

Wolfgang Patzwahl



ulmer



Rebe & Wein

# WASSERMANAGEMENT UND BEWÄSSERUNG IM WEINBAU





**Wolfgang Patzwahl**

# **WASSERMANAGEMENT UND BEWÄSSERUNG IM WEINBAU**

31 Farbfotos  
46 Zeichnungen  
31 Tabellen



# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	<b>6</b>
<b>1 Allgemeiner Teil</b> .....	<b>7</b>
<b>1.1 Eckpunkte des Klimawandels</b> .....	<b>10</b>
1.1.1 Klimaparameter Temperatur .....	11
1.1.2 Klimaparameter Niederschlag .....	16
<b>1.2 Auswirkungen des Klimawandels auf Rebanlage und Wein</b> .....	<b>19</b>
1.2.1 Physiologische Entwicklung der Rebe .....	19
1.2.2 Qualitative Ertragsleistung .....	20
1.2.3 Huglin-Wärmesummenindex und Rebsorteneignung .....	21
1.2.4 Quantitative Ertragsleistung .....	22
1.2.5 Neupflanzung und Jungfeldpflege .....	23
1.2.6 Bodengefüge und Wasserhaltefähigkeit .....	25
1.2.7 Spätfrost und Hagel .....	26
<b>1.3 Möglichkeiten der Anpassung an den Klimawandel</b> .....	<b>26</b>
1.3.1 Sortenwechsel .....	26
1.3.2 Verlegung der Rebflächen in andere Anbauregionen .....	30
1.3.3 Einsatz von Bewässerung, konservierende Bodenbewirtschaftung .....	34
<b>2 Pflanzenbauliche Grundlagen</b> .....	<b>35</b>
<b>2.1 Funktion des Wassers in der Pflanze</b> .....	<b>35</b>
2.1.1 Das Wasserpotenzial .....	36
2.1.2 Wurzelhaarzone, Mykorrhizierung .....	37
2.1.3 Was passiert in den Rebpflanzen bei zunehmender Trockenheit? .....	40
2.1.3.1 Quantität und Qualität der Proteinbiosynthese .....	41
2.1.3.2 Effizienz des photosynthetischen Systems der Chloroplasten .....	42
2.1.3.3 Kohlenhydratstoffwechsel, Anfälligkeit für Pilzinfektionen .....	43
2.1.3.4 Proteinstoffwechsel, Phytohormone .....	44
2.1.3.5 Leitgefäße im Holzkörper .....	44
2.1.3.6 Reservestoffeinlagerung und Frostresistenz .....	45
2.1.3.7 Knospendifferenzierung und Infloreszenzbildung .....	46
<b>2.2 Einflussfaktoren auf den Wasserhaushalt der Rebe</b> .....	<b>47</b>
2.2.1 Reaktionsmuster von Pflanzen bei Wasserverknappung .....	49
2.2.2 Einfluss von Bodenpflege und Begrünung .....	50

## 4 Inhaltsverzeichnis

2.2.3	Wachstum und Wasserhaushalt der Weinbeeren, Weinqualität. . . . .	51
2.2.4	Wasserbedarf der Rebanlagen . . . . .	54
<b>2.3</b>	<b>Das Wasser im Boden</b> . . . . .	<b>56</b>
<b>2.4</b>	<b>Der Wasserhaushalt im System Weinberg</b> . . . . .	<b>63</b>
<b>3</b>	<b>Wassermanagement im Weinbau</b> . . . . .	<b>67</b>
<b>3.1</b>	<b>Pflanzenbauliche Maßnahmen</b> . . . . .	<b>69</b>
3.1.1	Laubschnitt . . . . .	69
3.1.2	Bodenbearbeitung und Begrünung der Rebgassen . . . . .	69
3.1.3	Mulchen, organische Düngung . . . . .	75
3.1.4	Grün-Lese, Ertragsreduktion . . . . .	75
<b>3.2</b>	<b>Bewässerungstechnik</b> . . . . .	<b>76</b>
3.2.1	Bewässerungsverfahren . . . . .	76
3.2.1.1	Bewegliche (mobile) Bewässerungsanlagen . . . . .	77
3.2.1.2	Teilortsfeste Bewässerungsanlagen. . . . .	79
3.2.1.3	Ortsfeste Bewässerungsanlagen . . . . .	83
3.2.1.4	International eingesetzte Bewässerungstechnik . . . . .	90
3.2.2	Regelung (Steuerung) der Bewässerungsanlage . . . . .	91
3.2.2.1	Parameter zur Bewässerungssteuerung . . . . .	91
3.2.2.2	Manuelle Bewässerungssteuerung . . . . .	99
3.2.2.3	Automatisierte Bewässerungssteuerung. . . . .	99
3.2.3	Filtrations- und Pumpentechnik . . . . .	100
<b>3.3</b>	<b>Bewässerungswasser – quantitative und qualitative Anforderungen</b> . . . . .	<b>101</b>
3.3.1	Herkunft und Beschaffung . . . . .	101
3.3.2	Anforderungen an die Wasserqualität. . . . .	105
3.3.2.1	Schwebstoffgehalte . . . . .	105
3.3.2.2	Chemische Beschaffenheit . . . . .	106
3.3.2.3	Härtegrad . . . . .	106
3.3.2.4	Bewertung der Wasserbalance (Sättigungsgrad des Wassers) . . . . .	107
3.3.2.5	Gesamtsalzgehalt und die Salzkomponenten. . . . .	108
3.3.2.6	Regelmäßige Boden- und Wasseranalysen . . . . .	111
<b>3.4</b>	<b>Weinqualität und Bewässerung</b> . . . . .	<b>112</b>
3.4.1	Wassermengen und Bewässerungszeitpunkt . . . . .	113
3.4.2	Bewässerung differenziert nach Rebsorten . . . . .	114
3.4.3	Phytopanische Aspekte einer zusätzlichen Bewässerung . . . . .	123
3.4.4	Bewässerung in Junganlagen. . . . .	123
3.4.5	Bewässerung von Tafeltrauben . . . . .	124
3.4.5.1	Vermarktungsnormen für Tafeltrauben . . . . .	124

<b>4</b>	<b>Bewässerung und Düngung (Fertigation) im Weinbau</b> .....	<b>126</b>
4.1	Das Druckdifferenztank-Verfahren .....	128
4.2	Das Venturi-Injektoren-Verfahren .....	128
4.3	Das Dosierpumpen-Verfahren .....	129
4.4	Menge, Zusammensetzung und Bevorratung der Nährelement- Stammlösung .....	130
4.5	Bedarfsorientierte Düngung .....	134
<b>5</b>	<b>Bewässerung zur Frostabwehr</b> .....	<b>137</b>
<b>6</b>	<b>Planung von Bewässerungsanlagen</b> .....	<b>143</b>
6.1	Planungsgrundlagen .....	143
6.2	Planung von Gemeinschaftsanlagen .....	144
<b>7</b>	<b>Bewässerung im Weinbau – Arbeitsaufwand, Kosten, Effizienz</b> .....	<b>146</b>
<b>8</b>	<b>Ökologische Aspekte der Bewässerung im Weinbau</b> .....	<b>151</b>
8.1	Recycling gebrauchter PE-Tropfschläuche .....	156
<b>Anhang</b> .....		<b>157</b>
Checkliste für die Planung und Umsetzung von Bewässerungsprojekten .....		157
Literaturverzeichnis .....		158
Bildquellen .....		182
Sachregister .....		183
Impressum .....		190

## Vorwort

Gestern wie heute ist es das Ziel der Winzer, mit hochwertigen Trauben stabile Erträge bei der Weinbereitung zu erwirtschaften. Die gezielte Bewässerung, ggf. gekoppelt mit angepasster Düngung, kann hierzu einen nicht unerheblichen Beitrag leisten.

In den letzten 100 Jahren haben sich die Rahmenbedingungen für die Weinerzeugung stark verändert. Ein durchschnittliches Ertragsniveau von 80–90 hl/Hektar bei entsprechend hohem Zuckergehalt der Trauben war um das Jahr 1900 eine undenkbare Größe. Heute kann durch den Einsatz der entsprechenden Technik sowie Düng- und Pflanzenschutzmaßnahmen mit deutlich weniger Arbeitskraft und auf kleinerer Anbaufläche ein viel höheres Ertrags- und Qualitätsniveau erreicht werden.

Dass diese Entwicklung auch ihre Spuren hinterlässt, kann in der weinbaulichen Fachliteratur über die Jahrzehnte hinweg nachvollzogen werden. Oft treten die Folgen der intensiven Veränderungen am Bewirtschaftungssystem aber auch erst nach einigen Jahrzehnten ins Bewusstsein, wie sich bei manchen Flurbereinigungen oder dem zunehmenden Technikeinsatz und dessen Einwirkung auf die Bodenqualität zeigen lässt. Nicht selten ist die Bodenqualität dergestalt beeinträchtigt, dass aufgrund von Bodenverdichtung und mehr Oberflächenabfluss die betroffenen Standorte zunehmend trockener werden. Inzwischen zeigen sich aber auch in anderen, der weinbaulichen Traubenerzeugung nachgelagerten Bereichen, wie z. B. bei der Trinkwassergewinnung und der Hochwassersicherung,

zunehmend Auswirkungen dieser Intensivierung der Traubenerzeugung.

Weiterhin ging bzw. geht mit der Intensivierung der Traubenerzeugung offensichtlich auch eine Abnahme der Anpassungsfähigkeit des Systems Weinberg an extreme Wettersituationen einher. Ein Umstand, der vor dem Hintergrund einer prognostizierten Zunahme solcher Wettererscheinungen immer mehr ins Bewusstsein rückt und sich mancherorts auch schon mit Qualitäts- und Ertragseinbußen durch Bodenerosion, Trockenschäden, Beeinträchtigung der Beerenhaut (Sonnenbrandschäden an Weinbeeren) und plötzliche Fäulnis bemerkbar macht.

Eine großflächige Anpassung des derzeitigen Systems Weinberg und der Traubenerzeugung an die veränderten klimatischen Rahmenbedingungen ist notwendig, um längerfristig qualitativ hochwertig und nachhaltig wirtschaften zu können. Welchen Beitrag hierzu der Einsatz von Bewässerung bzw. der Aufbau von Bewässerungssystemen leisten kann, soll Thema des vorliegenden Buches sein.

Da die Bewässerung der Rebanlagen eine Veränderung der betrieblichen Abläufe und Investitionen bedeutet, ist es von Vorteil, die an die Traubenproduktion angrenzenden Bereiche Trinkwasserversorgung, Hochwasserschutz etc. bei der Planung mit einzubeziehen und gegebenenfalls brachliegende Potenziale zu nutzen.

Sulzfeld am Main  
Wolfgang Patzwahl

# 1 Allgemeiner Teil

Der Anbau von Kulturpflanzen ist abhängig von einer regelmäßigen Wasserzufuhr und von einer Bewirtschaftungsweise, die auf eine möglichst gleichmäßige Versorgung der Kulturpflanzen mit Wasser hin ausgerichtet ist. Die Wasserzufuhr erfolgt entweder über die Niederschläge oder über vom Menschen geschaffene Bewässerungssysteme. Die Hochkulturen der Antike z. B. wären ohne den Einsatz von Bewässerungssystemen nicht denkbar gewesen. So berichtet Platon in seinem Dialog *Kritias* über den Einsatz von Bewässerungssystemen, die exakt parzellierte Felder durch künstliche Kanäle mit ausreichend Wasser versorgten. Durch die Ausnutzung des Wassers aus den Niederschlägen im Winter einerseits und des Wassers aus den Kanälen im Sommer andererseits seien sogar zwei Ernten pro Jahr möglich gewesen. Verfielen derartige Bewässerungssysteme der Hochkulturen, folgte bald darauf deren Untergang.

Auch die Bewässerung im Anbau von Weinreben ist nichts grundlegend Neues. Sie ist wohl so alt wie die Kultur des Rebenanbaus selbst. So wurden in der alten ägyptischen Gartenkultur auch Weinreben zur Weinbereitung kultiviert. Im Zentrum des Gartens wurde dazu in einem Becken das Wasser gesammelt, welches zum Gießen Verwendung fand.

Der Wasserversorgung der Reben wurde auch in europäischen Weinbauregionen schon immer große Aufmerksamkeit gewidmet. Jedoch spielte die zusätzliche Bewässerung der Weinberge über viele Jahrhunderte hinweg eine eher untergeordnete

Rolle. Die Kulturmaßnahmen zur Sicherstellung der Wasserversorgung der Reben waren in diesen Gebieten überwiegend die Bearbeitung des Bodens und eine intensive Humuswirtschaft. Dies zeigt sich auch deutlich an den Flächenanteilen der bewässerten Anbauflächen. Im europäischen Weinbau werden derzeit ca. 10%, in Anbaugebieten außerhalb Europas ca. 82% der Rebflächen bewässert.

In jüngster Zeit gewinnt das Thema Bewässerung im Weinbau wieder zunehmend an Bedeutung. Befördert wird diese Entwicklung durch den Umstand, dass in den letzten Jahren offensichtlich mehrere Jahre mit verstärkter Trockenheit aufgetreten sind, in denen es in einigen Regionen und Weinlagen zu qualitativen und quantitativen Ertragseinbußen kam. Aber andererseits waren in den letzten Jahren in den Sommermonaten aufgrund hoher Variabilität der Wettersituationen – heute Temperaturen von ca. 23–25 °C und noch relativ kühl, am nächsten Tag Temperaturen von 30–35 °C und damit sehr heiß – auch immer häufiger Starkniederschlagsereignisse festzustellen, in deren Folge es in den während der Vegetationsperiode offen gehaltenen Rebgenossen auch nicht selten zu stärkeren Bodenerosionsereignissen (siehe Abb. 1) kam.

Bei Neupflanzungen traten in den letzten Jahren in vielen Regionen der deutschen Weinbaugebiete zunehmend Probleme beim Wachstum der jungen Pflanzen auf: die noch jungen Reben mit ihren noch nicht voll ausgebildeten Wurzelkörpern zeigten auf-



Abb. 1 Bodenerosion in einem Weinberg (Hangneigung ca. 19 %) der Weinberglage Sulzfelder Maustal nach einem Starkniederschlagsereignis am 9. Juli 2021.

grund fehlender Bodenfeuchte im Oberboden ein schlechteres und ungleichmäßigeres Wachstum. Nicht selten musste die fehlende Bodenfeuchte durch Bewässerungsmaßnahmen ausgeglichen werden, wobei das Wasser in der Regel mit dem Traktor, Wasserfass und Tropfschlauch unter hohem zeitlichem und finanziellem Aufwand in die Neuanlage gebracht wurde bzw. wird.

Obwohl der Einsatz von Bewässerung auf den ersten Blick als logische Antwort auf derlei klimatische Entwicklungen und daraus sich ergebenden Folgen erscheint, werden von den verschiedensten Akteuren der Weinwirtschaft die Möglichkeiten und der Nutzen einer zusätzlichen Bewässerung von Weinbergflächen noch immer sehr kontrovers diskutiert. Da gibt es auf der einen

Seite Winzer, die die Bewässerung von Weinreben als absolut nicht notwendig erachten. Sie argumentieren, dass die Rebe mit tiefgehendem Wurzelwerk sich schon ausreichend Wasservorkommen im Boden erschließen kann und ansonsten eben durch das Verkleinern der Blattfläche, das Anpassen (Reduzieren) des Ertrages und teilweises Entfernen der Begrünungskonkurrenz der Wasserkonsum der Rebanlagen entsprechend begrenzt werden kann, und so die Herausforderungen des Klimawandels zu bewältigen sind. Manche gehen dabei sogar soweit, dass sie durch Bewässerung das spezifische „Terroir“ einzelner Lagen oder ganzer Weinbauregionen gefährdet sehen.

Auf der anderen Seite gibt es aber auch Winzer, die die Notwendigkeit einer Bewä-

serungsmöglichkeit sehen, um die Herausforderungen aufgrund des Klimawandels und den dadurch wahrscheinlich folgenden Strukturwandel zumindest einigermaßen gestalten und meistern zu können. Sie sehen durch Bewässerung auch nicht das „Terroir“ einzelner Lagen und Weinbauregionen gefährdet, sondern für sie ist Bewässerung ein Baustein von vielen, um bestimmte, die Kulturlandschaft prägende Weinlagen trotz des Klimawandels in ihrer qualitativen und quantitativen Ertragsfähigkeit so gut es geht zu erhalten und betriebswirtschaftlich erfolgreichen Weinbau betreiben zu können.

Dass in manchen Weinbauregionen aus der Weinwirtschaft heraus dieser klare Bedarf zur Etablierung einer Bewässerungsmöglichkeit für Weinbergflächen vorgebracht und dafür sogar notwendige staatliche Förderung (= gesamtgesellschaftliche Unterstützung) eingefordert wird, nimmt zuletzt auch die Gesellschaft als Ganzes zunehmend wahr und diskutiert dies ebenfalls sehr kontrovers (von Zustimmung auf der einen Seite bis hin zu absoluter Ablehnung auf der anderen Seite).

Zusätzliche Bewässerung von Weinbergflächen – eine „Feuerwehrmaßnahme“ oder ein bedarfsorientiert eingesetzter Produktionsfaktor?

Die Betriebsart – ob Traubenerzeuger oder Selbstvermarkter – spielt bei diesen kontroversen Meinungen eine nicht unbedeutende Rolle. Aus Sicht eines Traubenerzeugers stellen sich Kosten und Nutzen einer Bewässerung anders dar als aus Sicht eines selbstvermarktenden Betriebes. Der traubenerzeugende Betrieb wird die zusätzliche Bewässerung von Weinbergen eher als „Feuerwehrmaßnahme“ begreifen, um in extre-

men Trockenjahren die Weinberge vor gravierenden Trockenschäden zu bewahren. Bedingt ist dies zum einen durch die Auszahlungsbedingungen vieler Genossenschaften, wodurch in erster Linie die Sicherung eines entsprechenden Ertragsniveaus mit möglichst geringem Aufwand im Blickfeld steht. Zum anderen zeigt sich, dass der traubenerzeugende Betrieb in der Regel weniger stark um die Innere Qualität – mit Ausnahme des Zuckergehalts – des Leseguts besorgt ist, da die einzelnen kleinen Partien in einer großen Menge unterschiedlicher Herkunft aufgehen und damit der Bezug zum entstehenden Endprodukt nicht so stark ist wie bei einem selbstvermarktenden Betrieb. Der selbstvermarktende Betrieb ist viel näher am Endprodukt Wein und am Weinkonsumenten und kann die mögliche Steigerung der Inneren Qualität auch eher in monetären Zugewinn umsetzen.

Die Konsumenten akzeptieren immer weniger jahresbedingte Schwankungen in der Weinqualität.

Deshalb kann aus Sicht des selbstvermarktenden Betriebes auch die Möglichkeit zur direkten Beeinflussung der Weinqualität in „normalen“ Jahren von Interesse sein. Dies vor allen Dingen unter dem Aspekt, dass die Bereitschaft der Weinkonsumenten, jahresbedingte Qualitätsschwankungen zu akzeptieren oder solche gar als interessant und spannend zu empfinden, zunehmend sinkt. Möglichst gleichbleibende und wiedererkennbare Qualitäten zu erzeugen, ist das Credo der Marketingstrategen der Weinwirtschaft angesichts der weltweiten Konkurrenzsituation.

Nicht weniger interessant, aber bei der genannten Diskussion oftmals nur zweit-rangig beachtet, sind die positiven Auswir-

kungen einer ausreichenden Wasserversorgung auf die Knospenbildung und Holzreife und damit auch auf die Fähigkeit, über den Winter und im Frühjahr Frostereignisse besser abzapfen und damit die mittel- bis langfristige Ertragsleistung einer Rebanlage günstiger gestalten zu können.

Bisher konnte man davon ausgehen, dass in den meisten Weinbaugebieten in etwa drei von zehn Jahren mit einem Sommer mit extremerer Trockenheit zu rechnen war. Das wird sich aufgrund des Klimawandels vermutlich genau ins gegenteilige Verhältnis ändern. Immer deutlicher deuten sich auch für die deutschen Weinbaugebiete die Folgen des Klimawandels an. Früherer Austrieb der Reben und dadurch bedingte Zunahme der Spätfrostgefahr, über die Jahre hinweg in der Tendenz höhere Zuckergehalte des Ernteguts und dadurch zu alkoholreichen Weinen bei gleichzeitigem Verlust an wertbestimmender Säure sind beispielhaft genannte, bereits jetzt wahrzunehmende Folgen.

Das Klima hat sich schon immer in irgendeiner Form geändert und der Weinbau hat sich an diese Veränderungen auch schon immer entsprechend angepasst. Neu an dem Klimawandel unserer Zeit ist jedoch, mit welcher enormen Geschwindigkeit und Intensität sich der Wandel der klimatischen Rahmenbedingungen (Standortfaktoren) in den Weinbauregionen in den letzten Jahren vollzogen hat und in den kommenden Jahren noch vollziehen wird. Und diese enorme Geschwindigkeit stellt die verschiedensten Agrarnutzungssysteme und vor allen Dingen die landwirtschaftlichen Dauerkulturen wie den Obstbau, Hopfenanbau und den Weinbau vor ganz besondere Herausforderungen.

### 1.1 Eckpunkte des Klimawandels

Klimaprojektionen auf der Basis von Computermodellen bilden die naturwissenschaftliche Grundlage für das heute sehr weitreichende Verständnis der Naturwissenschaften für die sehr komplexen Prozesse der klimatischen Entwicklung. Ausgehend von zunächst einfachen Energiebilanzmodellen hat die naturwissenschaftliche Klimaforschung zunehmend detailliertere Modelle des Klimasystems der Erde entwickelt. Bereits in den 1970er- und 1980er-Jahren konnte anhand dieser Modelle die derzeit ablaufende Erwärmung der Erdatmosphäre prognostiziert werden. Der in dem Sachstandsbericht des Weltklimarates (IPCC) aus dem Jahr 1990 für heute erwartete Korridor für den weltweiten Temperaturanstieg einerseits aber auch weitere Aussagen hinsichtlich der Zunahme von Dürreereignissen, Gletscherschmelze sowie der Anstieg der Meeresspiegel andererseits, sind real eingetreten. Es hat sich in vielfacher Hinsicht gezeigt, dass anhand moderner wissenschaftsbasierter Klimamodelle reale Klimaentwicklungen mit hinreichender Genauigkeit abgebildet werden können. Diese Klimamodelle sowie auch die technischen Grundlagen (Rechnerkapazität, Klimadatenmessung, u. a.) werden stetig weiterentwickelt, sodass die Validität der Aussagen ebenfalls kontinuierlich verbessert wird. Inzwischen erlauben die modernen wissenschaftsbasierten Klimamodelle neben globalen Klimaprojektionen auch Klimaprojektionen mit regionalem Bezug. Diese machen die bisherigen Veränderungen des Klimas, aber auch die künftigen Herausforderungen aufgrund des Klimawandels bewusster wahrnehmbar. Darauf aufbauend lassen sich für die verschiedensten Lebensbereiche auch konkrete Anpassungsstrategien und -konzepte entwickeln.

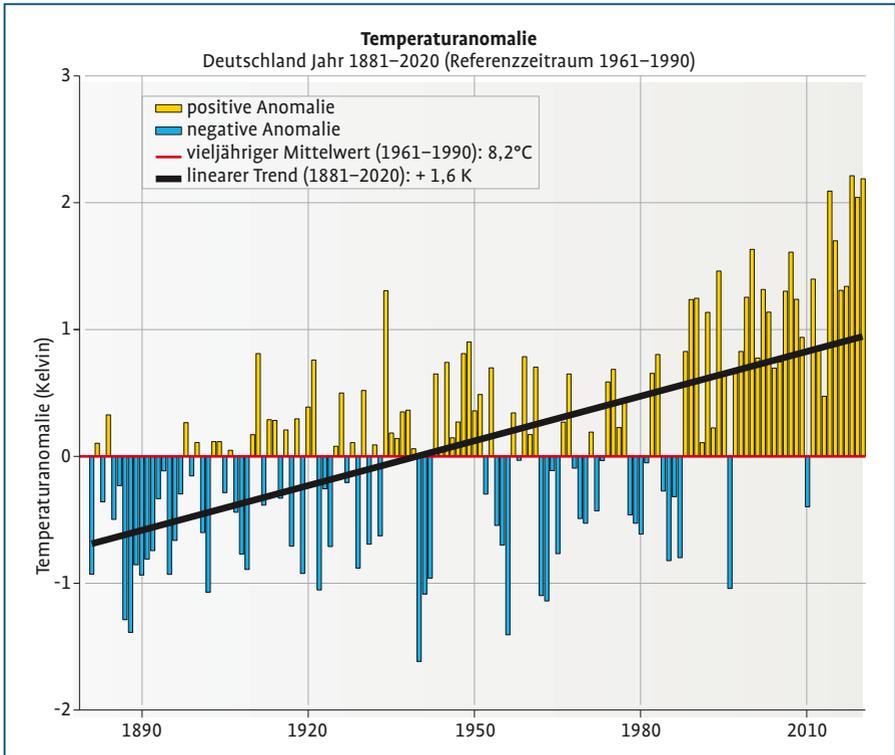


Abb. 2 DWD – Temperaturanomalien Deutschland Jahr 1881–2020 inkl. Trend.

Welcher Wandel hat sich in Deutschland und den deutschen Weinbauregionen hinsichtlich des Klimas in den letzten Jahren vollzogen, und welche Veränderungen sind in Bezug auf die verschiedensten klimatischen Parameter in nächsten Jahren und Jahrzehnten aufgrund des Klimawandels zu erwarten?

### 1.1.1 Klimaparameter Temperatur

Hinsichtlich des Parameters Temperatur zeigt sich, dass der Trend zu einem wärmeren Klima in Deutschland ungebrochen ist. Seit 1881 werden für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland systematische,

flächendeckende Wetteraufzeichnungen durchgeführt. In diesem nunmehr 140-jährigen Betrachtungszeitraum hat sich die mittlere Temperatur der bodennahen Luft bereits deutlich erwärmt.

Die auf realen Messdaten beruhende Datengrundlage des Deutschen Wetterdienstes zeigt für den Zeitraum 1881–2020 für Deutschland einen eindeutigen Trend zu höheren Temperaturen (siehe Abb. 2).

Betrachtet man die Daten etwas detaillierter, so lässt sich erkennen, dass die Dekade 2011–2020 rund 1,9°C wärmer war als die ersten Jahrzehnte (1881–1910) der Aufzeichnungen (siehe Abb. 3). Sowohl der Temperaturanstieg absolut als auch die

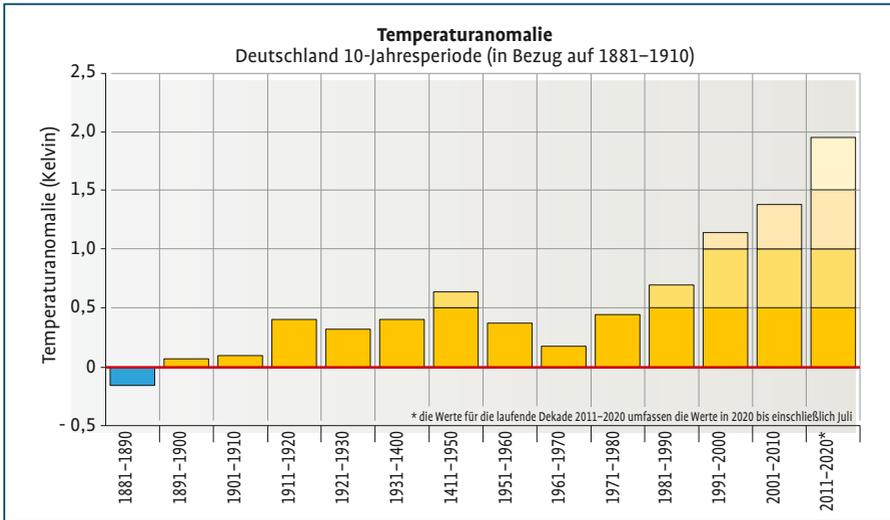


Abb. 3 DWD – Temperaturanomalien der 10-Jahresperioden Deutschland in Bezug auf 1881-1910.

Erwärmungsrate pro Dekade ist in Deutschland im Vergleich zum globalen Durchschnitt deutlich höher. Über den Gesamt-

zeitraum 1881–2019 betrachtet wurde es jedes Jahrzehnt um 0,11 °C wärmer. Die Zunahme erfolgte jedoch nicht linear. Seit den 1970er Jahren war jede neue Dekade deutlich wärmer als die Dekade zuvor und in den letzten 50 Jahren (1970–2019) war die Erwärmungsrate mit 0,37 °C pro Dekade mehr als dreimal so hoch (siehe Abb. 3).

Darüber hinaus ist seit dem Jahr 2000 eine deutliche Häufung von „Wärme-Rekordjahren“ festzustellen. In Tabelle 1 sind die zehn wärmsten Jahre in Deutschland seit dem Beginn der Aufzeichnungen im Jahr 1881 aufgeführt. Von diesen zehn wärmsten Jahren liegen neun Jahre (in Tab. 1 hellgrau hinterlegt) im Zeitraum 2000 bis 2019. Die Abweichungen in Bezug auf den Vergleichszeitraum 1881–1910 liegen in diesen neun Jahren zwischen +1,8 °C und +2,7 °C.

Der Deutsche Wetterdienst schätzt auf Basis der Datengrundlagen diesen klaren Trend zu höheren Temperaturen zumindest

Tab. 1 Die zehn wärmsten Jahre in Deutschland seit Beginn der Aufzeichnungen im Jahr 1881 (Deutscher Wetterdienst 2021)

Rang	Jahr	Abweichung (in Bezug auf 1881-1910)
1	2018	+ 2,7°C
2	2019	+ 2,5°C
3	2014	+ 2,5°C
4	2015	+ 2,1°C
5	2007	+ 2,1°C
6	2000	+ 2,1°C
7	1994	+ 1,9°C
8	2017	+ 1,8°C
9	2011	+ 1,8°C
10	2002	+ 1,8°C

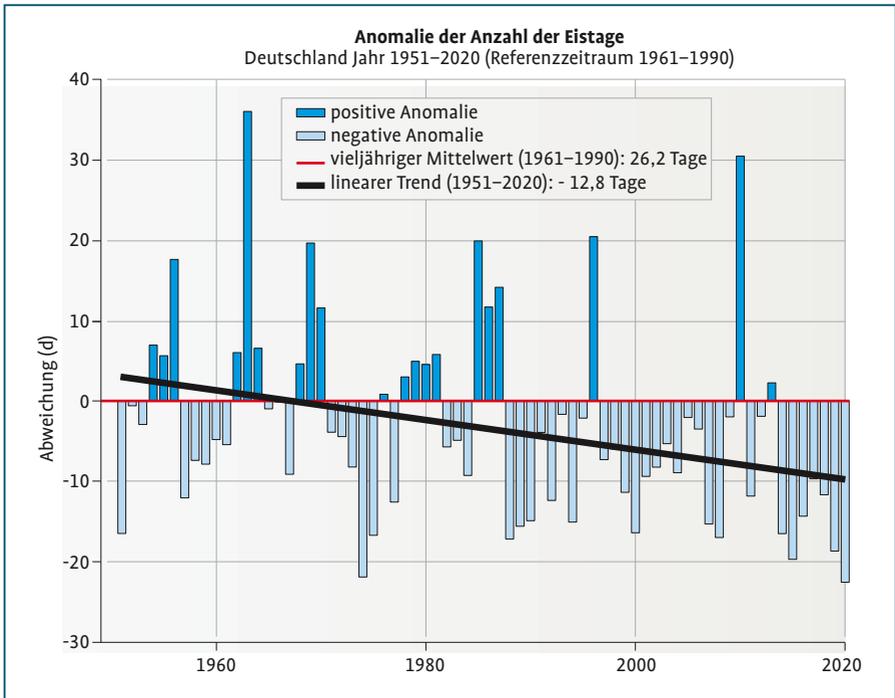


Abb. 4 DWD – Anomalie der Anzahl der Eistage in Deutschland im Zeitraum 1951–2020 im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961–1990.

für die kommenden 100 Jahre als unumkehrbar ein. Eine Prognose, die aus pflanzenbaulicher Sicht sehr nachdenklich stimmt.

Nimmt man nun den Vergleichszeitraum 1971–2000 als Basis für eine Klimaprojektion hinsichtlich des Parameters „mittlere Jahresdurchschnittstemperatur“, so ist für den Zeitraum 2021–2050 in den Weinbaugebieten Deutschlands eine weitere Zunahme der Jahresdurchschnittstemperatur zwischen 0,8°C und 1,7°C zu erwarten.

Betrachtet man detaillierter, in welchen Zeiträumen des Jahres sich welche Temperaturveränderungen mit hoher Wahrscheinlichkeit einstellen werden, so zeigt sich, dass sowohl das Frühjahr, der Sommer, der

Herbst als auch der Winter von einer Temperaturerhöhung betroffen sind. Gerade auch die zu erwartende Erhöhung der durchschnittlichen Temperaturen in den Wintermonaten sind aus pflanzenbaulicher Sicht bedenklich, worauf bei den Ausführungen zu den Niederschlägen näher eingegangen wird.

Im Zusammenhang mit dem Parameter Temperatur ist auch hinsichtlich der Häufigkeit der klimatologischen Kenntage (a) Eistag, (b) Frosttag, (c) Sommertag und (d) Heißer Tag/Hitzetag mit deutlichen Veränderungen zu rechnen. Nachfolgend zunächst eine kurze Definition dieser genannten Kenntage:

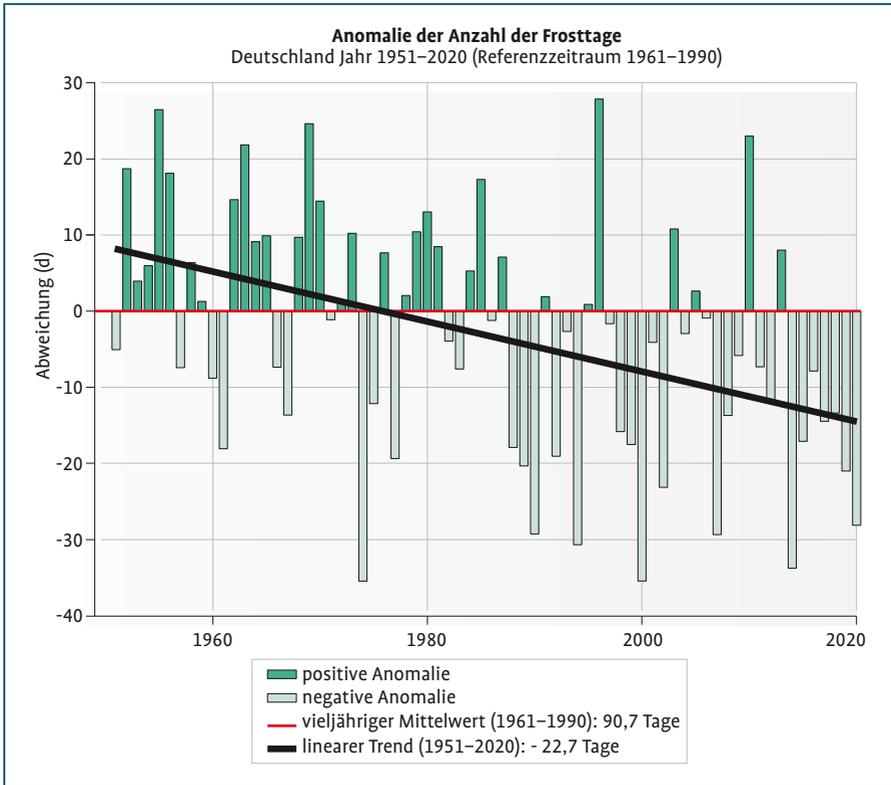


Abb. 5 DWD – Anomalie der Anzahl der Frosttage in Deutschland im Zeitraum 1951–2020 im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961–1990.

- Eistag = ein Tag, an dem das Maximum der Lufttemperatur unterhalb des Gefrierpunktes (unter  $0^{\circ}\text{C}$ ) liegt, d. h. es herrscht durchgehend Frost.
- Frosttag = ein Tag, an dem das Minimum der Lufttemperatur unterhalb des Gefrierpunktes ( $0^{\circ}\text{C}$ ) liegt (ohne Beachtung des Lufttemperatur-Maximums).
- Sommertag = ein Tag, an dem das Maximum der Lufttemperatur  $\geq 25^{\circ}\text{C}$  beträgt.
- Heißer Tag/Hitzetag = ein Tag, an dem das Maximum der Lufttemperatur  $\geq 30^{\circ}\text{C}$  beträgt.

Die Messdaten des Deutschen Wetterdienstes zeigen für den Zeitraum 1951–2020 im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961–1990 eine eindeutige Abnahme der Anzahl der Eistage (siehe Abb. 4) in Deutschland. Die mittlere Anzahl der Eistage sank von durchschnittlich 28 pro Jahr in den 1950er-Jahren auf durchschnittlich 19 pro Jahr im Zeitraum 1991–2019.

Auch bei der Anzahl der Frosttage ist für den Zeitraum 1951–2020 im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961–1990 eine eindeutige Abnahme festzustellen (siehe Abb. 5).

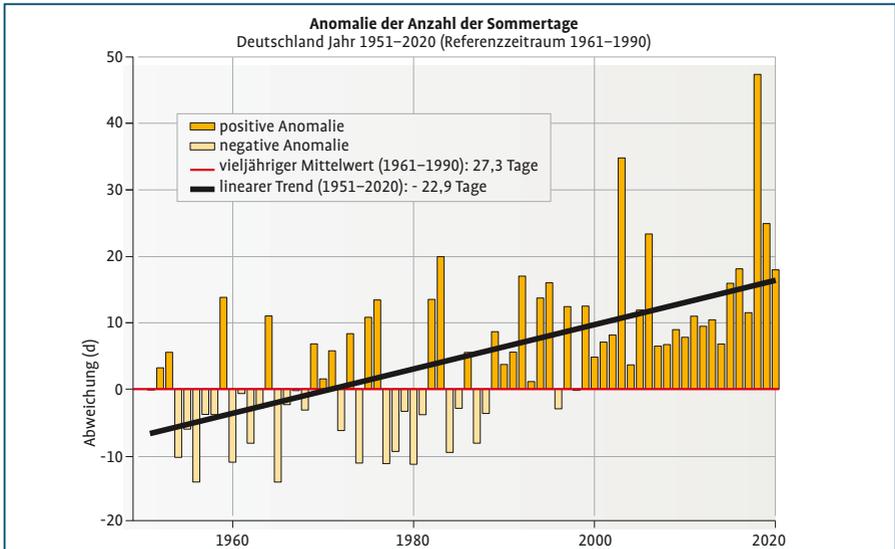


Abb. 6 DWD – Anomalie der Anzahl der Sommertage in Deutschland im Zeitraum 1951–2020 im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961–1990.

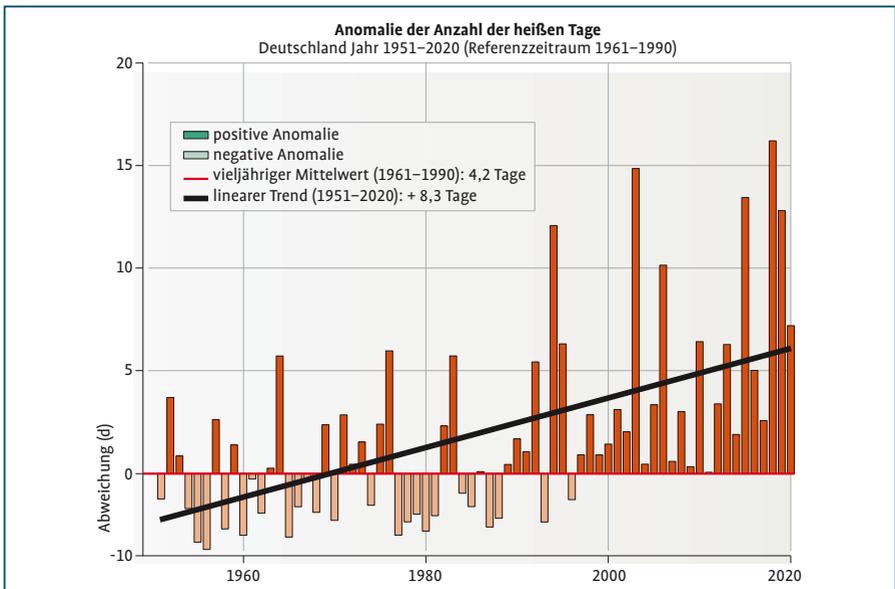


Abb. 7 DWD – Anomalie der Anzahl der Heißen Tage/Hitzetage in Deutschland im Zeitraum 1951–2020 im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961–1990.

Bei den klimatologischen Kenntagen Sommertag und Heißer Tag/Hitzetag zeigen die Messdaten des Deutschen Wetterdienstes für den Zeitraum 1951–2020 im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961–1990 einen umgekehrten Trend: die Anzahl dieser beiden Kenntage nimmt in Deutschland deutlich zu (siehe Abb. 6 und Abb. 7). Noch in den 1950er-Jahren gab es im Mittel pro Jahr ca. 3 Heiße Tage/Hitzetage. Betrachtet man den Zeitraum 1991–2019, so ist die durchschnittliche Anzahl Heißer Tage/Hitzetage pro Jahr im Mittel auf 8,8 Tage pro Jahr angestiegen; ebenso haben die Häufigkeit und Intensität von Hitzewellen seit 1990 zugenommen.

Die Klimaprojektionen für den Zeitraum 2021–2050 zeigen bezüglich der genannten klimatologischen Kenntage folgende Entwicklung: Es wird in Deutschland einen weiteren Rückgang der Eistage und Frosttage geben und eine deutliche Zunahme der Sommertage und Heißen Tage/Hitzetage pro Jahr.

Auf einen einfachen Nenner zusammengefasst bedeutet das: „Mehr Hitze – weniger Frost“.

Doch bedeutet dies nicht zwingend, dass die Frostgefahr abnimmt. Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Winterfrostschäden in Dauerkulturen – wie dem Weinbau – wird zwar in der Tendenz abnehmen, jedoch wird das Spätfrostisiko in solchen Dauerkulturen durch Verfrühung des Beginns der Vegetationsperiode in der Tendenz eher zunehmen. Es wird also notwendig werden, sich künftig auch intensiver mit dem Thema Spätfrost und den Möglichkeiten seiner Abwehr zu befassen.

### 1.1.2 Klimaparameter Niederschlag

Seit dem Beginn der Aufzeichnungen 1881 hat die mittlere jährliche Niederschlagsmenge in Deutschland um rund 10% zugenommen (siehe Abb. 8).

Dieser Anstieg verteilt sich jedoch nicht gleichmäßig auf die verschiedenen Jahreszeiten, vielmehr haben insbesondere in den Wintermonaten die Niederschläge zugenommen, während sie in den Sommermonaten geringfügig zurückgegangen sind.

Und weiterhin ist in Folge der Temperaturzunahme in den Wintermonaten eine Verminderung des Schneeanteils an den Niederschlägen zu verzeichnen. Die Niederschläge fallen in diesem Zeitraum zunehmend als Regen. Abbildung 9 zeigt dies am Beispiel der Aufzeichnungen der Klimadaten am Standort Trier-Petrisberg: seit 1948 fielen dort in den Wintermonaten zunehmend mehr Niederschläge als Regen bei Lufttemperaturen oberhalb 3°C.

Tabelle 2 bestätigt diesen Trend auf der Basis der Analyse für die Klimaaufzeichnungen an der Klimastation Trier-Petrisberg.

Diese Veränderungen haben natürlich auch deutlichen Einfluss auf den Bodenwasserhaushalt in den Wintermonaten. Obwohl die Winterniederschläge insgesamt in der Menge eher zugenommen haben, zeigten sich in den letzten Jahren zunehmend Schwierigkeiten hinsichtlich der Regeneration des Bodenwasservorrats über die Wintermonate, und das in den verschiedensten Regionen. In den letzten Jahren bereitet ein trockener Oberboden, der bereits im Frühjahr auftritt, bei der Aussaat und dem Saataufgang landwirtschaftlicher Kulturen immer häufiger Probleme. Nicht selten treten dadurch auch im Weinbau in den frühen Entwicklungsphasen Probleme mit Trockenheit auf. Dies gilt vor allen Dingen für Neupflanzungen und Junganlagen, denn

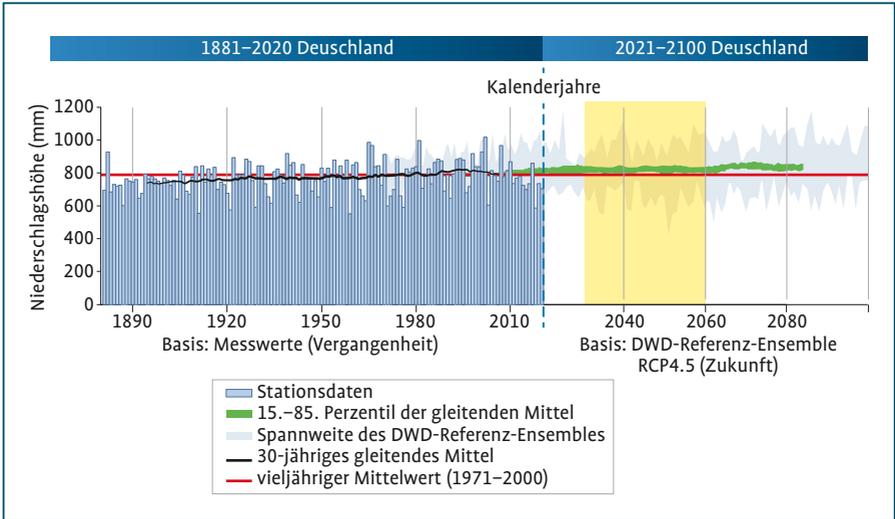


Abb. 8 DWD – 30-jähriges gleitendes Mittel der Niederschlagshöhe (Deutschland) seit Beginn der Aufzeichnungen 1881 sowie zukünftige Entwicklung unter Berücksichtigung des Emissionsszenarios RCP4.5 (Zeitfenster: 2030–2060).

die jungen Reben haben ihre Wurzelkörper noch nicht voll ausgebildet und müssen deshalb das für den Stoffwechsel notwendige Wasser vorwiegend aus der oberen Bodenschicht beziehen.

Sowohl die Änderungen hinsichtlich des Niederschlags und seiner jahreszeitlichen Verteilung als auch die Veränderungen hinsichtlich der Lufttemperatur wirken sich auf

die sogenannte Evapotranspiration (ET) – die Verdunstung von Wasser aus dem Boden direkt und aus dem Boden über die Pflanze – aus. Die durch den Klimawandel ansteigenden Temperaturen führen dabei zu höheren potenziellen Evaporationsraten (ETP). Wie verschiedenste Klimaprojektionen zeigen, ist in den nächsten 10–20 Jahren mit einer Zunahme der potenziellen

Tab. 2 Relative Häufigkeit ausgewählter ww-Gruppen bezüglich aller gemeldeten Niederschläge, ww-Gruppen und Vorzeichen des Trends; Klimastation Trier-Petrisberg 1949–1998 (Helbig 2003)

SYNOP ww-Gruppe	Jahr, rel. Häufigkeit [%]	Vorzeichen Trend	Wintermonate, rel. Häufigkeit [%]	Vorzeichen Trend
50–55 Sprühregen	13,6	neg.	18,2	neg.
60–65 Regen	52,8	pos.	40,2	pos.
70–75 Schnee	9,3	neg.	18,7	neg.
80–85 Schauer	8,8	neg.	3,8	pos.
91–99 Gewitter	2,6	neg.	0,1	pos.