

1. Einleitung	4	6.4.1 Anbauvoraussetzungen und Aussaatbedingungen	83
2. Klimatische Rahmenbedingungen und beobachtete Veränderungen	7	6.4.2 Pflanzenkrankheiten und Schädlinge	87
2.1 Niederschlag	8	6.4.3 Besonderheiten bei der Ernte	89
2.2 Temperatur	12	6.5 Grünland	90
2.3 Verdunstung und Bodenfeuchte.....	14	6.5.1 Vegetationsbeginn	91
2.4 Boden	17	6.5.2 Ertragsbildung und Qualitätsentwicklung.....	92
2.5 Phänologie.....	18	6.5.3 Welkevorgang	97
3. Agrarmeteorologische Kernparameter – ihre Bedeutung und Messung	23	6.5.4 Ausblick	97
3.1 Bodentemperatur und Frosteintritttiefe	24	6.6 Gemüsebau	98
3.2 Bodenfeuchte	26	6.6.1 Bewässerungssteuerung	98
3.3 Verdunstung	28	6.6.2 Folienmanagement	104
3.4 Tau	30	6.6.3 Pilzliche Erkrankungen	105
3.5 Blattbenetzung	31	6.7 Obstbau	108
4. Grundlegende agrarmeteorologische Modelle	34	6.7.1 Pflanzenentwicklung: Phänologie als Klimaindikator beim Apfel.....	108
4.1 Wachstumsmodelle	35	6.7.2 Kälte- und Wärmebedarf von Obstgehölzen	110
4.1.1 Phänologische Beobachtungen	35	6.7.3 Frostrisiko und Frostwarnung	114
4.1.2 Temperatursummen	36	6.7.4 Pflanzenkrankheiten: Apfelschorf	116
4.2 Stickstoffdynamik und Düngung	38	6.8 Weinbau	119
4.3 Ertragsmodelle	41	6.8.1 Bestandsklima	119
4.4 Bestandesklimamodelle	43	6.8.2 Blattflächenmodell	120
4.5 Verwendung und Einsatz agrarmeteorologischer Modelle	46	6.8.3 Blattnässemodell	123
5. Gelände- und Bestandsklima	47	6.8.4 Pilzliche Erkrankungen	123
5.1 Auswirkungen von Boden- und Geländeklima auf die landwirtschaftliche Pflanzenproduktion	48	6.8.5 Tierische Schaderreger	133
5.1.1 Nachteil von Senken: Kaltluftseen	48	6.8.6 Weinbauliche Beratung	134
5.1.2 Vorteil von Hanglagen: Wärmegunst	48	7. Beobachtungs- und Vorhersagefähigkeiten	141
5.2 Feldtechnische Beeinflussung des Mikroklimas	49	7.1 Wetterbeobachtungen	142
5.2.1 Mikroklimatischer Wärmegewinn durch Folien- und Vliesabdeckungen.....	50	7.2 Vorhersagen für die nächsten Minuten bis wenige Stunden(Nowcasting)	143
5.2.2 Frostabwehr	51	7.3 Numerische Wettervorhersage (NWV)	143
5.3 Wechselseitige Effekte von Windparks und Geländeklima	52	7.4 Vorhersage auf saisonalen und dekadischen Skalen und Klimaprojektion.....	146
5.3.1 Auswirkungen von Windkraftanlagen auf das Geländeklima	52	7.4.1 Von den Anfangs- zu den Randbedingungen.....	146
5.3.2 Auswirkungen des Kulturpflanzenanbaus auf die Energieausbeute.....	53	7.4.2 Forschung und Anwendung der Klimavorhersagen.....	146
5.4 Auswirkungen von Flüssen/Kanälen/Seen als potenzielle Wetterscheiden auf das regionale Klima	54	7.5 Vorhersagefehler und Unsicherheitsabschätzung.....	146
5.5 Biologische Rückkoppelungseffekte auf das Regionalklima	54	7.6 Qualität der Vorhersageprodukte	147
5.5.1 Einfluss von Schaderregern.....	54	7.7 Aktuelle Güte der Langfristprognosen	149
5.5.2 Einfluss landwirtschaftlicher Landnutzungsänderungen	54	7.7.1 Güte der Jahreszeitenvorhersage.....	149
5.5.3 Einfluss durch Feldberegnung	55	7.7.2 Dekadische Vorhersagen.....	149
6. Agrarmeteorologische Modelle und Verfahren in der Anwendung	58	7.7.3 Klimaprojektionen	149
6.1 Getreide	59	8. Agrarmeteorologische Beratung für die Politik	151
6.1.1 Phänologische Entwicklung	60	8.1 Entscheidungsgrundlagen und Mithilfe bei gesetzlichen Regelwerken.....	152
6.1.2 Standortansprüche	60	8.2 Klimaatlas	154
6.1.3 Ertrag.....	64	8.3 Extreme Witterungssituationen in der Landwirtschaft	155
6.1.4 Qualitätseigenschaften des Ernteguts.....	66	8.3.1 Ad-hoc-Hilfen	155
6.2 Mais	70	8.3.2 Erosion durch Wind.....	155
6.2.1 Klimatische Bedingungen	70	8.4 Forschungsprojekte zur Klimafolgenabschätzung	156
6.2.2 Tierische Schaderreger	75	8.4.1 Verbundforschungsprojekt „Agrarrelevante Extremwetterlagen und Möglichkeiten von Risikomanagementsystemen“	156
6.2.3 Pilzliche Schaderreger.....	76	8.4.2 Weitere Forschungsprojekte.....	158
6.2.4 Modelle	76	8.5 Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS).....	159
6.3 Winterraps	78	8.6 Zusammenfassung	160
6.3.1 Tierische Schädlinge	81	9. Ausblick	161
6.3.2 Pilzliche Erkrankungen	83	Glossar	165
6.4 Kartoffeln	83	Autoren	168
		Medien	177
		Impressum	183



1 Einleitung

Die Bedeutung von Wetterdaten für die Landwirtschaft

Autoren: Hubert Honecker, Ute Schultheiß, Udo Busch, Dirk Engelbart

In der Landwirtschaft sind nicht nur die drei volkswirtschaftlich bedeutsamen Produktionsfaktoren **Boden, Arbeit** und **Kapital** entscheidend. Für die landwirtschaftliche Erzeugung kommen als weitere wichtige Faktoren **Klima, Witterung und Wetter** hinzu, die für einen jeweiligen Standort wertbestimmend sind.

Das Klima eines Standortes ist die Gesamtheit möglicher Wetterzustände mit ihren tages- und jahreszeitlichen Schwankungen. Es beschreibt den mittleren Zustand der Atmosphäre über einen längeren Zeitraum, z. B. über 30 – 40 Jahre. Somit ist der für die Ertragsfähigkeit eines Standortes so wichtige Produktionsfaktor Klima durch den Menschen (mittelfristig) nicht beeinflussbar.

Das Klima hat besondere Bedeutung für die Bodenfruchtbarkeit eines Standortes. Aus diesem Grunde fließen Klimaelemente (Temperatur, Luftfeuchte, Wind, Niederschlag, Luftdruck, Bewölkung) und Klimafaktoren (geografische Breite, Orografie des Geländes, Art der Vegetation, Seehöhe etc.) bei der Bewertung eines Standortes nach dem Bodenschätzungsgesetz (2008) in die Bodenwertzahl ein.

Die Klimabedingungen sind mitbestimmend dafür, ob ein Standort als Acker- oder Grünland genutzt werden kann und somit auch, welche Kulturarten sich für den Anbau anbieten und welche Erträge und Qualitäten erzielt werden können. Der Landwirt muss das Klima an dem Standort, an dem er wirtschaftet, akzeptieren. So wird z. B. die Anbauentscheidung eines Landwirtes von dem regelmäßigen Auftreten von Sommertrockenheit an einem Standort stark beeinflusst. Dies gilt sowohl in der Pflanzenproduktion, als auch in der Tierhaltung. Seine täglichen Bewirtschaftungsmaßnahmen muss er hingegen auf den aktuellen Wetterverlauf und das mittelfristige Witterungsgeschehen ausrichten.

Aktuelle Maßnahmen, die im Zusammenhang mit der Bestellung von landwirtschaftlichen Flächen durchzuführen sind, orientieren sich an dem zu erwartenden Wetterverlauf und der Witterung. Das Wetter beschreibt den Zustand der Atmosphäre für einen bestimmten Ort zu einem bestimmten Zeitpunkt und wird durch die oben genannten Klimaelemente und -faktoren charakterisiert.

Die Witterung beschreibt den vorherrschenden Charakter des Wetterablaufes über einen bestimmten Zeitraum, in der Regel von einigen Tagen und bestimmt den auch von der Schlaggröße und der Bearbeitungsintensität abhängigen, unternehmerischen Planungsaufwand und dessen technische Umsetzbarkeit.

Bei zunehmenden Flächengrößen und dem Zwang zu möglichst genauer betrieblicher Einsatzplanung kommt der mittelfristigen Witterungsprognose eine immer größere Bedeutung zu.

Die landwirtschaftliche Produktion im Pflanzenbau und auch in der Tierhaltung ist unmittelbar abhängig von den jeweiligen Witterungs- und Wetterereignissen:

- » Witterungs- und Wettersituationen entscheiden darüber, welche Feldarbeiten erfolgen können. Tierhaltende Betriebe stimmen den Weidegang oder die Wirtschaftsdüngerausbringung darauf ab. Das Wetter am jeweiligen Standort nimmt Einfluss auf Saat- und Erntezeitpunkte und trägt wesentlich zur Ertragssituation in den Betrieben bei. Dabei kann die Pflanzenproduktion nur bis zu einem gewissen Grad mittels technischer Hilfsmittel wie z. B. Beregnung, Pflanzenschutz, organische und mineralische Düngung, Bodenbearbeitung etc. weiter optimiert werden. Extreme Wetterlagen wie Dürre, Hagel, Sturm, Frost oder Dauerregen können der Landwirtschaft binnen Stunden, Tagen oder wenigen Wochen erheblichen Schaden zufügen.
- » Im Pflanzenbau sind bereits vor der Aussaat von Feldfrüchten genaue Kenntnisse des Bodenzustandes, insbesondere der Befahrbarkeit zur Vermeidung von Schadverdichtungen, erforderlich. Neben unbedingt notwendigen Feldbegehungen sind dazu zeitnahe und tagesaktuelle Information zum Bodenfeuchteverlauf und der voraussichtlichen Wetterentwicklung, insbesondere Niederschlag und Verdunstung, elementar für die Bestellung nach guter fachlicher Praxis. Dies gilt für sämtliche Bewirtschaftungsmaßnahmen im Feld und auf dem Grünland.

Vorhersagen der agrarmeteorologischen Bedingungen sind auch entscheidend für die Erntearbeiten, denn hierbei sind die Landwirte vor Ort direkt von dem Wetterverlauf – oder in Abhängigkeit von der zu bewirtschaftenden Flächengröße – von den Vorhersagen für mehrere Tage abhängig. Dies gilt im Besonderen z. B. für die Getreide- und Hackfruchternte, die Heuwerbung und Silagebereitung sowie die Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln. Mit Hilfe von agrarmeteorologischen Modellen ist es möglich, den besten Zeitpunkt für die Heuernte, die Silagebereitung oder die Getreideabreife in Abhängigkeit von der Witterung zu bestimmen und die Arbeitsabläufe darauf einzustellen. In diese Modelle fließen Informationen zur Luftfeuchte und deren voraussichtlicher Entwicklung in Verbindung mit der vorhergesagten Windstärke ein, um für die Praxis abschätzen

zu können, wie sich der Ausgangszustand eines feuchten Bodens oder eines in der Abreife befindlichen Getreidebestandes im Zeitverlauf entwickeln kann.

Je später im Jahr einzelne Kulturen geerntet werden, z. B. im Herbst, Kartoffeln, Zuckerrüben, Mais, Feldgemüse, desto wichtiger sind längerfristige Prognosen der Bodenfeuchte als Indiz für die Befahrbarkeit des Bodens. Gemäß Bundesbodenschutzgesetz sind Bodenschadverdichtungen zu vermeiden. Daher muss z. B. die Wassersättigung eines Bodens bekannt sein, um abschätzen zu können, ob ein Boden befahrbar ist, ohne dass Druckschäden doppelt entstehen. Neben einer Beurteilung des Bodenzustandes (z. B. durch eine Spatendiagnose) kann in der täglichen Praxis hierfür auch die Berechnung der Bodenfeuchte des DWD verwendet und annäherungsweise abgeschätzt werden. Dies bietet den Vorteil, dass eine Prognose für die nächsten Tage vorliegt und der Arbeitsinsatz der Erntemaschinen optimiert werden kann. So hilft die Kenntnis des Bodenfeuchteverlaufes auch, ordnungsrechtliche Vorschriften, namentlich im Bereich der Düngung und der Bodenbearbeitung, einzuhalten.

Das Düngerecht schreibt seit 2006 vor, dass auf überschwemmt, wassergesättigten, schneebedeckten und gefrorenen Böden nicht gedüngt werden darf. Um Landwirten in diesem Zusammenhang eine Entscheidungshilfe zu geben, sind Daten notwendig, die erkennen lassen, wie ausgehend vom Wetter der letzten Tage und Wochen z. B. die Ausgangssituation im Boden bis etwa 60 cm Tiefe beurteilt werden kann. So ist wichtig, ob der Bodenfrost der frühen Morgenstunden tagsüber sicher auftaut und man folglich die durch Frosteinwirkung verdichtungsarme Befahrbarkeit der Böden zur Düngerausbringung ausnutzen kann. Ein Boden gilt dann als gefroren, wenn an einer Stelle der Frost mehr als 10 cm tief in den Boden eingedrungen ist und im Verlauf des Tages nicht oberflächlich auftaut. Eine Düngung auf Böden, in die der Frost mehr als 10 cm tief eingedrungen ist, ist nur dann zulässig, wenn diese tagsüber oberflächlich auftauen. Hierzu steht eine aktualisierte Bodenfrostvorhersage für den aktuellen und den Folgetag beim Deutschen Wetterdienst zur Verfügung.

Andererseits können agrarmeteorologische Daten über den Temperaturverlauf im Boden im Nachgang zu einer erfolgten Düngung zeigen, dass Bedingungen vorlagen, die den gesetzlichen Anforderungen und einer guten fachlichen Praxis entsprochen haben. Verstöße gegen die Vorschriften der Düngeverordnung können nach Fachrecht als Ordnungswidrigkeiten (OWI) mit einem Bußgeld geahndet werden und ziehen ggf. Prämienkürzung nach sich. Die Gewährung von Agrarzahlungen ist an die Einhaltung von EU-rechtlichen Standards geknüpft, die nach den sogenannten Cross-Compliance („Überkreuzehaltung von Verpflichtungen“) eingehalten werden müssen und durch Vor-Ort-Kontrollen überprüft werden. Die Anforderungen von Cross-Compliance (CC) enthalten Verpflichtungen zur Einhaltung von Vorschriften

und Richtlinien in den Bereichen Umweltschutz, Klimawandel, gutem landwirtschaftlichen Zustand der Flächen, Gesundheit von Mensch, Tier und Pflanze sowie Tierschutz. CC verknüpft kurz gefasst Prämienzahlungen für die Betriebe mit der Einhaltung der vorgenannten Umweltstandards.

Viele meteorologische Parameter sind in ihrer Kombination mitentscheidend, ob neben Düngung und Bodenbearbeitung auch anstehende Pflanzenschutzmaßnahmen optimal durchgeführt werden können.

Ob zu hohe Windgeschwindigkeiten in Kombination mit Blattnässe und Luftfeuchtigkeit beispielsweise zur Belastung von benachbarten Flächen, Biotopen oder Wohnbebauung führen können, sind Fragen, die sich mit Hilfe agrarmeteorologischer Modelle in großer Annäherung beantworten lassen. Pflanzenschutzmaßnahmen sind im Sinne der guten fachlichen Praxis standort-, kultur- und situationsbezogen durchzuführen und die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln ist auf das notwendige Maß zu beschränken. Letztendlich liegt es in der Hand des Landwirtes, vor dem Hintergrund der vorgenannten umfassenden Beratungswerkzeuge und abgestimmt auf die besonderen Ausprägungen des Lokal- und Geländeklimas, eine möglichst schlagspezifische Entscheidung im Hinblick auf die erforderlichen Bewirtschaftungsmaßnahmen zu treffen.

- » Agrarmeteorologische Informationen, wie z.B. Bestandsklimadaten, fließen auch ein in Pflanzenschutz-Prognosemodelle für den zu erwartenden Befall mit Schädlingen im Obstbau oder für einen möglichen Befall mit verschiedenen Pflanzenkrankheiten in mittlerweile zahlreichen Kulturen des Ackerbaus. Sie sind besonders wichtig, um im Rahmen des integrierten Pflanzenbaus den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln zu optimieren und damit auch zu minimieren. Auch für die Präzisionslandwirtschaft (precision farming) sind agrarmeteorologische Prognosemodelle – neben dem Einsatz von geographischen Informationssystemen, teilflächenspezifischem Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmaßnahmen, Bildanalysen, Sensoren und GPS-gesteuerter Bodenbewirtschaftung etc. – ein wesentliches Planungsinstrument.

Für die landwirtschaftlichen Betriebe ist neben einer ständigen Aktualisierung des speziellen agrarmeteorologischen Datenangebotes eine – in der Mehrzahl landwirtschaftlicher Betriebe bereits installierte – Zugänglichkeit zu internetbasierten Beratungs- und Anwendungsmodulen erforderlich.

Die Agrarmeteorologie liefert somit einen unmittelbaren Nutzen, der sowohl den landwirtschaftlichen Produzenten als auch der Umwelt zugutekommt.

Zunehmend bedeutend wird der Sachverhalt, dass bei größeren Einzelschlägen und umfangreicheren Produktionsabläufen die Wetterprognose einzelner Tage nicht mehr für die strategische Planung und Umsetzung von Bewirtschaftungsmaßnahmen ausreicht. Daher gilt es abzuschätzen, inwieweit das Wetter in den nächsten Tagen Beständigkeit hat – was mit dem physikalischen Zustand der Atmosphäre und dessen relativer Trägheit zusammenhängt. Landwirte benötigen eine Information darüber, wie genau die Prognose sein kann, um ihre Planung bzw. Bewirtschaftung zielgerichtet durchzuführen.

Die vorliegende Broschüre soll die Abhängigkeiten der landwirtschaftlichen Produktion von Klima und vom Wetter für ein breites Spektrum der in Deutschland angebauten Kulturpflanzen aufzeigen und darstellen, welche Leistungen des Deutschen Wetterdienstes zu anstehenden Entscheidungen in der landwirtschaftlichen Praxis benötigt werden. Dabei ist es Ziel, das vielfältige Angebot des Deutschen Wetterdienstes, insbesondere der Agrarmeteorologie, zur Weiterentwicklung der guten fachlichen Praxis in der Landwirtschaft noch besser zu nutzen.

Inhalte der vorliegenden Broschüre

- » Agrarmeteorologische Grundlagen (Kapitel 4)
- » Auswirkungen von Boden- und Geländeklima auf die landwirtschaftliche Produktion (Kapitel 5.1)
- » Beschreibung agrarmeteorologischer Modelle (Kapitel 6)
- » Verfahren in der Anwendung für verschiedene ackerbauliche Kulturen (Kapitel 6)
- » Informationen zu Wetterbeobachtungen und Vorhersagemodellen (Kapitel 7)
- » Möglichkeiten der agrarmeteorologischen Beratung für die Politik (Kapitel 8)

Der Schwerpunkt der Broschüre liegt in der Dokumentation von agrarmeteorologischen Modellen und Verfahren und deren Anwendung für verschiedene ackerbauliche Kulturen sowie Grünland, Gemüse-, Obst- und Weinbau. Diese Broschüre richtet sich an Studierende sowie Berater im Agrarbereich und andere Interessierte, kann aber auch in der Ausbildung und in der landwirtschaftlichen Praxis genutzt werden. Mit ihr soll der Transfer des aktuellen Fachwissens in die landwirtschaftliche Praxis und in die Ausbildung junger Landwirte erhöht werden. Nicht zuletzt sollen Leserinnen und Leser eine Orientierung zum Leistungsangebot des Deutschen Wetterdienstes erhalten.



2 Klimatische Rahmenbedingungen und beobachtete Veränderungen

Autoren: Wolfgang Janssen, Torben Meinert, Cathleen Frühauf

Die Standorteigenschaften einer Fläche bestimmen die Anbaumöglichkeiten landwirtschaftlicher und gärtnerischer Kulturen sowie die Grünlandnutzung. Neben den Bodeneigenschaften sind die Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse während der Vegetationsperiode, aber auch in den Herbst- und Wintermonaten, von Bedeutung. Die Agrarklimatologie liefert Informationen vor allem für die langfristige Planung eines standortgerechten Kulturanbaus. Das Ertragspotential einer Kulturpflanze kann nur an den Standorten voll ausgeschöpft werden, deren Wärme- und Wasserangebot mindestens dem Bedarf der Pflanzen entspricht. Vielerorts nutzen Landwirte und Gärtner die technischen und wasserrechtlichen Möglichkeiten zum Einsatz der Feldberg-

nung in Entwicklungsphasen mit ausgeprägter Trockenheit. Hinweise für die Anbauwürdigkeit neuer Kulturen können Wärmesummen, der Bodenwasserhaushalt, die Dauer der frostfreien Periode sowie winterliche Temperaturen liefern.

Die klimatischen Rahmenbedingungen für die Landwirtschaft sollen zunächst anhand der wichtigen meteorologischen Bedingungen Niederschlag und Lufttemperatur aber auch der typischen agrarmeteorologischen Größen wie Verdunstung und Bodenfeuchte näher untersucht werden. Dabei wird auch auf die beobachteten Veränderungen aufgrund des Klimawandels eingegangen.

2.1 Niederschlag

Betrachtet man die durchschnittlichen Jahresniederschläge in Deutschland über die letzten 100 Jahre, so stellt man fest, dass diese zwischen 556 mm im Jahre 1911 bis 1018 mm im Jahre 2002 enorm schwanken können (Anmerkung: ein Millimeter Niederschlag entspricht einem Liter pro Quadratmeter bzw. 10 Kubikmetern pro Hektar).

Diese enorme Schwankungsbreite ist bei keinem anderen meteorologischen Element zu beobachten. Tendenziell hat der mittlere Jahresniederschlag in Deutschland von 758 mm (1901-1930) auf 819 mm (1981-2010) zugenommen.

Die Verteilung dieser 819 mm Niederschlag über Deutschland ist jedoch nicht gleichmäßig, sondern reicht von 500 mm in Teilen Brandenburgs und Sachsen-Anhalts bis über 1500 mm in den Mittelgebirgen und den Alpen (Abb. 2.1.1). Wieviel dieser Niederschläge während der Vegetationszeit fallen, ist ebenfalls in Abbildung 2.1.1 angege-

ben. In den eher kontinental geprägten Regionen im Osten dominiert der sommerliche Niederschlag im Gegensatz zu den vorwiegend im Westen liegenden Regionen. Letztere bekommen im Winterhalbjahr, durch häufig aus Nordwesten kommende Tiefausläufer, mehr Niederschläge als im Sommerhalbjahr.

Insgesamt wird eine Zunahme bei den Jahresniederschlägen beobachtet. Diese Zunahme wird allerdings vorwiegend im Winterhalbjahr beobachtet und führt in der Regel zu einem Auffüllen der Boden- und vielerorts auch der Grundwasservorräte. In dem für das Pflanzenwachstum wichtigen Sommerhalbjahr fallen im Mittel 427 mm (1981-2010), also etwas mehr als die Hälfte des Jahresniederschlages. Dieser Wert hat sich gegenüber dem Zeitraum 1961-1990 mit 425 mm kaum verändert. Die regionalen Schwankungen zwischen den beiden Perioden sind in Abbildung 2.1.2 dargestellt. Sie dürfen in Anbetracht der großen Schwankungsbreite beim Niederschlag nicht überinterpretiert werden, deuten allerdings eine Verknappung im Südwesten an.

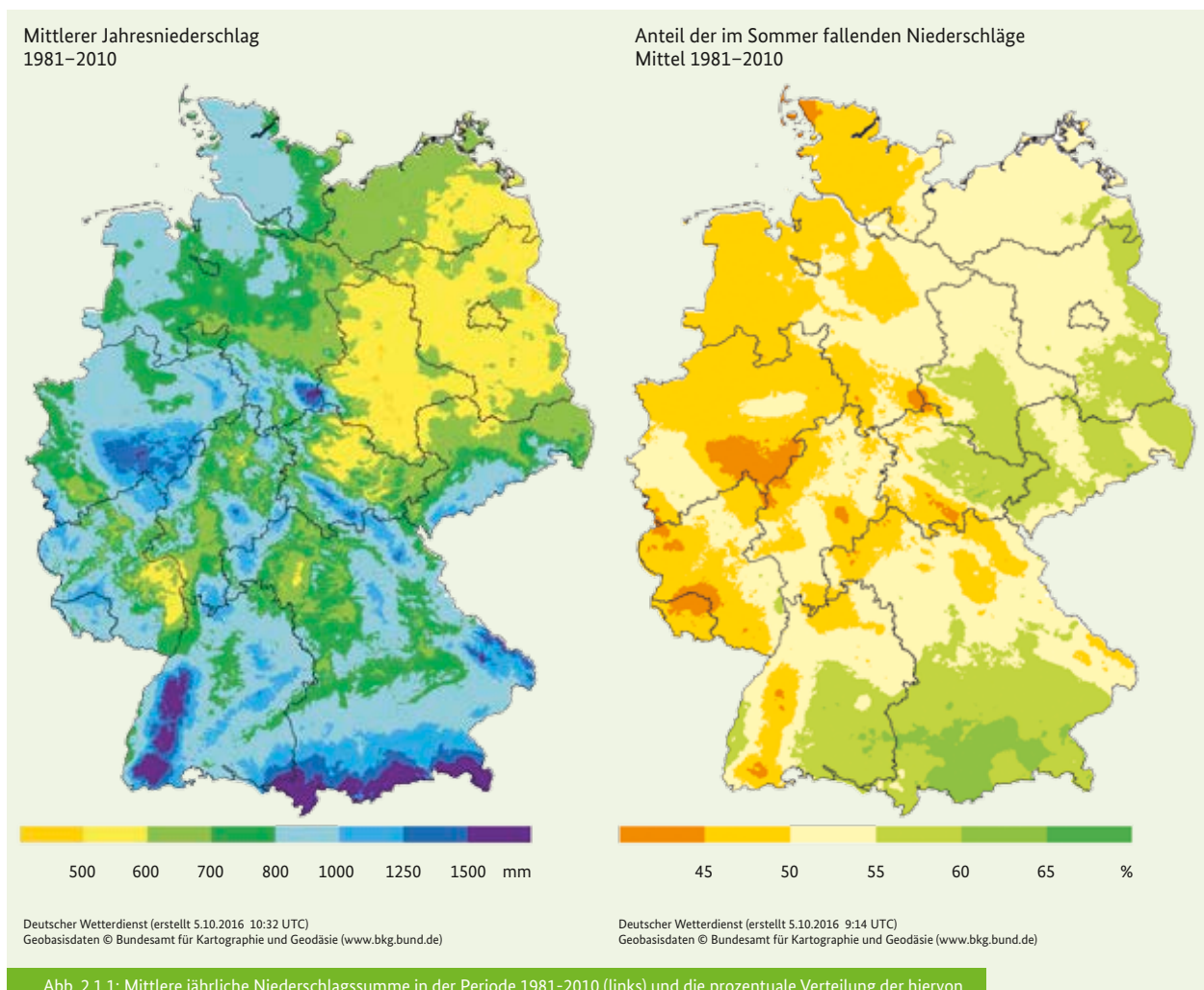


Abb. 2.1.1: Mittlere jährliche Niederschlagssumme in der Periode 1981–2010 (links) und die prozentuale Verteilung der hiervon in der Hauptwachstumszeit (1.3.–31.8.) fallenden Niederschläge (rechts) von ca. 650 Stationen mit vollständigen Monatswerten.