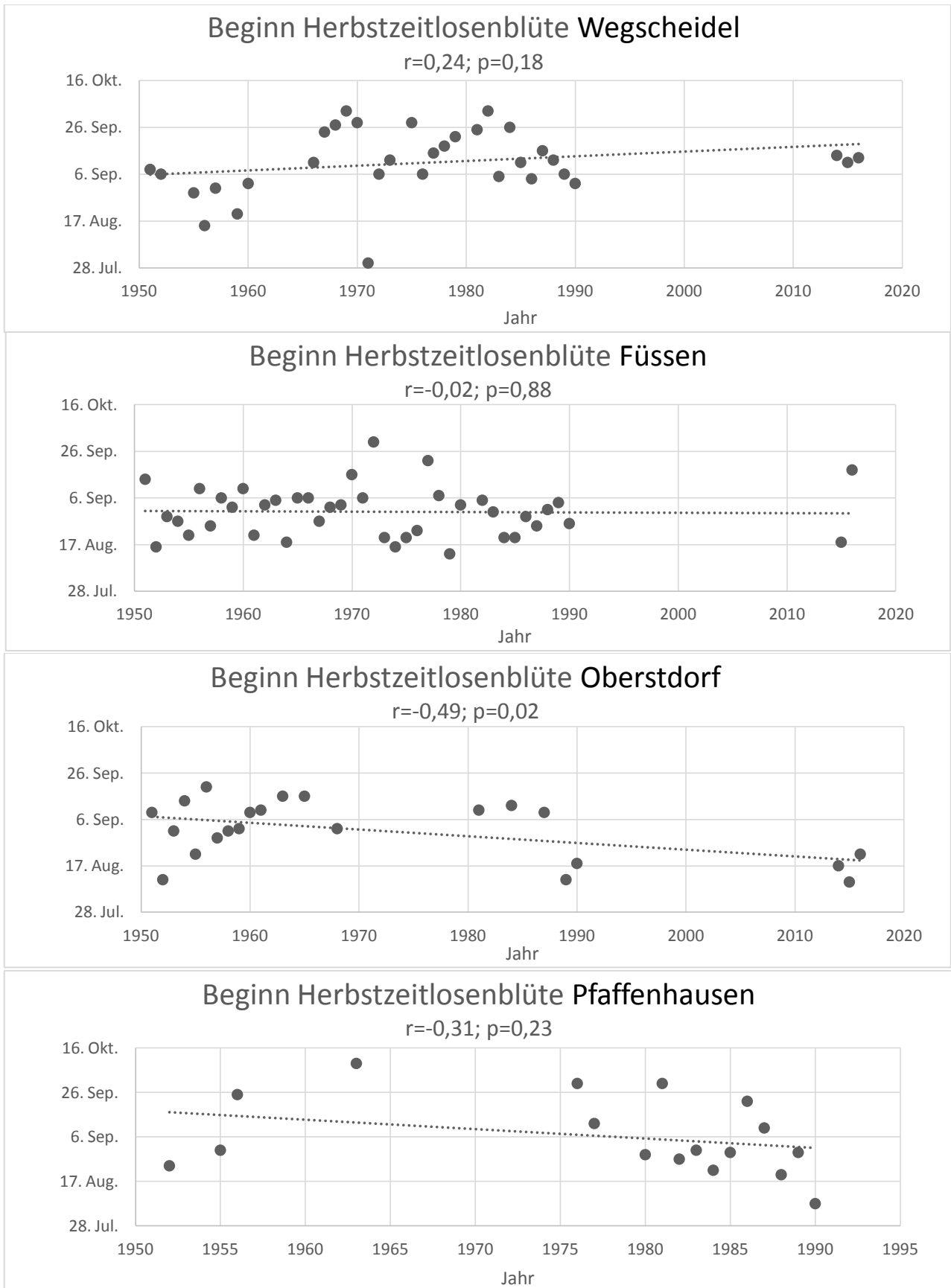


Abb. 5: Beginn der **Blüte** der **Herbst-Zeitlosen** (*Colchicum autumnale*) in Wegscheidel, Füssen, Oberstdorf und Pfaffenhausen: Sie fand in Wegscheidel Anfang der 1950er Jahre 14 Tage früher statt als 2016 (geringe Korrelation, $|r| < 0,3|$), in Füssen 1 Tag später als 2016 (keine Korrelation, $|r \approx 0|$), in Oberstdorf 19 Tage später als 2016 (hohe Korrelation, $|r \approx 0,5|$; signifikant, $p < 0,05$) und in Pfaffenhausen 15 Tage später als 1990 statt (mittlere Korrelation, $|r \approx 0,3|$; nicht signifikant).

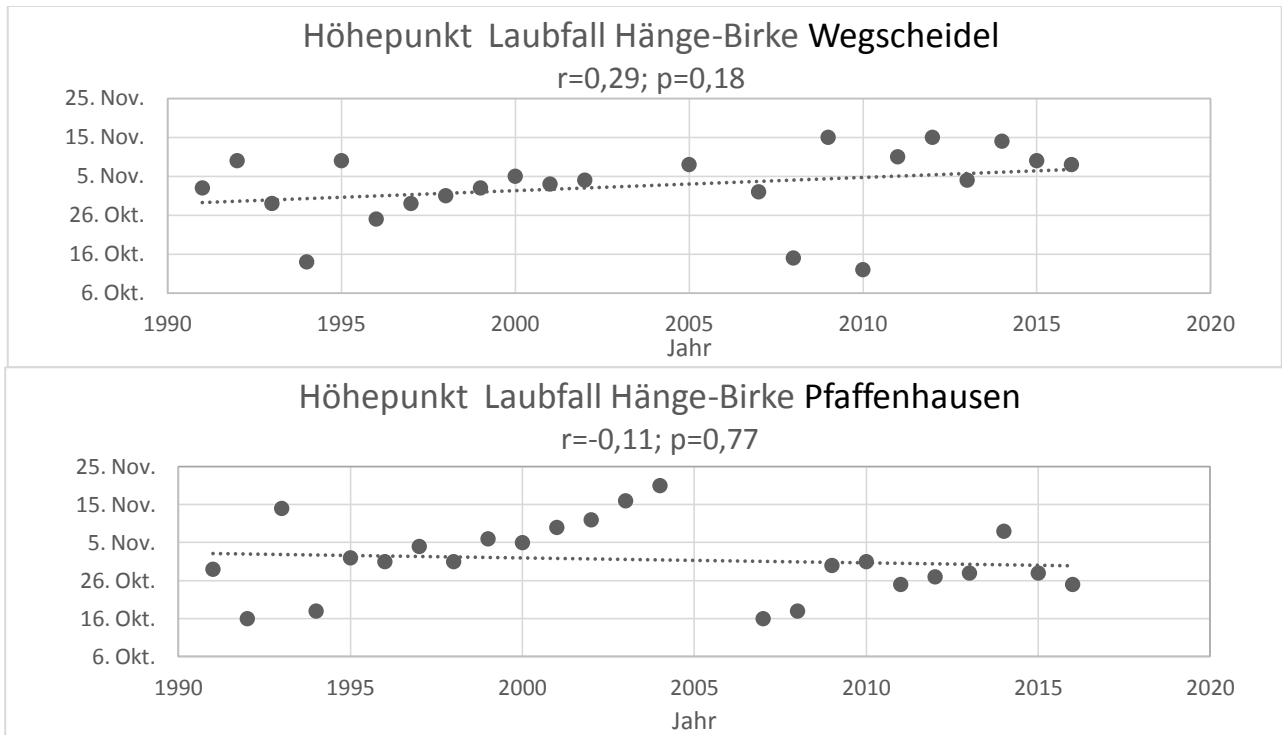


Abb. 6: Höhepunkt des **Laubfalls** der **Hänge-Birke** (*Betula pendula*) in Wegscheidel und Pfaffenhausen (Schwaben): Er fand in Wegscheidel Anfang der 1990er Jahre 8 Tage früher statt als 2016 (mittlere Korrelation, $|r \approx 0,3|$; nicht signifikant), in Pfaffenhausen jedoch 4 Tage später (geringe Korrelation, $|r < 0,3|$; nicht signifikant).

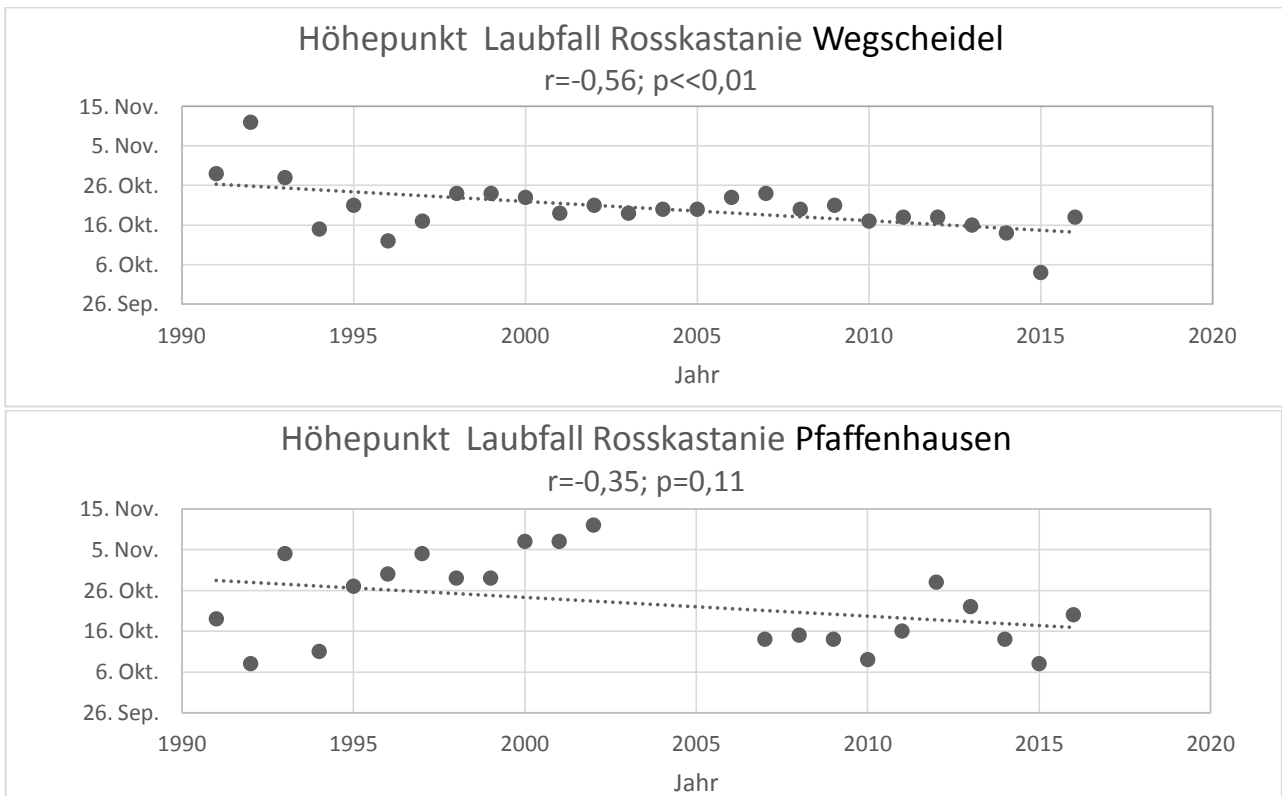


Abb. 7: Höhepunkt des **Laubfalls** der **Gewöhnlichen Rosskastanie** (*Aesculus hippocastanum*) in Wegscheidel und Pfaffenhausen: Er fand in Wegscheidel Anfang der 1990er Jahre 12 Tage später statt als 2016 (hohe Korrelation, $|r > 0,5|$; stark signifikant, $p<<0,01$) und in Pfaffenhausen 11 Tage später als 2016 (mittlere Korrelation, $|r \approx 0,3|$; nicht signifikant).

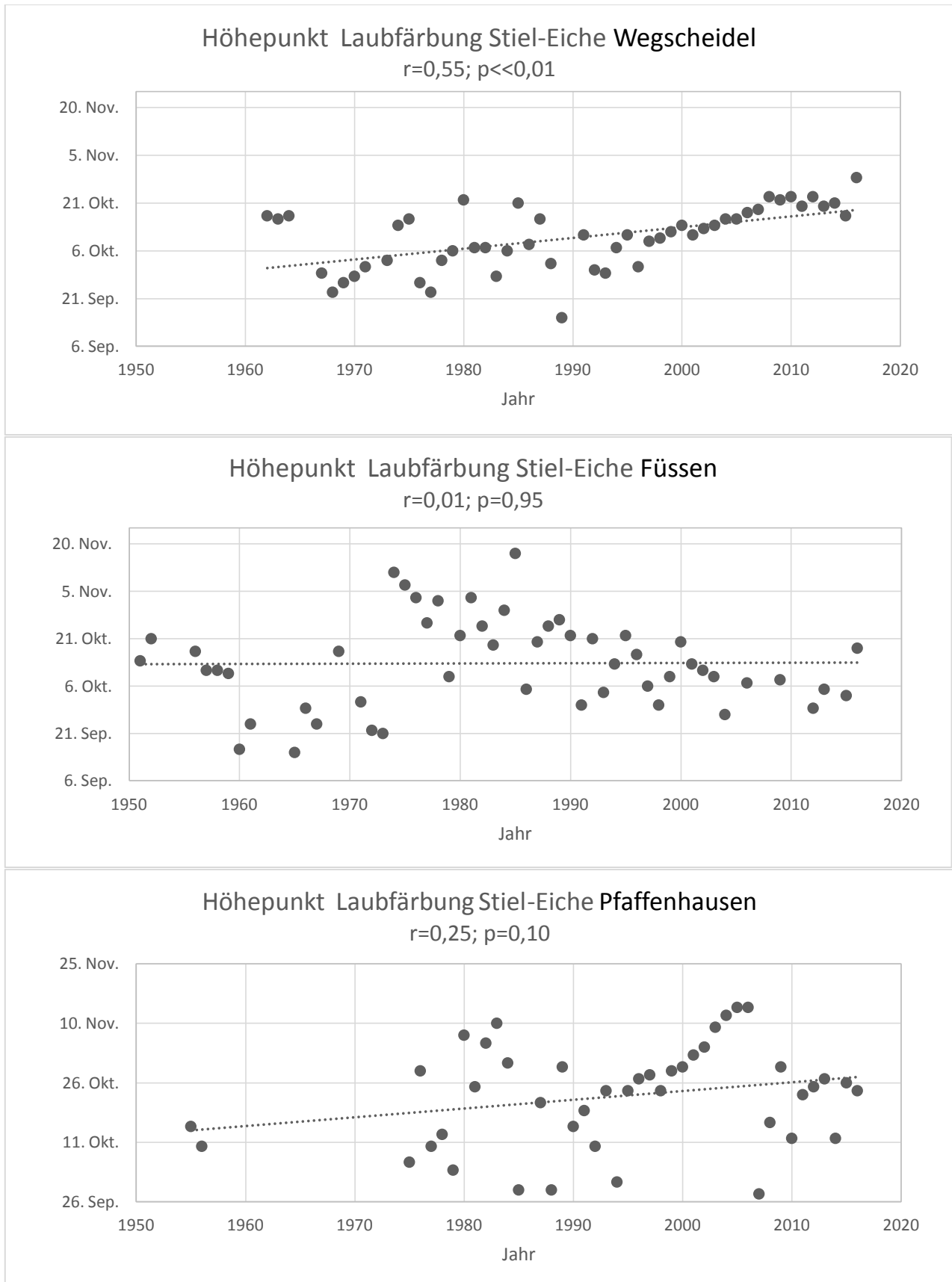


Abb. 8: Höhepunkt der **Laubfärbung** der **Stiel-Eiche** (*Quercus robur*) in Wegscheidel, Füssen und Pfaffenhausen: Er fand in Wegscheidel Anfang der 1960er Jahre 20 Tage früher statt als 2016 (hohe Korrelation, $|r| > 0,5$; stark signifikant, $p << 0,01$), änderte sich in Füssen nicht (keine Korrelation, $|r| = 0$) und fand in Pfaffenhausen Mitte der 1950er Jahre 13 Tage früher statt als 2016 (mittlere Korrelation, $|r| \approx 0,3$; nicht signifikant).

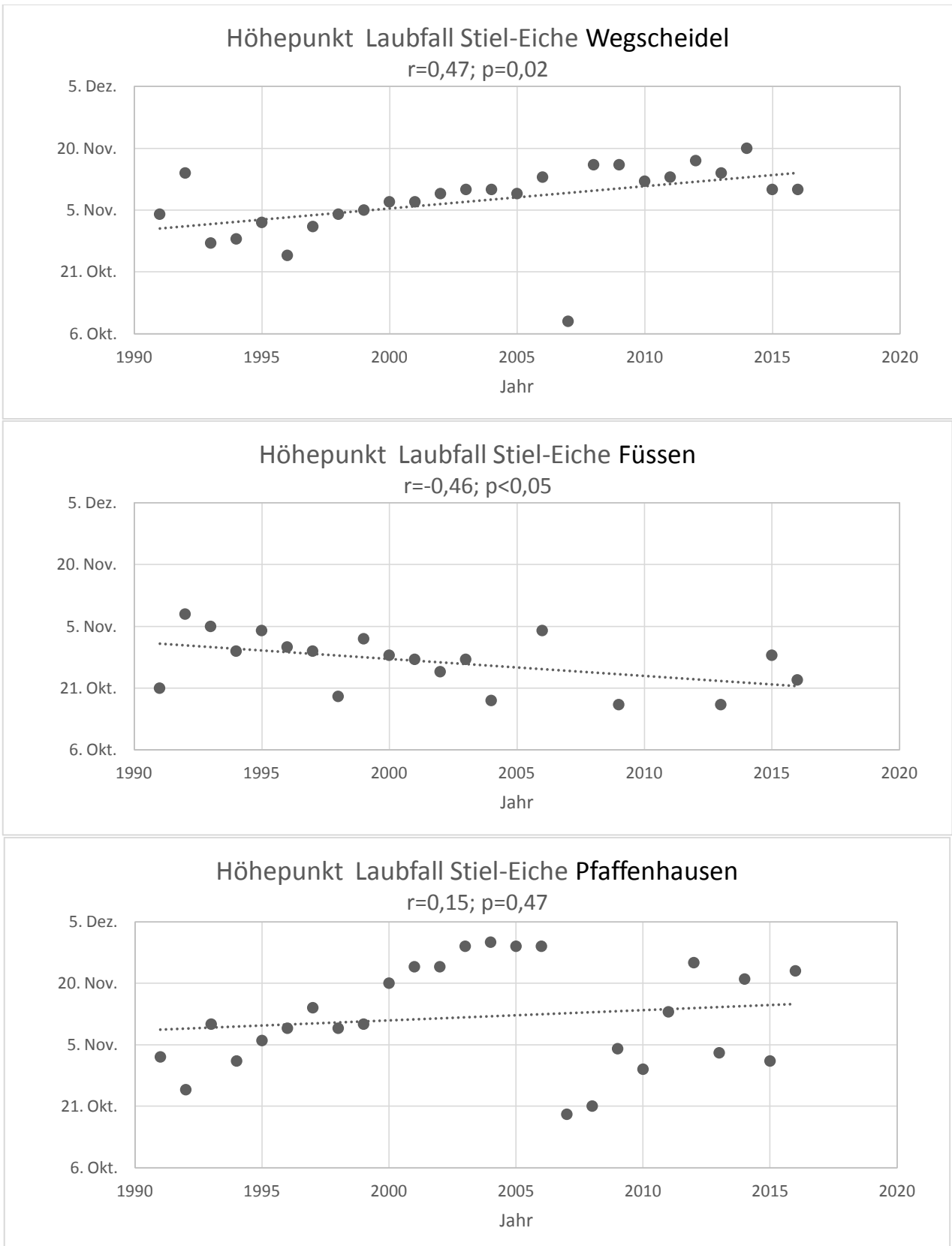


Abb. 9: Höhepunkt des **Laubfalls** der **Stiel-Eiche** (*Quercus robur*) in Wegscheidel, Füssen und Pfaffenhausen: Er fand in Wegscheidel Anfang der 1990er Jahre 13 Tage früher statt als 2016 (hohe Korrelation, $|r \approx 0,5|$; signifikant, $p<0,05$), in Füssen 11 Tage später (hohe Korrelation, $|r \approx 0,5|$; signifikant, $p<0,05$) und in Pfaffenhausen 6 Tage früher statt als 2016 (geringe Korrelation, $|r < 0,3|$; nicht signifikant).

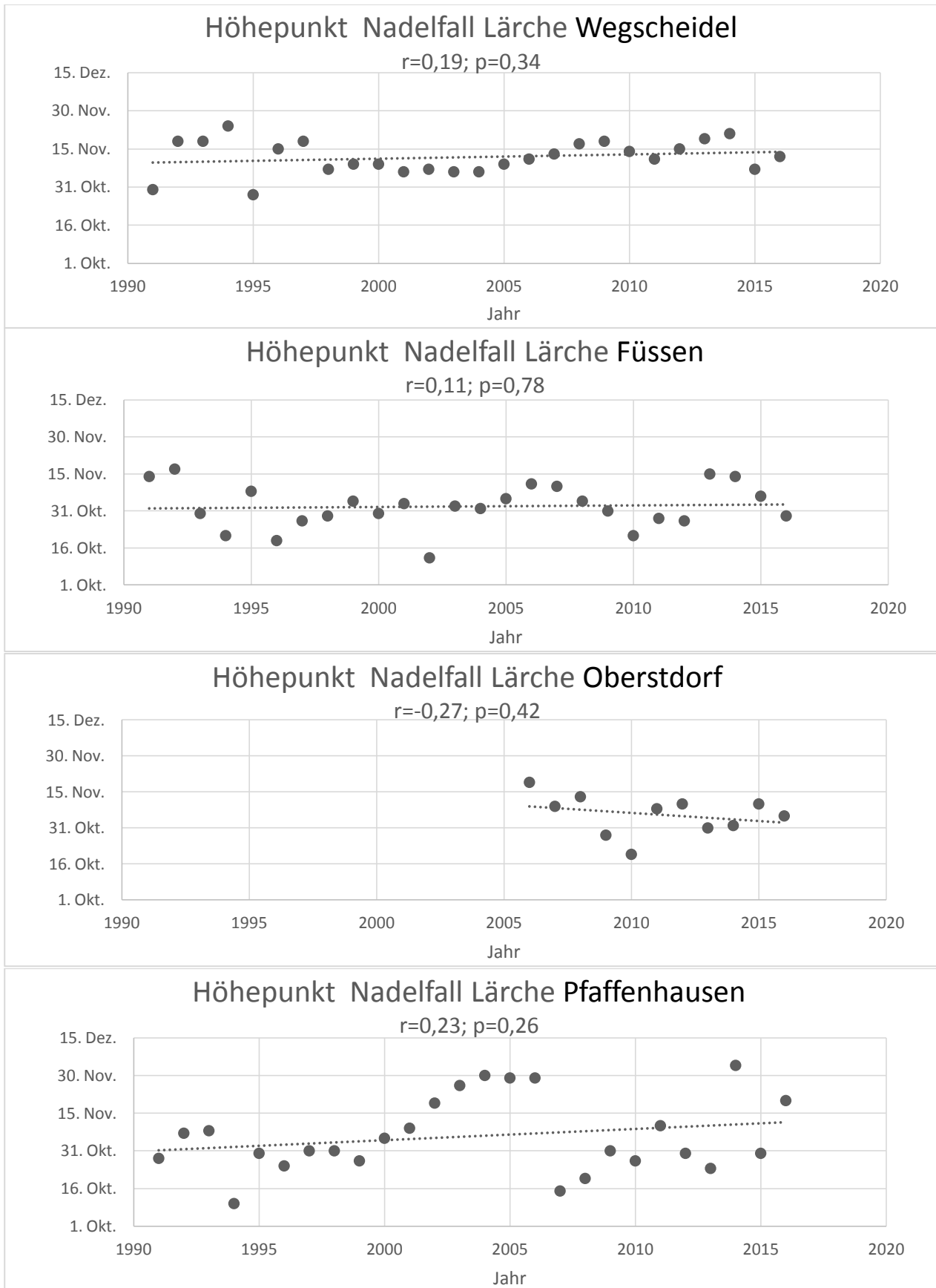


Abb.10: Höhepunkt des Nadelfalls der Europäischen Lärche (*Larix decidua*) in Wegscheidel, Füssen, Oberstdorf und Pfaffenhausen: Er fand in Wegscheidel Anfang der 1990er Jahre 4 Tage früher statt als 2016 (geringe Korrelation, $|r| < 0,3|$), in Füssen 4 Tage früher (geringe Korrelation, $|r| < 0,3|$), in Oberstdorf 2006 7 Tage später (geringe Korrelation, $|r| < 0,3|$) und in Pfaffenhausen Anfang der 1990er 13 Tage früher statt als 2016 (geringe Korrelation, $|r| < 0,3|$), alle Ergebnisse nicht signifikant.

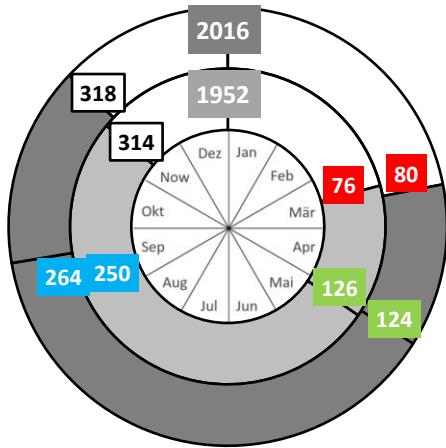


Abb. 11: Beginn [Tag des Jahres] der [Haselblüte](#), [Löwenzahnblüte](#), [Herbstzeitlosenblüte](#) und Höhepunkt des [Nadelfalls der Lärche](#) in **Wegscheidel** (Oberallgäu, 920 m ü NN) im Jahr 1952* (innerer Ring) und im Jahr 2016 (äußerer Ring). Die Dauer der Vegetationsperiode beträgt 238 Tage im Jahr 2016 und hat sich gegenüber 1952 nicht verlängert. [*Lärche 1991 vs. 2016]

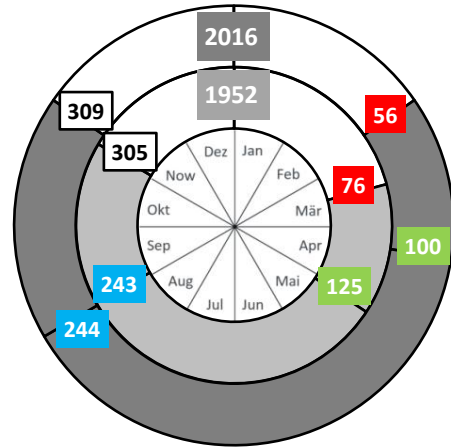


Abb. 12: Beginn [Tag des Jahres] der [Haselblüte](#), [Löwenzahnblüte](#), [Herbstzeitlosenblüte](#) und Höhepunkt des [Nadelfalls der Lärche](#) in **Füssen** (Ostallgäu, 808 m ü NN) im Jahr 1952* (innerer Ring) und im Jahr 2016 (äußerer Ring). Die Dauer der Vegetationsperiode beträgt 253 Tage im Jahr 2016 und hat sich gegenüber 1952 um 24 Tage verlängert. [*Lärche 1991 vs. 2016]

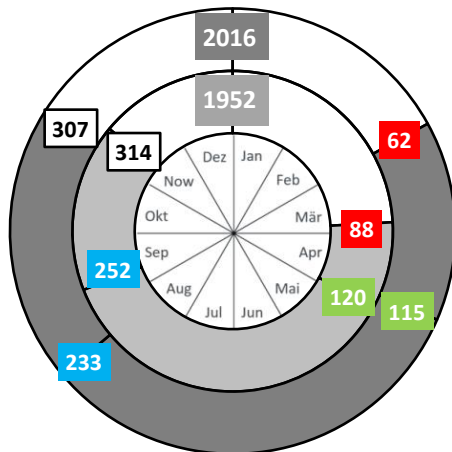


Abb. 13: Beginn [Tag des Jahres] der [Haselblüte](#), [Löwenzahnblüte](#), [Herbstzeitlosenblüte](#) und Höhepunkt des [Nadelfalls der Lärche](#) in **Oberstdorf** (Oberallgäu, 810 m ü NN) im Jahr 1952* (innerer Ring) und im Jahr 2016 (äußerer Ring). Die Dauer der Vegetationsperiode beträgt 245 Tage im Jahr 2016 und hat sich gegenüber 1952 um 19 Tage verlängert. [*Lärche 2006 vs. 2016]

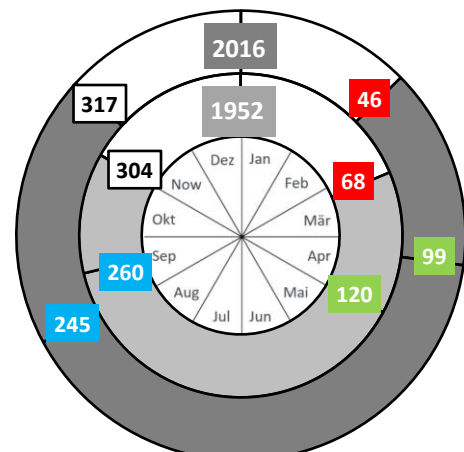


Abb. 14: Beginn [Tag des Jahres] der [Haselblüte](#), [Löwenzahnblüte](#), [Herbstzeitlosenblüte](#) und Höhepunkt des [Nadelfalls der Lärche](#) in **Pfaffenhausen** (Unterallgäu, 560 m ü NN) im Jahr 1952* (innerer Ring) und im Jahr 2016 (äußerer Ring). Die Dauer der Vegetationsperiode beträgt 271 Tage im Jahr 2016 und hat sich gegenüber 1952 um 35 Tage verlängert. [*Lärche 1991 vs. 2016]

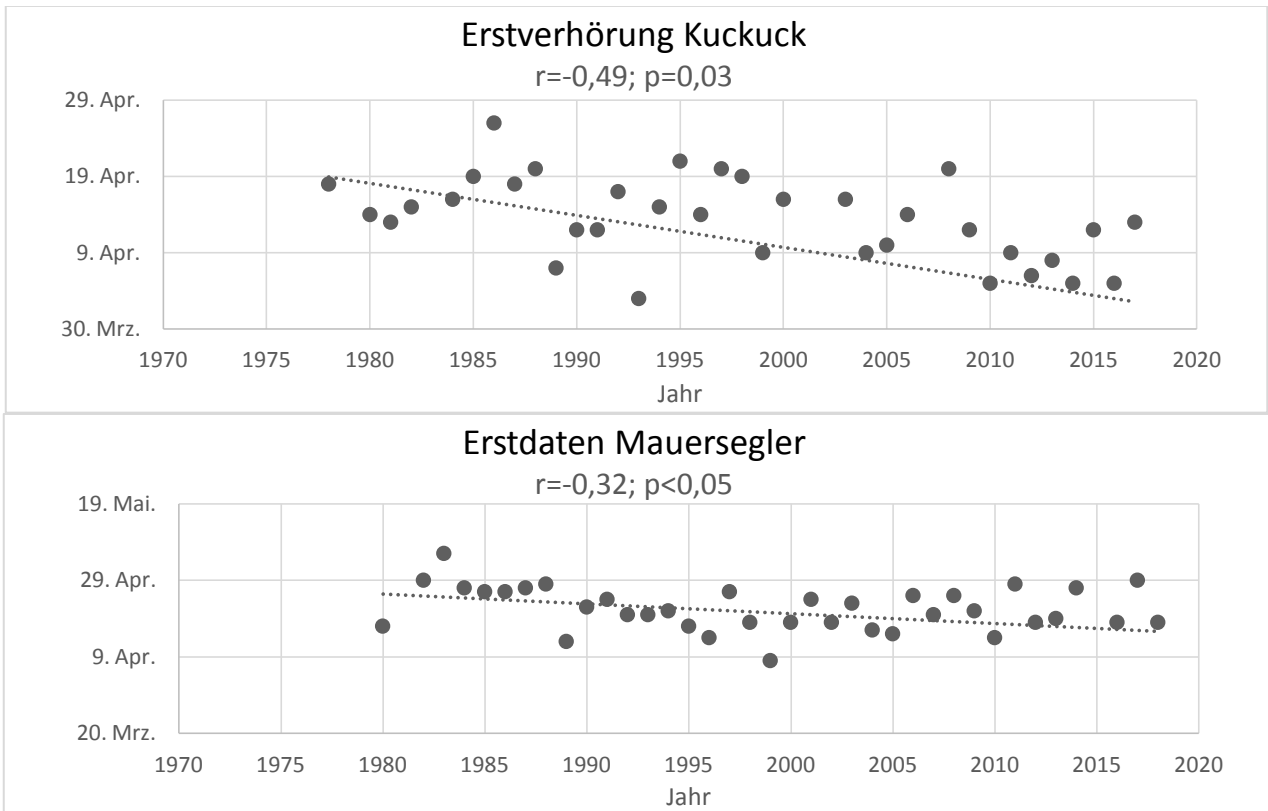


Abb. 15: Datum der Erstverhörung des Kuckucks (*Cuculus canorus*) und Erstdaten des Mauerseglers (*Apus apus*): Der Kuckuck rief 2017 14 Tage früher als 1978 (hohe Korrelation, $|r \approx 0,5|$; signifikant, $p<0,05$), der Mauersegler kehrte 2018 8 Tage früher aus seinen Winterquartieren zurück als 1980 (mittlere Korr. $|0,3 < r < 0,5|$; signifikant, $p<0,05$).

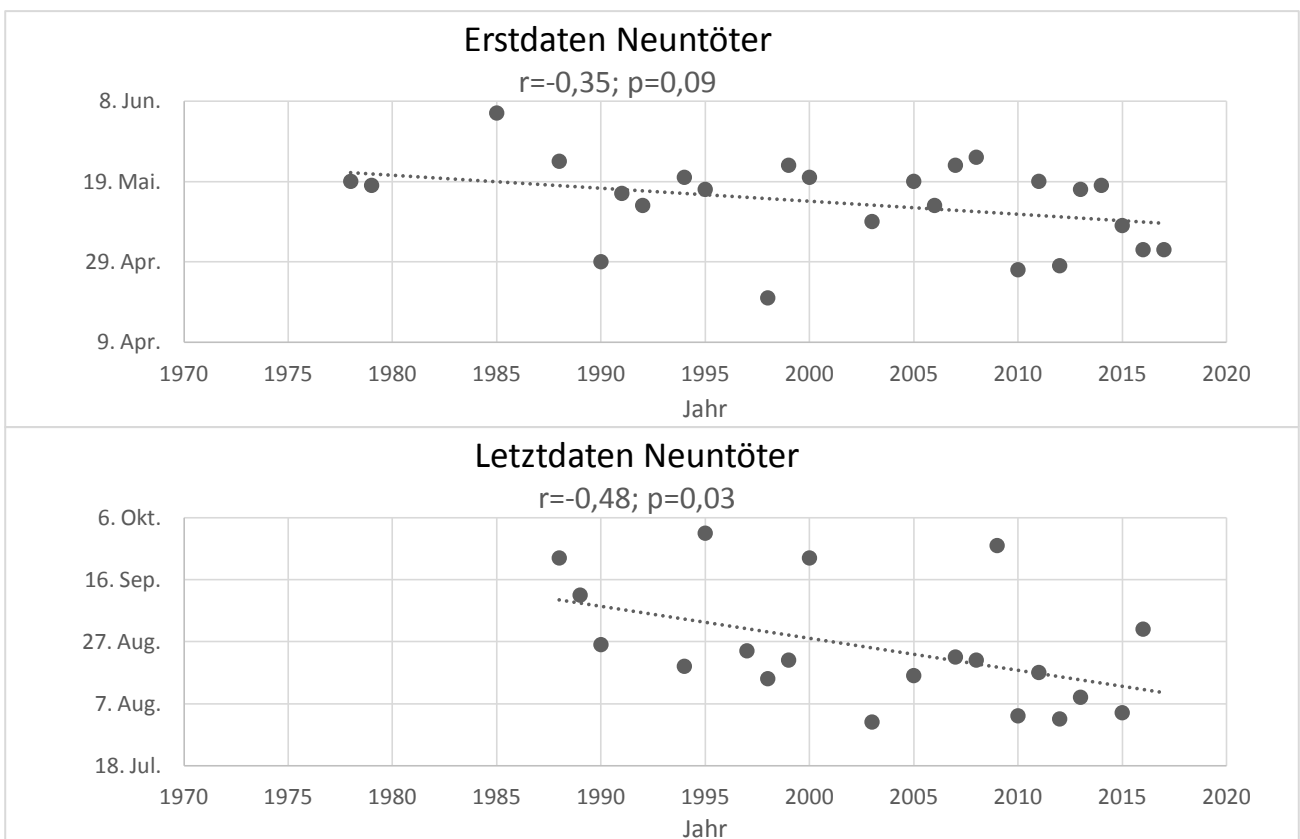


Abb. 16: Erst- und Letztdaten des Neuntötters (*Lanius collurio*): Er kehrte 2017 11 Tage früher zurück als 1978 (mittlere Korrelation, $|0,3 < r < 0,5|$; nicht signifikant) und flog 32 Tage früher weg als 1988 (hohe Korrelation, $|r > 0,5|$; signifikant, $p<0,05$).

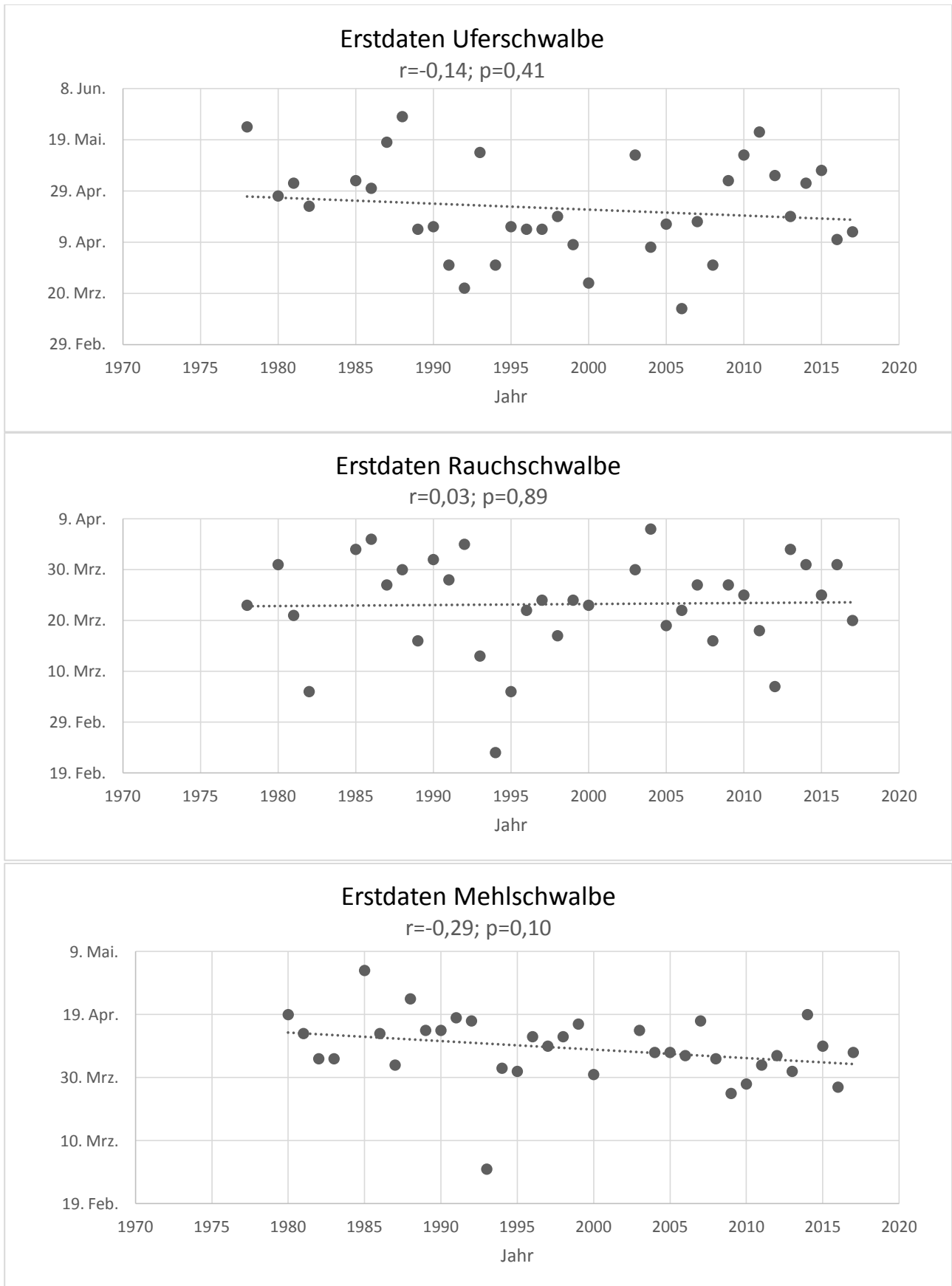


Abb. 17: Erstdaten der Uferschwalbe (*Riparia riparia*), Rauchschwalbe (*Hirundo rustica*) und Mehlschwalbe (*Delichon urbicum*): Die Uferschwalbe kehrte 2017 10 Tage früher zurück als 1978 (geringe Korrelation, $|r| < 0,3|$), die Rauchschwalbe 3 Tage später als 1978 (keine Korrelation, $|r \approx 0|$) und die Mehlschwalbe 10 Tage früher als 1980 (mittlere Korrelation, $|r \approx 0,3|$), alle Ergebnisse nicht signifikant.

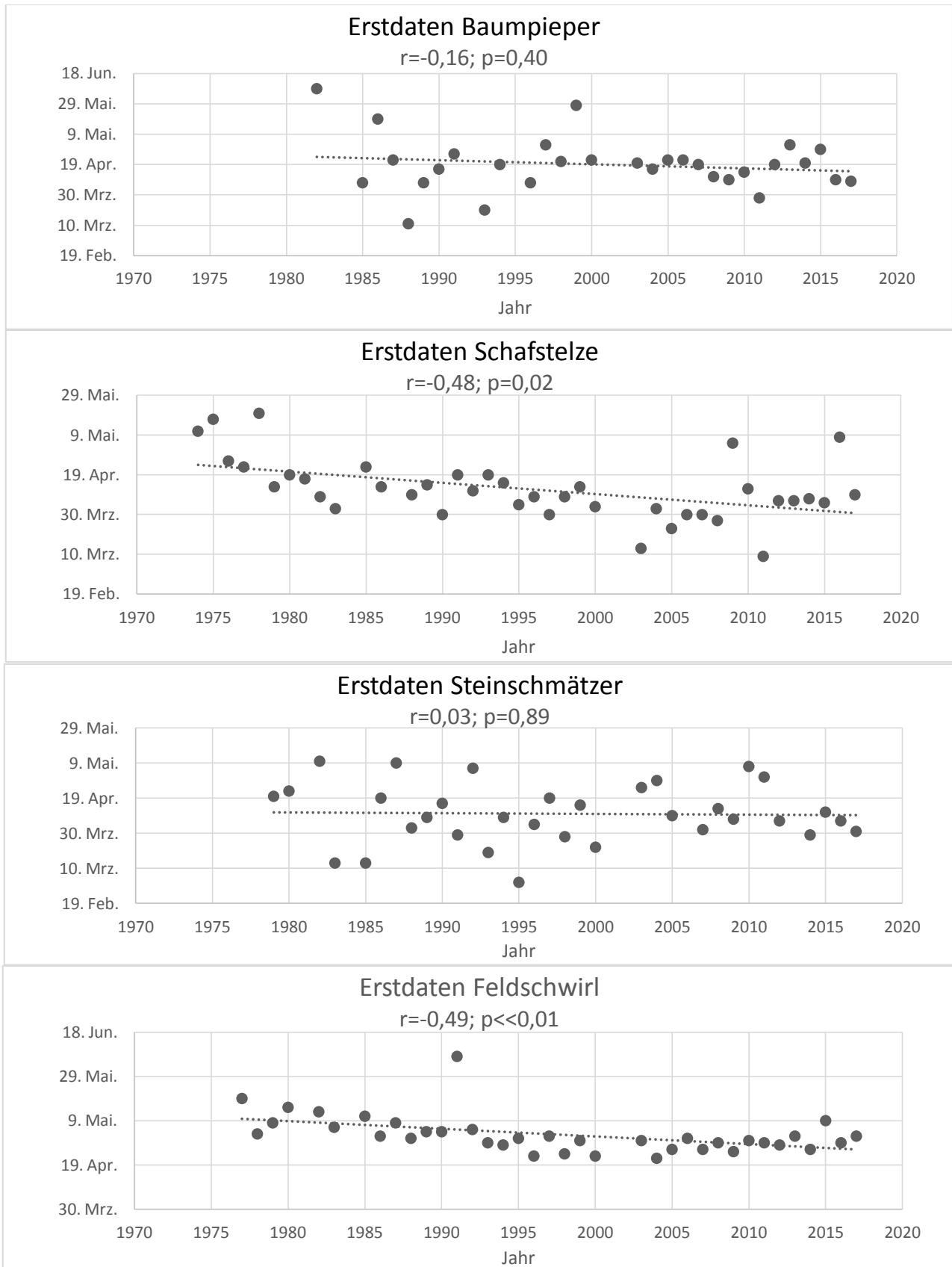


Abb. 18: Erstdaten von *Baumpieper* (*Anthus trivialis*), *Schafstelze* (*Motacilla flava*), *Steinschmätzer* (*Oenanthe oenanthe*) und *Feldschwirl* (*Locustella naevia*): Der Baumpieper kehrte 2017 8 Tage früher zurück als 1982 (geringe Korrelation, $|r| < 0,3$), die Schafstelze 24 Tage früher als 1974 (hohe Korrelation, $|r| \approx 0,5$; signifikant, $p < 0,05$), der Steinschmätzer 2 Tage später als 1979 (keine Korrelation, $|r| \approx 0$) und der Feldschwirl 14 Tage früher als 1977 (hohe Korrelation, $|r| \approx 0,5$; stark signifikant, $p < 0,01$)

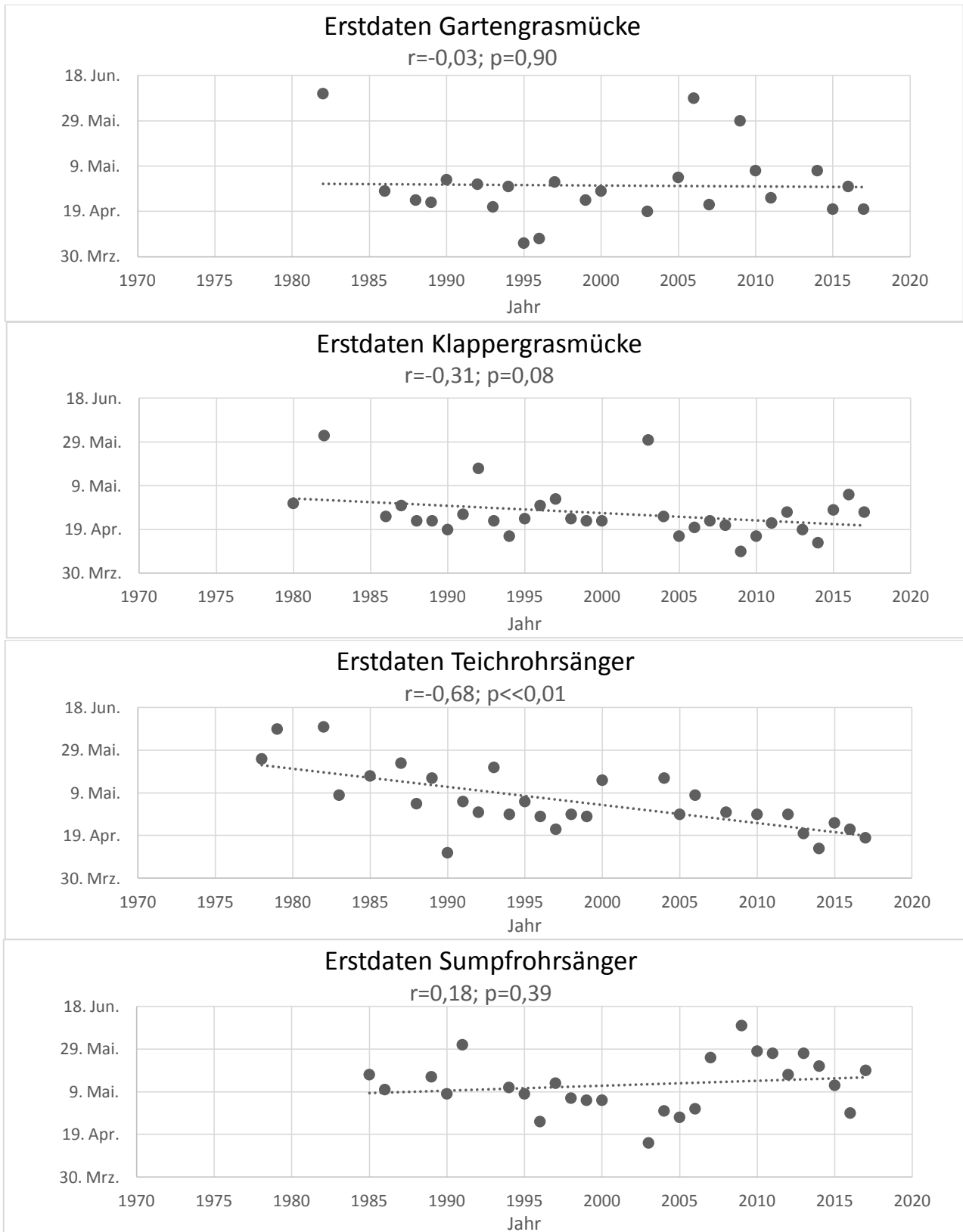


Abb. 19: Erstdaten *Gartengrasmücke* (*Sylvia borin*), *Klappergrasmücke* (*S. curruca*), *Teichrohrsänger* (*Acrocephalus scirpaceus*) und *Sumpfrohrsänger* (*A. palustris*): Die Gartengrasmücke kehrte 2017 2 Tage früher zurück als 1982 (keine Korrelation, $|r \approx 0|$), die Klappergrasmücke 10 Tage früher als 1980 (mittlere Korrelation, $|0,3 < r < 0,5|$; nicht signifikant), der Teichrohrsänger 33 Tage früher als 1978 (hohe Korrelation $|r > 0,5|$; stark signifikant, $p << 0,01$), der Sumpfrohrsänger 8 Tage später als 1985 (geringe Korr. $|r < 0,3|$; nicht signifikant).

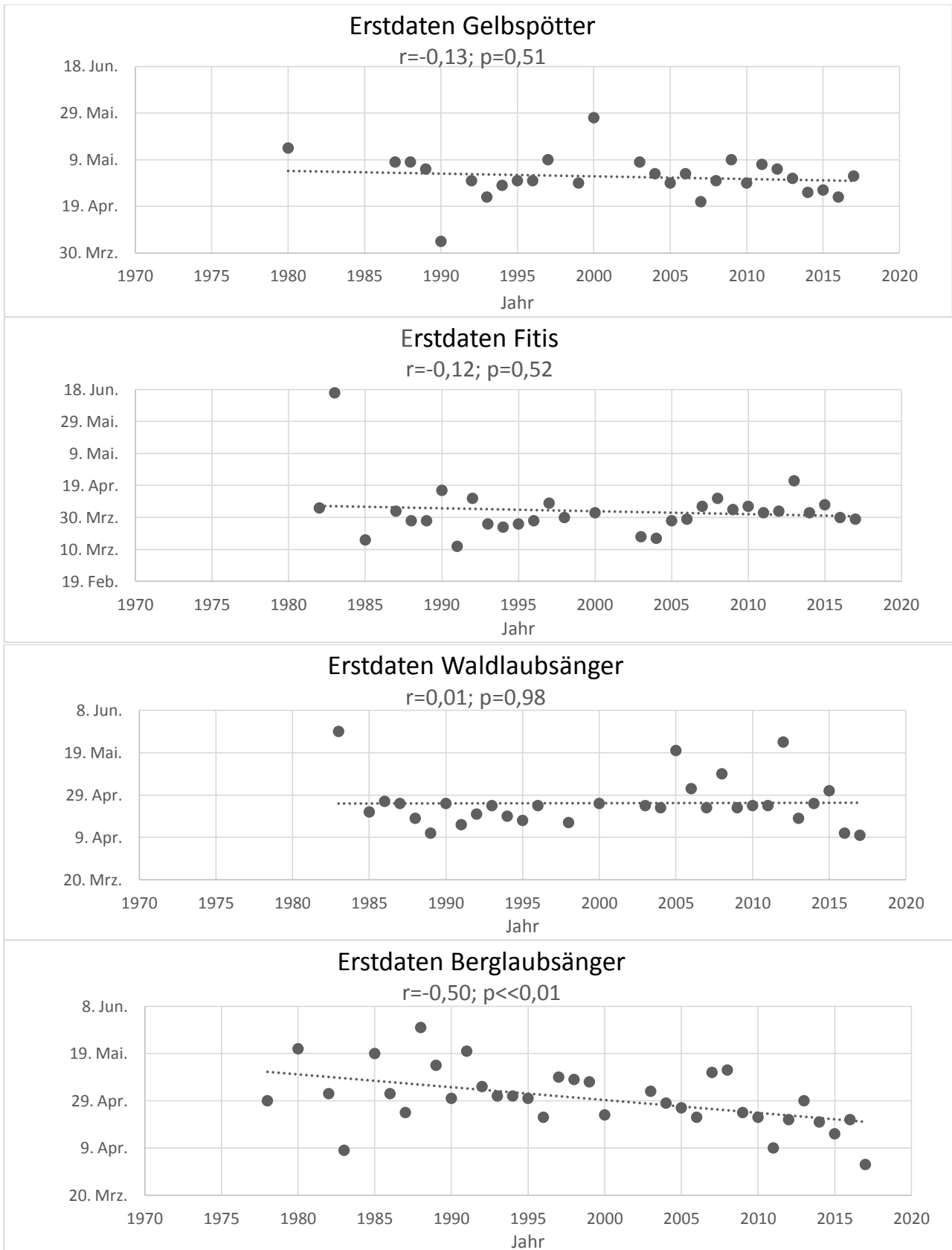


Abb. 20: Erstdaten Gelbspötter (*Hippolais icterina*), Fitis (*Phylloscopus trochilus*), Waldlaubsänger (*Phylloscopus sibilatrix*) und Berglaubsänger (*P. bonelli*): Der Gelbspötter kehrte 2017 5 Tage früher zurück als 1980 (geringe Korrelation, $|r| < 0,3$; nicht signifikant), der Fitis 6 Tage früher als 1982 (geringe Korr. $|r| < 0,3$; nicht signifikant), der Waldlaubsänger 1 Tag später als 1983 (keine Korr. $|r| \approx 0$) u. der Berglaubsänger 22 Tage früher als 1978 (hohe Korrelation, $|r| > 0,5$; stark signifikant, $p << 0,01$).

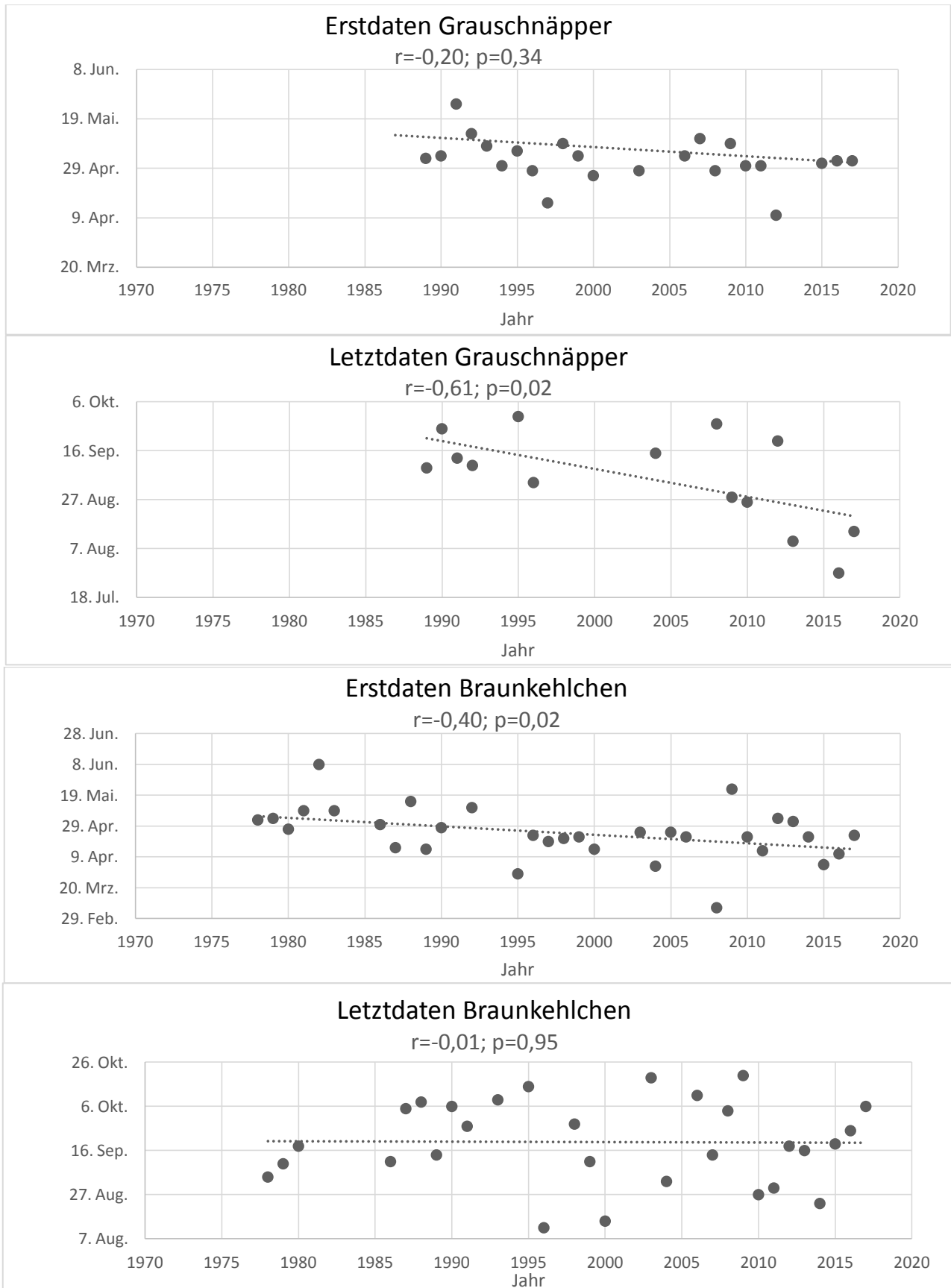


Abb. 21: Erst- und Letztenden von *Grauschnäpper* (*Muscicapa striata*) und *Braunkehlchen* (*Saxicola rubetra*): Der Grauschnäpper kehrte 2017 10 Tage früher zurück als 1987 (geringe Korrelation, $|r| < 0,3$; nicht signifikant) und flog 33 Tage früher weg als 1989 (hohe Korr. $|r| > 0,5$; signifikant, $p < 0,05$); das Braunkehlchen kehrte 2017 20 Tage früher zurück als 1978 (mittlere Korr. $|0,3 < r < 0,5$; signifikant, $p < 0,05$) und flog 3 Tage früher weg als 1978 (keine Korrelation, $|r| \approx 0$).