

Endbericht

Vorhabenbezeichnung:

"Definition von Extremwetterlagen bei Sonderkulturen des Wein-, Obst-, Hopfen- und Gemüseanbaus sowie die Abschätzung von Ursache-Wirkungsbeziehungen bei diesen Kulturen" im Verbundprojekt "Agrarrelevante Extremwetterlagen und Möglichkeiten von Risikomanagementsystemen"

Kurztitel: „Agrarrelevante Extremwetterlagen - Sonderkulturen“

Förderkennzeichen: 2813HS002

BLE-Aktenzeichen: 314-06.01-2813HS002

Laufzeit: 01.10.2013 - 31.03.2015

Zuwendungsempfänger: Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum (DLR) Rheinpfalz¹
Abteilung Phytomedizin
Breitenweg 71, 67435 Neustadt/Weinstraße

Projektleitung: Dr. Friedrich Louis¹, Dr. H.-J. Krauthausen¹

Projektbearbeitung: Dr. Sandra Krengel¹

Berichtszeitraum: 01.10.2013 - 31.03.2015

Zusammenarbeit mit anderen Stellen:

Im Teilprojekt „Agrarrelevante Extremwetterlagen - Sonderkulturen“

Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee, Bavendorf²

Esteburg Obstbauzentrum, Jork³

Landesanstalt für Landwirtschaft Bayern, Hüll⁴

Im Verbundprojekt „Agrarrelevante Extremwetterlagen“

Thünen-Institut⁵, Braunschweig

Julius Kühn-Institut⁶, Kleinmachnow

Deutscher Wetterdienst⁷, Braunschweig

Autoren: Dr. Sandra Krengel¹, Dr. Friedrich Louis¹, Dr. Hermann-Josef Krauthausen¹

Unter Mitwirkung von

Julia Wimmer², Dr. Christian Scheer², Julia Bahlo³, Joerg Hilbers³, Marina Jereb⁴, Wolfgang Sichelstiel⁴, Dr. Horst Gömann⁵, Prof. Dr. Bernd Freier⁶, Dr. Cathleen Frühauf⁶

Inhaltsverzeichnis	Seite
I. Abkürzungsverzeichnis	III
II. Abbildungsverzeichnis	IV
III. Tabellenverzeichnis	VII
1. Ziele und Aufgabenstellung	1
1.1. Planung und Ablauf des Vorhabens	1
1.2 Wissenschaftlich-technischer Stand, an den angeknüpft wurde	3
2. Material und Methoden	4
2.1 Literaturrecherche	5
2.2 Expertenbefragungen	5
2.3 Schwellenwertdefinition und -abfrage	7
2.4 Auswertung vorhandener Daten	8
2.4.1 Apfel	8
2.4.2 Wein	9
2.4.3 Hopfen	9
3. Ergebnisse	11
3.1 Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse	11
3.1.1 Literaturrecherche und Expertengespräche	11
3.1.1.1 Allgemeines zum Anbau von Dauerkulturen	11
3.1.1.1.1 Apfel	12
3.1.1.1.2 Wein	18
3.1.1.1.3 Hopfen	23
3.1.1.2 Allgemeines zum Anbau von Gemüse	26
3.1.1.2.1 Spargel (Bleichspargel)	27
3.1.1.2.2 Speisezwiebel	30
3.1.1.2.3 Möhre	32
3.1.1.2.4 Weiß- und Rotkohl	33
3.1.1.3 Auswirkungen Extremwetterlagen	35
3.1.1.3.1 Hagel	35
3.1.1.3.2 Spätfrost	38
3.1.1.3.3 Trockenheit und Extreme Dürre	40
3.1.1.3.4 Überschwemmung und Staunässe	42
3.1.1.3.5 Dauerregen und Starkregen	45
3.1.1.3.6 Hitze	47
3.1.1.3.7 Kahl-/Winterfrost	48
3.1.1.3.8 Sturm	49
3.1.1.3.9 Frühfrost	50
3.1.1.3.10 Nassschnee	50
3.1.1.3.11 Sonstige relevante Extremwetterlagen	51
3.1.2 Experteneinschätzungen zur Relevanz	51
3.1.2.1 Apfel	51

3.1.2.2 Wein	57
3.1.2.3 Hopfen	60
3.1.3.4 Gemüse	63
3.1.3 Schwellenwerte und Schwellenwertabfragen	69
3.1.3.1 Apfel	69
3.1.3.2 Wein	73
3.1.3.3 Hopfen	77
3.1.3.4 Gemüse	80
3.1.3.4.1 Spargel	80
3.1.3.4.1 Speisezwiebel	82
3.1.3.4.3 Möhren	85
3.1.3.4.4 Weiß- und Rotkohl	88
3.1.3.5 Sonstige relevante Extremwetterlagen	91
3.1.3.5.1 Strahlungsintensität	91
3.1.4 Auswertung vorhandener Daten	91
3.1.4.1 Apfel	91
3.1.4.2 Weinbau	94
3.1.4.3 Hopfenbau	100
3.1.5 Anpassungsoptionen	107
3.1.5.1 Dauerkulturen	107
3.1.5.2 Gemüse	117
3.2 Voraussichtlicher Nutzen und Verwendbarkeit der Ergebnisse	119
4. Zusammenfassung der Ergebnisse	119
4.1 Apfel	120
4.2 Wein	121
4.3 Hopfen	122
4.4 Gemüsebau	123
5. Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen, ggf. mit Hinweisen auf weiterführende Fragestellungen	123
6. Literaturverzeichnis	125
7. Danksagung	129
8. Anhang	131

I. Abkürzungen

Symbol/Abkürzung	Bedeutung
&	und
° C	Grad Celsius
° Oe	Grad Oechsle
a	Jahr
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
d	Tag
dt	Dezitonnen
ggü.	gegenüber
h	Stunde
ha	Hektar
kg	Kilogramm
L	Liter
M	Monat
mm	Millimeter
sog.	sogenannt
Tmax	Maximumtemperatur
Tmean	mittlere Temperatur
Tmin	Minimumtemperatur
u	Windgeschwindigkeit (hier: Tagesmittelwert)
u.a.	unter anderem
vs.	versus
Vgl.	Vergleich
w	Woche

II. Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

Tabellennummer und -titel	Seite
Tabelle 1 Schematische Darstellung zur Planung und zum Ablauf des Vorhabens	2
Tabelle 2 Anzahl durchgeführter Befragungen in den Kulturen Apfel, Wein, Hopfen und Gemüse und Angabe zu den einbezogenen Anbaugebieten	6
Tabelle 3 Vorgehensweise bei der Definition ertragsrelevanter Schwellenwerte am Beispiel Kahl-/Winterfrost, Frühfrost und Trockenheit im Weinbau	7
Tabelle 4 Klassifizierung der Sorten nach Austriebszeitpunkt basierend auf Angaben der „Beschreibenden Sortenliste Reben“ des Bundessortenamtes (2008) und Experteneinschätzungen durch die Weinbauberatung am DLR Rheinpfalz, Neustadt/Weinstr.	10
Tabelle 5 Angebaute Apfelsorten in 2014 (nach Erntemengen absteigend sortiert) in den Bundesländern Baden-Württemberg und Niedersachsen	14
Tabelle 6 Bedeutendste Krankheiten und tierische Schaderreger im Apfelanbau (nach Friedrich et al. 1992; Fischer et al. 2002 und Freier et al. 2013)	18
Tabelle 7 Hektarertragsregelung und ihre Umsetzung in den deutschen Weinanbaugebieten (Quelle: „Aktuelles Weinrecht“, Deutsches Weininstitut 2014)	20
Tabelle 8 Bedeutendste Krankheiten und tierische Schaderreger im Weinbau (Quellen: Freier et al. 2013 und Vitipendium 2014)	23
Tabelle 9 Bedeutendste Krankheiten und tierische Schaderreger im Hopfenbau (Quelle: LfL Bayern 2009 und Freier et al. 2013)	26
Tabelle 10 Zusammenfassung der wichtigsten Kulturtechnischen Auswirkungen von Extremwetterlagen im Gemüseanbau	27
Tabelle 11 Kulturarbeiten in einer Bleichspargel-Ertragsanlage im Jahresverlauf (nach Wonneberger & Keller 2004)	29
Tabelle 12 Bedeutendste Krankheiten und tierische Schaderreger in Bleichspargel (Quellen: Crüger et al. 2002; Vogel 1996; Wonneberger & Keller 2004; Hortipendium 2014)	29
Tabelle 13 Bedeutendste Krankheiten und tierische Schaderreger in Speisezwiebeln (Quellen: Crüger et al. 2002; Vogel 1996; Wonneberger & Keller 2004; Hortipendium 2014)	31
Tabelle 14 Bedeutendste Krankheiten und tierische Schaderreger in Möhren (Quellen: Crüger et al. 2002; Vogel 1996; Wonneberger & Keller 2004; Hortipendium 2014)	33
Tabelle 15 Bedeutendste Krankheiten und tierische Schaderreger in Weiß- und Rotkohl (Quellen: Crüger et al. 2002; Vogel 1996; Wonneberger & Keller 2004; Hortipendium 2014)	35
Tabelle 16 Expertenbewertungen zur Relevanz von Extremwetterlagen im Apfelanbau, auf Basis von Befragungen* unter Beratern und Praktiker in den Anbaugebieten „Niederelbe“ (n=18) und „Bodensee“ (n=26) berechnete Ränge, mittlere Rangnoten (RN) ± Standardabweichung (SD)	52

Tabellenummer und -titel	Seite
Tabelle 17 Expertenbewertungen zur Relevanz von Extremwetterlagen im Weinbau, auf Basis von Befragungen* unter Beratern und Praktiker in den Anbaugebieten „Pfalz“ (n=6), „Rheinhessen“ (n=7) und „Franken“ (n=6) berechnete Ränge, mittlere Rangnoten (RN) ± Standardabweichung (SD)	57
Tabelle 18 Expertenbewertungen zur Relevanz von Extremwetterlagen im Hopfenbau, auf Basis von Befragungen* unter Beratern und Praktiker im Anbaugebiet „Hallertau“ (n=34) berechnete Ränge, mittlere Rangnoten (RN) ± Standardabweichung (SD)	60
Tabelle 19 Expertenbewertungen zur Relevanz von Extremwetterlagen im Gemüsebau, auf Basis von bundesweiten Befragungen* unter Beratern und Praktiker zu Spargel (n=12), Speisezwiebel (n=13), Möhre (n=11) sowie Weiß- und Rotkohl (n=11) berechnete Ränge, mittlere Rangnoten (RN) ± Standardabweichung (SD)	63
Tabelle 20 Auf Basis von Litertaturrecherchen und Expertenbefragungen definierte Schwellenwerte, die entsprechende Indikatoreinheit, die sensitiven Zeiträume, der Trend Vergangenheit (1961-2010, Quelle: DWD) und der Trend Zukunft (Veränderungstendenz 2071-98 ggü. 1692-90 laut Abfragen Klimamodellprognosen, Quelle: DWD) im Apfelanbau	72
Tabelle 21 Auf Basis von Litertaturrecherchen und Expertenbefragungen definierte Schwellenwerte, die entsprechende Indikatoreinheit, die sensitiven Zeiträume, der Trend Vergangenheit (1961-2010, Quelle: DWD) und der Trend Zukunft (Veränderungstendenz 2071-98 ggü. 1692-90 laut Abfragen Klimamodellprojektionen, Quelle: DWD) im Weinbau	76
Tabelle 22 Auf Basis von Litertaturrecherchen und Expertenbefragungen definierte Schwellenwerte, die entsprechende Indikatoreinheit, die sensitiven Zeiträume, der Trend Vergangenheit (1961-2010, Quelle: DWD) und der Trend Zukunft (Veränderungstendenz 2071-98 ggü. 1692-90 laut Abfragen Klimamodellprojektionen, Quelle: DWD) im Hopfenbau	79
Tabelle 23 Auf Basis von Litertaturrecherchen und Expertenbefragungen definierte Schwellenwerte, die entsprechende Indikatoreinheit, die sensitiven Zeiträume, der Trend Vergangenheit (1961-2010, Quelle: DWD) und der Trend Zukunft (Veränderungstendenz 2071-98 ggü. 1692-90 laut Abfragen Klimamodellprojektionen, Quelle: DWD) im Spargelanbau	81
Tabelle 24 Auf Basis von Litertaturrecherchen und Expertenbefragungen definierte Schwellenwerte, die entsprechende Indikatoreinheit, die sensitiven Zeiträume, der Trend Vergangenheit (1961-2010, Quelle: DWD) und der Trend Zukunft (Veränderungstendenz 2071-98 ggü. 1692-90 laut Abfragen Klimamodellprojektionen, Quelle: DWD) im Speisezwiebelanbau	84

Tabellennummer und -titel	Seite
Tabelle 25 Auf Basis von Litertaturrecherchen und Expertenbefragungen definierte Schwellenwerte, die entsprechende Indikatoreinheit, die sensitiven Zeiträume, der Trend Vergangenheit (1961-2010, Quelle: DWD) und der Trend Zukunft (Veränderungstendenz 2071-98 ggü. 1692-90 laut Abfragen Klimamodellprojektionen, Quelle: DWD) im Möhrenanbau	87
Tabelle 26 Auf Basis von Litertaturrecherchen und Expertenbefragungen definierte Schwellenwerte, die entsprechende Indikatoreinheit, die sensitiven Zeiträume, der Trend Vergangenheit (1961-2010, Quelle: DWD) und der Trend Zukunft (Veränderungstendenz 2071-98 ggü. 1692-90 laut Abfragen Klimamodellprojektionen, Quelle: DWD) im Weiß- und Rotkohlanbau	90
Tabelle 27 Überblick zu Extremwetterschäden und Schadausmaß im Weinanbaugebiet „Pfalz“ für den Zeitraum 2004 bis 2013 (Quelle: Schadensmeldungen, DLR Rheinpfalz)	95
Tabelle 28 a, b Mittlere Erträge (Mean, kg/ha); mittlere Standardabweichung (SD) und Anzahl Flächen (n) der weißen (a) und roten (b) Rebsorten in den Jahren 2010 bis 2013 (Datenquelle: anonym, Anbaugebiet „Pfalz“)	97
Tabelle 29 a, b Mittlere Mostgewichte (Mean, °Oe); mittlere Standardabweichung (SD) und Anzahl Flächen (n) der weißen (a) und roten (b) Rebsorten in den Jahren 2010 bis 2013 (Datenquelle: anonym, Anbaugebiet „Pfalz“)	98
Tabelle 30 Codierung der in Abbildung 42 aufgeführten Bodenarten (Datenquelle: BÜK1000, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe)	104
Tabelle 31 Mittlere (Mean), minimale (Min), maximale (Max) Hangneigung (%) und Standardabweichung (SD) auf Hopfenflächen der Gemeinden „Pfeffenhausen“ und „Hersbruck“ im Vergleich zu den Hopfenflächen des restlichen Anbaugebietes „Hallertau“ (Datenquelle: DGM2, Bundesamt für Kartographie und Geodäsie)	104
Tabelle 32 Maßnahmen zur Vorbeugung und Abwehr von Extremwetterschäden bzw. Minimierung der finanziellen Verluste im Dauerkulturanbau, deren Vor- (Pro) und Nachteile (Contra)	107
Tabelle 33 Maßnahmen zur Vorbeugung und Abwehr von Extremwetterschäden bzw. Minimierung der finanziellen Verluste im Gemüsebau (nach Vogel 1996; Krug et al. 2003; Wonneberger & Keller 2004; Expertenbefragungen DLR 2014; Hortipendium 2014)	117

III. Abbildungsverzeichnis

Abbildungsnummer und -titel	Seite
Abbildung 1 Schema zum Entwicklungsrythmus von Blütenknospen an Obstgehölzen (nach Friedrich et al. 1992 und Zeller 1934)	12
Abbildung 2 Schema zur Ertragsbildung in Obstgehölzen (nach Friedrich et al. 1992 und Handschack & Schmidt 1985)	13
Abbildung 3 Vergleich des Wasserbedarfs von Apfel, Birne und Pfirsich in Abhängigkeit von der mittleren Temperatur im Zeitraum Mai bis September (nach Friedrich 1993)	15
Abbildung 4 a, b Erreichen der Stadien Blühbeginn (BBCH 61), Vollblüte (BBCH 65) und Blühende (BBCH 69) der Apfelsorte „Golden Delicious“ am Standort a) Ravensburg (Bodensee) und b) Jork (Niederelbe) inklusive Trend (linear) und Bestimmtheitsmaß (R^2) (Datenquellen: KOB Bavendorf & OVR Jork)	16
Abbildung 5 Erträge (n=48) der Apfelsorten „Elstar“, „Jonagold“, „Fuji“, „Idared“, „Gala“, „Kanzi“ und „Braeburn“ im Anbaugebiet „Bodensee“ (3 - 12 Standjahr, Standort Bavendorf) (Datenquelle: KOB Bavendorf)	17
Abbildung 6 Wuchskraftbeeinflussende Faktoren bei Reben (nach Müller et al. 2000)	19
Abbildung 7 Erreichen der Stadien Knospenschwellen (BBCH 01), Austrieb (BBCH 09), Blühbeginn (BBCH 61), Erbsengröße (BBCH 75) und Reifebeginn (BBCH 81) der Rebsorte „Riesling“ am Standort Neustadt/Weinstraße (Anbaugebiet Pfalz) inklusive Trend (linear) und Bestimmtheitsmaß (R^2) (Datenquelle: DLR Rheinpfalz Neustadt/Weinstr.)	22
Abbildung 8 a-d Erreichen der Stadien Blühbeginn (BBCH 61), Vollblüte (BBCH 65), Beginn Ausdoldung (BBCH 71) und Vollreife (BBCH 89) der Hopfensorten „Hallertauer Mittelfrüh“ (a), „Perle“ (b), „Hallertauer Tradition“ (c) und „Hallertauer Magnum“ (d) am Standort Hüll (Anbaugebiet Hallertau) in den Jahren 1998 bis 2014 (Datenquelle: LfL Bayern, Hüll)	25
Abbildung 9 Experteneinschätzung zum Risiko für Schädigungen durch Extremwetterlagen im Apfelanbau im Anbaugebiet „Niederelbe“ (n=18)	54
Abbildung 10 Experteneinschätzung zum Risiko für Schädigungen durch Extremwetterlagen im Apfelanbau im Anbaugebiet „Bodensee“ (n=26)	55
Abbildung 11 Aus Expertenbewertungen berechnete extremwetterlagenspezifische Risikowerte für den Apfelanbau im Anbaugebiet „Niederelbe“, wobei die Werte zwischen „0“ (ganzjährig kein Risiko) und „72“ (ganzjährig starkes Risiko) liegen können	56
Abbildung 12 Aus Expertenbewertungen berechnete extremwetterlagenspezifische Risikowerte für den Apfelanbau im Anbaugebiet „Bodensee“, wobei die Werte zwischen „0“ (ganzjährig kein Risiko) und „72“ (ganzjährig starkes Risiko) liegen können	56

Abbildungsnummer und -titel	Seite
Abbildung 13 Aus Expertenbewertungen berechnete extremwetterlagenspezifische Risikowerte für den Weinbau, gemittelt über alle Anbauggebiete (Pfalz, Rheinhessen, Franken, Nahe und Rheingau, n=24), wobei die Werte zwischen „0“ (ganzjährig kein Risiko) und „72“ (ganzjährig starkes Risiko) liegen können	58
Abbildung 14 Experteneinschätzung zum Risiko für Schädigungen durch Extremwetterlagen im Weinbau, gemittelt über alle Anbauggebiete (Pfalz, Nahe, Rheinhessen, Rheingau, Franken) (n=24)	59
Abbildung 15 Aus Expertenbewertungen berechnete extremwetterlagenspezifische Risikowerte für den Hopfenbau im Anbauggebiet „Hallertau“, wobei die Werte zwischen „0“ (ganzjährig kein Risiko) und „72“ (ganzjährig starkes Risiko) liegen können	61
Abbildung 16 Experteneinschätzung zum Risiko für Schädigungen durch Extremwetterlagen im Hopfenanbau im Anbauggebiet „Hallertau“ (n=34)	62
Abbildung 17 Aus Expertenbewertungen berechnete extremwetterlagenspezifische Risikowerte für den Gemüseanbau, wobei die Werte zwischen „0“ (ganzjährig kein Risiko) und „72“ (ganzjährig starkes Risiko) liegen können	64
Abbildung 18 Experteneinschätzung zum Risiko für Schädigungen durch Extremwetterlagen im Spargelanbau, gemittelt über alle Bewertungen (n=12)	65
Abbildung 19 Experteneinschätzung zum Risiko für Schädigungen durch Extremwetterlagen im Speisezwiebelanbau (Winter- & Sommerzwiebeln), gemittelt über alle Bewertungen (n=13)	66
Abbildung 20 Experteneinschätzung zum Risiko für Schädigungen durch Extremwetterlagen im Möhrenanbau, gemittelt über alle Bewertungen (n=11)	67
Abbildung 21 Experteneinschätzung zum Risiko für Schädigungen durch Extremwetterlagen im Weiß- und Rotkohlanbau, gemittelt über alle Bewertungen (n=11)	68
Abbildung 22 Veränderungstendenz (bis 2098 ggü. 1961-90) der Anzahl Tage mit $T_{min} \leq 0 \text{ °C}$ (a), $- 2 \text{ °C}$ (b) und $- 4 \text{ °C}$ (c) im Monat April (jeweils 50. Perzentil der Klimamodellprojektionen) (Quelle: DWD)	69
Abbildung 23 Veränderungstendenz (bis 2098 ggü. 1961-90) der Anzahl Tage mit $T_{min} \geq - 3 \text{ °C}$ im Monat April, 15. (a), 50. (b) und 85. Perzentil (c) der Modellaussagen (Quelle: DWD)	73
Abbildung 24 Veränderungstendenz (bis 2098 ggü. 1961-90) der Anzahl Tage mit $T_{max} \geq 35 \text{ °C}$ im Monat August, 50. Perzentil der Modellaussagen (Quelle: DWD)	74
Abbildung 25 Anzahl Tage mit $T_{max} \geq 30 \text{ °C}$ im Monat August in Vergangenheit (a) und Zukunft (b), Originaldaten für den Zeitraum 1961-90 (a) und 50. Perzentil der Modellaussagen zur Veränderungstendenz (bis 2098 ggü. 1961-90) (b) (Quelle: DWD)	78
Abbildung 26 Mittlere (Deutschland) Wahrscheinlichkeit einer Monatsniederschlagssumme $< 50 \text{ mm}$ (März & April), $< 70 \text{ mm}$ (Juni) und $< 80 \text{ mm}$ (Juni), das heißt zunehmender Trockenstressgefahr in Speisezwiebeln, in Vergangenheit (Originaldaten) und Zukunft (Klimamodellprognosen) (Quelle: DWD)	82

Abbildungsnummer und -titel	Seite
Abbildung 27 a, b Anzahl Tage mit einer Niederschlagssumme ≥ 20 mm im Zeitraum 21. Februar bis 20. Juli in Vergangenheit (a) und Zukunft (b), Originaldaten für den Zeitraum 1961-90 (a) und 50. Perzentil der Modellaussagen zur Veränderungstendenz (bis 2098 ggü. 1961-90) (b) (Quelle: DWD)	85
Abbildung 28 a, b Mittlere (Deutschland) Wahrscheinlichkeit einer Monatsniederschlagssumme ≤ 70 mm im August in Vergangenheit (a) und Zukunft (b), Originaldaten für den Zeitraum 1961-90 (a) und 50. Perzentil der Modellaussagen zur Veränderungstendenz (bis 2098 ggü. 1961-90) (b) (Quelle: DWD)	89
Abbildung 29 a, b Mittlere (Deutschland) Wahrscheinlichkeit einer Strahlungsintensität > 2500 J/m ² d für den Monat Juli in Vergangenheit (a) und Zukunft (b), Originaldaten für den Zeitraum 1961-90 (a) und 50. Perzentil der Modellaussagen zur Veränderungstendenz (bis 2098 ggü. 1961-90) (b) (Quelle: DWD)	91
Abbildung 30 a, b Gesamtanzahl (a) und mittlere Anzahl pro Jahr (b) der Extremwetterereignisse an der „Niederelbe“ in den Jahren 1983 bis 2013, auf Basis einer Auswertung der „Jahresberichte zum Obstbaujahr“ (Mitteilungen OVR Jork) (Quelle: König 2014)	92
Abbildung 31 Ertragsverluste (in % vom Mittelwert der Jahre ohne Spätfrost) durch Spätfrost bei der Apfelsorte „Elstar“ im Anbaugebiet „Niederelbe“ in Abhängigkeit von der Spätfrostgefährdung des Standortes (Whisker=mittlere Standardabweichung in Jahren ohne Spätfrost/Alternanz) (Datenquelle: Obstbaubetriebe im Anbaugebiet „Niederelbe“)	93
Abbildung 32 Ertragsverluste (in % vom Mittelwert der Jahre ohne Spätfrost) durch Spätfrost bei der Apfelsorte „Jonagold“ im Anbaugebiet „Niederelbe“ in Abhängigkeit von der Spätfrostgefährdung des Standortes (Whisker=mittlere Standardabweichung in Jahren ohne Spätfrost/Alternanz) (Datenquelle: Obstbaubetriebe im Anbaugebiet „Niederelbe“)	93
Abbildung 33 In die Auswertungen einbezogene Anteile der Gefährdungsklassen (Spätfrostisiko) an der Gesamtversuchsfläche (in %) im Mittel der Jahre 2010 bis 2013 (Datenquelle: anonym, Anbaugebiet „Pfalz“)	95
Abbildung 34 a, b Vergleich der mittleren Erträge (kg/ha) der weißen (a) und roten (b) Rebsorten im Spätfrostjahr 2011 mit den mittleren Erträgen der Jahre 2010, 2012, 2013 (ohne Spätfrost) (Datenquelle: anonym, Anbaugebiet „Pfalz“)	97
Abbildung 35 a, b Vergleich der mittleren Mostgewichte (°Oe) der weißen (a) und roten (b) Rebsorten im Spätfrostjahr 2011 mit den mittleren Mostgewichten der Jahre 2010, 2012, 2013 (ohne Spätfrost) (Datenquelle: anonym, Anbaugebiet „Pfalz“)	98
Abbildung 36 Einfluss des Austriebszeitpunktes und des Spätfrostisikos der Lagen auf das Ausmaß der Ertragseinbußen durch Spätfrost im April 2011 in weißen Rebsorten (Datenquelle: anonym, Anbaugebiet „Pfalz“)	99

Abbildungsnummer und -titel	Seite
Abbildung 37 Einfluss des Austriebszeitpunktes und des Spätfrostrisikos der Lagen auf das Ausmaß der Ertragseinbußen durch Spätfrost im April 2011 in roten Rebsorten (Datenquelle: anonym, Anbaugebiet „Pfalz“)	100
Abbildung 38 Erträge (dt/ha) der Hopfensorten „Hallertauer Magnum“, „Hallertauer Tradition“, „Perle“ und „Hallertauer Mittelfrüh“ in den Jahren 2006 bis 2013 in den 14 Herkunftsbezirken des Anbaugebietes „Hallertau“ (Datenquelle: Hopfenring e.V., Anbaugebiet „Hallertau“)	103
Abbildung 39 Bodenartenanteile (Codierung siehe Tab. 31) auf Hopfenflächen der Gemeinden „Pfeffenhausen“ und „Hersbruck“ im Vergleich zu den Hopfenflächen des restlichen Anbaugebietes „Hallertau“ (Datenquelle: ATKIS Basis DLM 2004, Bundesamt für Kartographie und Geodäsie)	104
Abbildung 40 Durchschnittlicher Alphasäuregehalt (%) der Hopfensorten „Hallertauer Mittelfrüh“, „Perle“, „Hallertauer Tradition“ und „Hallertauer Magnum“ in den Jahren 2000 bis 2012 am Standort Hüll (Anbaugebiet Hallertau) (Datenquelle: LfL Bayern, Hüll)	105
Abbildung 41 a, b Mittlere Erträge (kg/ha) (a) und Alphasäuregehalte (%) (b) der Sorte „Hallertauer Tradition“ in der „Hallertau“ in den Jahren 1992 bis 2014 (Quelle: Ertragsschätzungen LfL Bayern)	106
Abbildung 42 Experteneinschätzung zum Risiko für Schädigungen durch Extremwetterlagen im Weinanbaugebiet „Pfalz“ (n=6)	130
Abbildung 43 Experteneinschätzung zum Risiko für Schädigungen durch Extremwetterlagen im Weinanbaugebiet „Rheinhessen“ (n=7)	131
Abbildung 44 Experteneinschätzung zum Risiko für Schädigungen durch Extremwetterlagen im Weinanbaugebiet „Franken“ (n=6)	132
Abbildung 45 Experteneinschätzung zum Risiko für Schädigungen durch Extremwetterlagen im Weinanbaugebiet „Nahe“ (n=4)	133
Abbildung 46 Einfluss des Austriebszeitpunktes und des Spätfrostrisikos der Lagen auf das Ausmaß der Mostgewichtseinbußen durch Spätfrost im April 2011 in weißen Rebsorten (Datenquelle: anonym, Anbaugebiet „Pfalz“)	134
Abbildung 47 Einfluss des Austriebszeitpunktes und des Spätfrostrisikos der Lagen auf das Ausmaß der Mostgewichtseinbußen durch Spätfrost im April 2011 in roten Rebsorten (Datenquelle: anonym, Anbaugebiet „Pfalz“)	134

1. Ziele und Aufgabenstellung

Das Verbundforschungsprojekt „Agrarrelevante Extremwetterlagen und Möglichkeiten von Risikomanagementsystemen“ hat sich zum Ziel gesetzt, das zukünftige Auftreten von Extremwetterlagen und ihre Auswirkungen auf die deutsche Land- und Forstwirtschaft abzuschätzen. Es sollen deren Relevanz sowie entsprechende Anpassungsmaßnahmen für die Wirtschaftsbetriebe und für die Politik untersucht und vergleichend bewertet werden. Bei der Analyse der relevanten Extremwetterlagen sollen alle wesentlichen Branchen der deutschen Land- und Forstwirtschaft einbezogen werden. Neben den landwirtschaftlichen Hauptkulturen Weizen, Gerste, Raps, Mais, Zuckerrüben sowie Futterbau und Grünland stehen dabei auch die Sonderkulturen Wein, Obst (mit Apfel als Leitkultur), Hopfen und Gemüse (Leitkulturen Spargel, Speisezwiebel, Möhren sowie Weiß- und Rotkohl) im Fokus. Ziel des vorliegenden Projektes war es, die oben genannten Fragestellungen für den Bereich der aufgeführten Sonderkulturen zu bearbeiten.

Wein-, Obst-, Hopfen- und Gemüsebau leisten einen wesentlichen Beitrag zur Wertschöpfung der deutschen Landwirtschaft. Die Abschätzung der Relevanz und der Auswirkungen von Extremwetterlagen wie extreme Hitze und Dürre, Stark- und Dauerregen, Stauässe/Überschwemmungen, Nassschnee, Sturm, Hagel sowie Spät-, Früh- und Winterfröste für den Sonderkulturanbau sollen als Grundlage für die Ableitung angemessener Anpassungsmaßnahmen der Betriebe und der Agrarpolitik dienen. Genauere, in Zahlen gefasste Erkenntnisse über die Relevanz, ertragsrelevante Schwellenwerte für die einzelnen Extremwetterereignisse und deren ertrags- und qualitätswirksame Auswirkungen auf den Anbau der genannten Kulturen können darüber hinaus zur Gewinnung neuer Grundlagenkenntnisse für die Forschung beitragen.

Folgende Fragestellungen sollten durch die Bearbeitung des Projektes für die eingangs aufgeführten Sonderkulturen beantwortet werden:

- Welche Extremwetterlagen sind in den jeweiligen Kulturen relevant?
- Gibt es regionale Unterschiede in deren Relevanz und worin bestehen diese?
- Welche Auswirkungen können die Extremwetterlagen auf die Kulturen haben?
- Können Auswirkungen auf Erträge und Qualitäten quantifiziert werden?
- Gibt es ertragsrelevante Schwellenwerte? Wenn ja, wo liegen diese?
- Wie oft wurden diese Schwellenwerte in der Vergangenheit überschritten?
- Wird es laut aktueller Klimaprognosen zu Veränderungen in der Relevanz dieser Extremwetterlagen kommen?

1.1 Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Arbeiten und der Ablauf des Vorhabens untergliedern sich in zwei große thematische Teilschritte: 1) Identifikation und Relevanzabschätzung und 2) Ursache-Wirkungsbeziehungen.

Das nachfolgende Schema (Tab. 1) fasst die Arbeitsschritte zusammen und stellt den geplanten Ablauf des Projektes dar.

Tabelle 1 Schematische Darstellung zur Planung und zum Ablauf des Vorhabens

Arbeitsschritte	Okt 13	Nov 13	Dez 13	Jan 14	Fbr 14	Mrz 14	Apr 14	Mai 14	Jun 14	Jul 14	Aug 14	Sep 14	Okt 14	Nov 14	Dez 14	Jan 15	Fbr 15	Mrz 15
1. Literaturrecherche und Expertenbefragungen																		
2. Zusammenstellen der Ergebnisse in einer Schwellenwertmatrix																		
3. Abfrage zur zukünftigen Relevanz der definierten Schwellenwerte																		
4. Nachbearbeitung der Schwellenwertmatrix auf Basis der durchgeführten Abfragen																		
5. Sammeln und Aufbereiten vorhandener Daten																		
6. Ursache-Wirkungs-Analysen																		
7. Zusammenstellung der gewonnenen Ergebnisse																		
8. Nacharbeiten und Zuarbeit zum Endbericht																		

1.2 Wissenschaftlich-technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Der 4th Assessment Report des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (Solomon et al. 2007) prognostiziert maßgebliche Veränderungen des Klimas für nahezu alle Breitengrade innerhalb der nächsten 100 Jahre. Besonders im Bereich der Temperaturen können recht sichere und sehr genaue Angaben über die erwarteten Veränderungen getroffen werden. Für Nordeuropa wird mit einem Anstieg der Temperatur um etwa 2,3 bis 5,3 °C bis zum Jahr 2080 gerechnet, was über dem global erwarteten Anstieg liegt (Meehl et al. 2007). Für Nordeuropa gehen die Forscher von einem stärkeren Anstieg der Temperaturen im Winterhalbjahr sowie der Tagesminimumtemperaturen im Vergleich zu den entsprechenden Tagesmaxima aus. Darauf basierend wird es zu geringeren Schwankungen innerhalb der Tagestemperaturen kommen und zu einer Verlängerung der Vegetationsperiode sowie einem früheren Eintritt der Kulturpflanzen in die entsprechenden Entwicklungsstadien. Racca et al. (2012) konnten beispielsweise in Berechnungen mit dem Modell SIMONTO und des Klimamodells REMO ein signifikant früheres Auftreten der Entwicklungsstadien des Winterweizens bis 2100 berechnen. Im Vergleich 10-jähriger Mittelwerte verschiedener Perioden hat sich im Weinbau z.B. am Standort Neustadt/Weinstr. der Austrieb der Rebsorte Riesling seit 1976 um 11 Tage verfrüht, Tendenz weiter anhaltend (Oberhofer 2012). Meehl et al. (2007) prognostizieren ein intensiveres, häufigeres und länger anhaltendes Auftreten von Hitzewellen. Die Vorhersagen in Bezug auf die zu erwartenden Veränderungen bei den Niederschlägen gestalten sich dahingegen allgemein schwieriger. Es wird für Zentraleuropa von einem Anstieg der Niederschlagsmengen im Winterhalbjahr und einer Abnahme der Niederschläge im Sommerhalbjahr ausgegangen. Das Risiko für Dürrephasen im Sommer kann also ansteigen. Die Häufigkeit der Niederschläge soll sinken, aber die Intensität einzelner Niederschlagsereignisse zunehmen und es dementsprechend vermehrt zu Starkregenereignissen kommen. Die Prognosen zu Windgeschwindigkeiten und dem Risiko von Stürmen fallen derzeit noch sehr schwer. Allerdings scheint eine Zunahme der maximalen Windgeschwindigkeiten und der Häufigkeit von Stürmen wahrscheinlicher als eine Abnahme. Es wird zudem von einer Verkürzung der Winterperioden ausgegangen, in denen es zu einer geschlossenen Schneedecke kommt.

Dass sich die langfristigen klimatischen Änderungen und auch extreme Witterungsbedingungen direkt und indirekt auf die landwirtschaftliche Produktion auswirken werden, ist mittlerweile unumstritten (z.B. Ellinger 2008). Bisher lag der Schwerpunkt der Forschung zur Wirkung des Klimawandels auf Land- und Forstwirtschaft, aber vor allem auf der Abschätzung der Wirkung der sich langfristig ändernden Klimaparameter, wie dem Anstieg der Temperatur und der Abnahme der Niederschlagsmengen im Sommerhalbjahr. Dies trifft auch für den Bereich der Sonderkulturen (hier Wein, Obst, Hopfen und Gemüse) zu. Es besteht noch erheblicher Forschungsbedarf, um eine Abschätzung über die Relevanz und Auswirkungen der erwarteten Zunahme von Wetterextremen für die Land- und Forstwirtschaft durchführen zu können (Van Oort et al. 2012). Die Erkenntnisse zur Wirkung von Extremwetterereignissen auf land- und forstwirtschaftliche Kulturen basieren derzeit vorrangig auf Erfahrungswerten. Konkrete Angaben, zum Beispiel Schwellenwerte oder monetäre Bewertungen zu

quantitativen und qualitativen Auswirkungen von Extremwetterereignissen auf die entsprechenden Kulturen sind schwer zu finden. Für die Abschätzung möglicher Auswirkungen der jeweiligen Extremwetterlagen für die entsprechenden Kulturen und die Beantwortung der Frage, welche Regionen womöglich in Zukunft einer erhöhten Gefahr des Auftretens solcher Extreme unterliegen, sind tiefer gehende Kenntnisse aber unumgänglich. Stock et al. (2007) stellen einen auf Modellierungen basierenden Ansatz zur Abschätzung der Wirkung von Klimaänderungen bis 2050 für den Weinbau vor und beziehen sich dabei auch auf die zukünftige Entwicklung einiger Extremwetterlagen (Frost-, Sommer- und Hitzetage). Die Literaturrecherchen zum Effekt von Extremwetterereignissen auf die genannten Sonderkulturen ergaben zumeist Berichte zu in einzelnen Jahren beobachteten Auswirkungen extremer Wetterlagen auf Qualitäten und Erträge. Die gefundene Literatur bezieht sich zudem in den meisten Fällen auf Anbaugelände außerhalb Deutschlands oder auch Zentraleuropas. Die Übertragung der bereits in anderen Ländern gewonnenen Zusammenhänge zwischen extremen Wetterereignissen und Erntemengen und -qualitäten ist allerdings nicht ohne weiteres möglich, denn der Einfluss weiterer Rahmenbedingungen (z.B. Sorten, Lage, Bewirtschaftungssystem) ist ebenso von großer Bedeutung.

Wie die vorangegangene Darstellung des aktuellen Forschungsstandes zur Analyse agrarrelevanter Extremwetterlagen zeigt, lag vor Projektbeginn nur in begrenztem Umfang spezifisches Wissen zur zukünftigen Relevanz einzelner Extremwetterereignisse und deren Auswirkungen auf die zu untersuchenden Sonderkulturen vor. Es bestand noch großer Forschungsbedarf, um die für die zu untersuchenden Sonderkulturen relevanten Extremwetterereignisse zu identifizieren, deren Auswirkungen und Relevanz abschätzen und mögliche Anpassungsmaßnahmen ableiten zu können.

2. Material und Methoden

Im Teilprojekt „Agrarrelevante Extremwetterlagen Sonderkulturen“ lag der Fokus im Bereich Dauerkulturen auf dem Apfelanbau als Leitkultur für den Obstbau, dem Weinbau, dem Hopfenbau und im Bereich Gemüsebau auf den Leitkulturen Speisezwiebel, Spargel, Möhre und Kopfkohl (Weiß- & Rotkohl). Kriterium für die Auswahl der Leitkulturen war der Anbauumfang und somit die Bedeutung, nicht die Empfindlichkeit der Kulturen gegenüber Extremwitterschäden. Die Arbeiten untergliederten sich in zwei große Teilschritte:

- 1) Identifikation und Relevanzabschätzung
- 2) Ursache-Wirkungsbeziehungen.

Mit Hilfe von Literaturrecherchen und Expertenbefragungen sollten im ersten Teilschritt zunächst mögliche Auswirkungen von Extremwetterereignissen zusammengetragen, ertrags- und qualitätsrelevante Schwellenwerte definiert sowie die relevanten Extremwetterlagen identifiziert werden. Des Weiteren sollte die Relevanz in Vergangenheit und Zukunft (in Koop. mit Deutschen Wetterdienst) abgeschätzt und die regionale Betroffenheit abgeleitet werden. Ziel des zweiten Teilschrittes war es, aufbauend auf den im ersten Teilschritt gewonnenen Erkenntnissen die Zusammenhänge zwischen Extremwetterereignissen und Ertrags- sowie Qualitätsverlusten funktional oder soweit möglich anhand exemplarischer Datenanalysen zu beschreiben.

Bei der Durchführung von Expertenbefragungen zur Relevanz der Extremwetterlagen hat der regionale Bezug Einfluss auf die Ergebnisse. Um zu möglichst repräsentativen Aussagen zu gelangen, wurde entschieden die Befragungen im Apfelanbau in den zwei bedeutendsten und durch erhebliche klimatische Unterschiede geprägten Anbaugebieten „Bodensee“ (Baden-Württemberg) und „Niederelbe“ (Niedersachsen) durchzuführen. Im Weinbau wurden die Experten in den Anbaugebieten Pfalz, Rheinhessen und Nahe befragt. Auch im Hopfenanbau mussten sich die Befragungen aus arbeitswirtschaftlichen Gründen auf ein Anbaugebiet beschränken. Dafür wurde die „Hallertau“, das mit über 15 000 ha größte zusammenhängende Hopfenanbaugebiet der Welt, ausgewählt. Im Gemüsebau wurden deutschlandweite Expertenbefragungen durchgeführt. Das Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinpfalz (DLR) in Neustadt/Weinstr. wurde bei den Literaturrecherchen und Expertenbefragungen im Bereich Apfel- und Hopfenanbau durch das Kompetenzzentrum Obstbau-Bodensee in Bavendorf (Apfel), das Esteburg Obstbauzentrum in Jork (Apfel) und die Landesanstalt für Landwirtschaft Bayern in Hüll (Hopfen) unterstützt. Am Esteburg Obstbauzentrum in Jork konnte im Rahmen des Projektes eine Bachelor-Thesis (König, S., 2014: Bedeutung von Extremwetterlagen für den Obstanbau an der „Niederelbe“, Hochschule Osnabrück) angefertigt werden.

Die in diesem Teilprojekt gewonnenen Erkenntnisse stellen eine wichtige Grundlage für weitergehende Arbeiten hinsichtlich möglicher Managementmaßnahmen, ihrer Vor- und Nachteile und ggf. einer monetären Bewertung im Rahmen des Verbundprojektes „Agrarrelevante Extremwetterlagen“ dar.

2.1 Literaturrecherche

Für die Literaturrecherchen zu den Auswirkungen der betrachteten Extremwetterlagen, bereits vorhandenen Daten, Schwellenwerten, Risikomanagementmöglichkeiten sowie deren möglichen Vor- und Nachteilen und allen sonstigen notwendigen Informationen wurden vorrangig Fachbücher, Onlinedatenbanken, Informationsportale wie das Hortipendium, Hortigate und das Vitipendium, sowie Jahresberichte und andere Veröffentlichungen von Forschungseinrichtungen genutzt. Die recherchierten Fakten wurden durch Berater und Wissenschaftler mit deren Expertenwissen abgeglichen und etwaige Ergänzungen vorgenommen. Der Fokus der Recherche lag dabei auf den in der durch das Thünen-Institut erstellten Matrix aufgeführten Punkten. Dies waren die Beschreibung der Auswirkungen der Extremwetterlagen auf die jeweilige Kultur, Schwellenwerte, Informationen zum Schadpotential (quantitative und qualitative Verluste), Informationen zu Managementmöglichkeiten, deren Funktionsweise sowie deren Vor- und Nachteilen und dem Schadensreduktionspotential. Ergänzend wurden Recherchen zu allgemeinen kulturspezifischen Informationen wie Standortansprüche, Anbausysteme, Biologie, Sorten- und Qualitätsanforderungen sowie den wichtigsten Krankheiten und Schaderregern vorgenommen.

2.2 Expertenbefragungen

Die Expertenbefragungen unter Beratern und Praktikern wurden persönlich oder postalisch mit Hilfe einer Befragungsmatrix durchgeführt. Die Auswahl der befragten Betriebe erfolgte in Zusammenarbeit mit Beratern der jeweiligen Anbaugebiete. Die befragten Experten haben dabei, auf Basis Ihrer Erfahrung der letzten Jahre, das durch eine Extremwetterlage

für die jeweilige Kultur ausgehende Risiko mit 0 (kein Risiko), 1 (mittleres Risiko) und 2 (starkes Risiko) im Jahresverlauf für Ihre Region bewertet und innerhalb der als relevant eingestuften Extremwetterlagen eine Rangfolge erstellt. Dabei galt es, die Bewertung unter Ausschluss etwaiger Gegenmaßnahmen durchzuführen. Die Monate wurden zum Zweck der genaueren zeitlichen Eingrenzung in drei Dekaden untergliedert. Inwiefern bei den postalischen Befragungen zum Beispiel die Bewertung unter 100%iger Ausklammerung bestehender Gegenmaßnahmen vorgenommen wurden, ist leider nicht immer nachvollziehbar. Bei der Übertragung der Befragungsrückläufe in digitale Formate wurde deshalb eine Plausibilitätsprüfung vorgenommen und Befragungsergebnisse aus der Bewertung genommen, wenn Zweifel an der Repräsentativität der Bewertung gegeben waren. So ergaben sich die in Tabelle 2 aufgeführte Anzahl Befragungen in den jeweiligen Kulturen.

Tabelle 2 Anzahl durchgeführter Befragungen in den Kulturen Apfel, Wein, Hopfen und Gemüse und Angabe zu den einbezogenen Anbaugebieten

Kultur	Anbauggebiet	Anzahl
Apfel	Niederelbe	n=18
	Bodensee	n=24
Wein	Pfalz	n=6
	Rheinhessen	n=7
	Franken	n=6
	Nahe	n=4
	Rheingau	n=1
Hopfen	Hallertau	n=34
Spargel	bundesweit	n=12
Speisezwiebel	bundesweit	n=13
Möhre	bundesweit	n=11
Kopfkohl	bundesweit	n=11

Alle auswertbaren Angaben wurden gemittelt, woraus ein Überblick über die durchschnittliche Relevanz im Jahresverlauf und ein Ranking (Rang) abgeleitet werden konnte. Die sich aus den ganzzahligen Angaben 0, 1 oder 2 berechneten Mittelwerte liegen zwischen 0 und 2 und wurden für eine übersichtliche Darstellung des Risikos in die vier Risikoklassen (gering, schwach, mittel und stark) klassifiziert. Für jede Extremwetterlage wurde außerdem ein Risikowert berechnet, der eine Aussage darüber zulässt, wie stark und über welchen Gesamtzeitraum von einer Extremwetterlage ein Risiko ausgeht. Bei ganzjährig hohem Risiko war es theoretisch möglich, 36-mal die Note 2, in Summe „72“, zu vergeben (die Monate wurden in Anfang, Mitte und Ende untergliedert; 36 Dekaden pro Jahr). Aus allem Bewertungen für eine Extremwetterlage wurde darauf basierend eine Risikowert berechnet, der zwischen 0 (ganzjährig kein Risiko) und 72 (ganzjährig hohes Risiko) liegt. Im Weinbau ergaben die Befragungen, dass die meisten Experten die Extremwetterlage „Extreme Dürre (fehlendes Bodenwasser)“ entweder nicht bewerteten oder mit „Trockenheit (fehlender Niederschlag)“ gleichsetzten. So wurde im Zuge der Auswertungen beschlossen, diese Extremwetterlage aus der Auswertung zu nehmen, um Fehlinterpretationen zu vermeiden.

Mit Hilfe der in den Expertenbefragungen gewonnenen Erkenntnisse konnten die relevanten Extremwetterlagen, die sensitiven Phasen im Jahresverlauf und regionale Unterschiede identifiziert werden.

2.3 Schwellenwertdefinition und -abfrage

Die Definition ertragsrelevanter Schwellenwerte erfolgte auf Basis der Literaturrecherchen und Experteninterviews bzw. -befragungen. Dabei wurden Grenzwerte gesucht bzw. erfragt, die je nach Extremwetterlage und Kultur den Beginn ertragsrelevanter Einbußen markieren. In Tabelle 3 ist die Vorgehensweise bei der Definition der Schwellenwerte anhand einiger Beispiele dargestellt. Die auf diesem Wege definierten Schwellenwerte beruhen nicht auf mathematischen Modellen oder Zusammenhängen und sind eher als Richtwerte auf Basis des aktuellen Stand des Wissens anzusehen. Durch den Deutschen Wetterdienst wurden sie verwendet, um die vergangene und zukünftige Relevanz abzuschätzen. Zur Bestimmung der Relevanz in der Vergangenheit (Wetterdaten) wurde die Häufigkeit des Überschreitens der Schwellenwerte für die drei Perioden 1962-1990, 1971-2000 und 1981-2010 abgefragt. Für die Abschätzung der zukünftigen Relevanz wurde die Häufigkeit des Überschreitens der Schwellenwerte in bis zu 20 Klimamodellen und entsprechenden Prognosedaten als Veränderungstendenz bis 2098 gegenüber dem Referenzzeitraum 1962-1990 abgefragt. Die Abfrageergebnisse wurden in das 15., 50. und 85. Perzentil aufgeteilt. Die abzufragenden, sensitiven Zeiträume, wurden über die Auswertung der Expertenbefragungen festgelegt. Alle aufgeführten Ergebnisse aus diesen Abfragen beruhen auf dem Stand der durch den DWD zur Verfügung gestellten Ergebnisse vom 17.03.2015. Leichte Veränderungen der Daten bis zum Projektabschluss können zu diesem Zeitpunkt nicht ausgeschlossen werden. So sind die aufgeführten Angaben als Orientierungswert anzusehen. Für einige Extremwetterlagen, wie Hagel, die nutzbare Feldkapazität und die maximale Windstärke, sind keine Modelle verfügbar. So konnte dahingehend keine Abfrage zur Relevanz erfolgen. Um eine Aussage über Sturm treffen zu können, wurde die mittlere Windstärke pro Tag ($u \geq 10$ m/s (ca. 5-6 Bft) abgefragt. Die in Kapitel 3.1.3 dargestellten Trends (Pfeile) wurden mit den Farben „Grün“ für abnehmendes Risiko, „Blau“ für gleichbleibendes Risiko und „Rot“ für zunehmendes Risiko visualisiert.

Tabelle 3 Vorgehensweise bei der Definition ertragsrelevanter Schwellenwerte am Beispiel Kahl-/Winterfrost, Frühfrost und Trockenheit im Weinbau

Extremwetterlage	Einzelangaben aus Literatur und Expertenbefragungen	Definierter Schwellenwert
Kahl-/Winterfrost	≤ -15 °C (bei schlechter Holzreife) bis ≤ -20 °C (gut verholzte Reben) ≤ -16 °C ≤ -25 °C	$T_{min} \leq -15$ °C (bei schlechter Holzreife) bis -20 °C (gut verholzte Reben)
Frühfrost	≤ 0 °C bis ≤ -4 °C (ältere Blätter/unreife Trauben) ≤ -3 °C	$T_{min} \leq 0$ °C bis ≤ -4 °C
Trockenheit	≤ 40 mm Niederschlag/Monat ≤ 60 mm/Monat	≤ 40 mm Niederschlag/Monat

2.4 Auswertung vorhandener Daten

Zum Ziel der Beschreibung von Ursache-Wirkungsbeziehungen zwischen den relevanten Extremwetterlagen und Erträgen bzw. Qualitäten sollten ergänzende, exemplarische Auswertungen bereits vorhandener Daten stattfinden.

Bei der Suche nach verwendbaren Daten stand die Sammlung verfügbarer Ertrags- bzw. Qualitätsdaten im Fokus, die eine funktionale, ggf. grobe Quantifizierung der Einbußen durch das Auftreten von Extremwetterlagen anhand exemplarischer Fallbeispiele möglich machen. Dabei wurde stets damit begonnen, entsprechende Ansprechpartner (z.B. Verbände, Genossenschaften, Versuchsbetriebe) zu kontaktieren und etwaige Datenquellen zu identifizieren. Des Weiteren lag der Fokus auf der Abschätzung der Ursache-Wirkungsbeziehungen zwischen den in den Expertenbefragungen als am relevantesten identifizierten Extremwetterlagen und Erträgen bzw. Qualitäten der behandelten Sonderkulturen. Leider gestaltete sich die Sammlung von Ertrags- und Qualitätsdaten schwieriger als erwartet. Flächenspezifische Aufzeichnungen zu Erträgen und/oder dem Auftreten von Extremwetterlagen sind besonders im Bereich der Sonderkulturen sehr rar bzw. gar nicht vorhanden. So konnten im Gemüsebau keine Daten gewonnen werden und dementsprechend auch keine exemplarischen Analysen erfolgen.

Die Verfügbarkeit von Daten zum Schadpotential von Hagel wurde durch die Projektkoordinierung (TI) geprüft. Die durch die „Vereinigte Hagel“ zur Verfügung gestellten Daten haben sich als nicht für die kulturspezifische Betrachtung geeignet erwiesen. Die dennoch durchgeführten allgemeinen Auswertungen sind dem Gesamtbericht zum Verbundprojekt „Agrarrelevante Extremwetterlagen“ zu entnehmen. Im Rahmen der Expertenbefragungen wurden einzelne Angaben zum Schadpotential von Hagel gewonnen, die auf subjektiven und groben Schätzwerten beruhen.

Zusätzlich zu den genannten Bereichen wurden Daten zur Phänologie der Kulturen Apfel, Wein und Hopfen gesammelt, um diese bspw. mit den Ergebnissen der Schwellenwertabfragen zu verschneiden. Diese wurden durch das Kompetenzzentrum Obstbau-Bodensee in Bavendorf (KOB), den Obstbauversuchsring in Jork (OVR) und die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft in Hüll (LfL) zur Verfügung gestellt. Durch den satzweisen Anbau von Gemüse und die zum Teil stark differierenden Produktionsstrukturen einzelner Betriebe können hier keine allgemeingültigen Aussagen zum Erreichen der phänologischen Phasen getroffen werden.

2.4.1 Apfel

Im Apfelanbau konnten in Kooperation mit dem Obstbauversuchsring in Jork in Betrieben im Anbaugebiet „Niederelbe“ Ertragsdaten erfasst werden, die zu einer exemplarischen Quantifizierung des ertragssenkenden Einflusses von Spätfrösten im Apfelanbau beitragen konnten. Es wurden Betriebe gesucht, die über nicht frostschtzberegnete Flächen sowie flächenspezifische Angaben zu Erträgen und der Betroffenheit durch Spätfrost verfügen. Von 9 angefragten Betrieben konnten in fünf Betrieben verwendbare Daten gewonnen werden. In Abstimmung mit den Obstbauberatern des OVR Jork wurde die Datensammlung am Beispiel der beiden im Anbaugebiet „Niederelbe“ bedeutendsten Sorten „Elstar“ und „Jonagold“ durchgeführt. Es wurde des Weiteren festgelegt, dass die Ertragsdaten ab dem 4. Standjahr einbezogen werden, da erst ab diesem Zeitpunkt vom potentiellen Erreichen der

vollen Erntemengen auszugehen ist. Für die Sorte „Elstar“ standen so insgesamt $n=29$ und für die Sorte „Jonagold“ $n=23$ Ertragswerte zur Verfügung. Angaben in der Einheit „Großkisten“ wurden mit dem Faktor 1 Großkiste = 320 kg umgerechnet. Wie im Weinbau wurden die Erträge der Jahre „mit Spätfrost“ und „ohne Spätfrost“ gegenübergestellt. Um flächen- und bewirtschaftungsabhängige Ertragseinflüsse auszuklammern, wurde der mittlere Ertrag einer Fläche in den Jahren „ohne Spätfrost“ mit 100% gleichgesetzt und die Abweichung der Erträge der Jahre „mit Spätfrost“ relativ dazu dargestellt. Dabei wurde zusätzlich in gefährdete und weniger gefährdete Flächen unterschieden, was an der „Niederelbe“ erheblich durch die Nähe zu Elbe oder Elb-Armen beeinflusst wird. Da auch die Alternanz für die erzielbaren Erträge von großer Bedeutung ist, wurde die Standardabweichung der Erträge der Jahre „ohne Spätfrost“ als Alternanz angesehen und dieser Schwankungsbereich bei der Betrachtung der in den Spätfrostjahren erzielten Erträge mit dargestellt. Aufgrund des geringen Datenumfanges und der Datenstrukturen konnte keine statistische Auswertung und somit funktionale Beschreibung der Ursache-Wirkungsbeziehungen stattfinden.

2.4.2 Wein

Im Weinbau wurden Ertragsdaten von ca. $n=200$ Flächen pro Jahr durch eine Winzergenossenschaft im Anbaugebiet „Pfalz“ zur Verfügung gestellt, auf deren Basis der ertragssenkende Einfluss auf Erträge und Mostgewichte des Spätfrostereignisses im Jahr 2011 im Vergleich zu den weitestgehend spätfrostfreien Jahren 2010, 2012 & 2013 abgeleitet werden konnten. Die Daten wurden aufbereitet und ausgewertet, wobei zunächst in spätfrostgefährdete, teilgefährdete und nicht gefährdete Lagen und nach Rot- und Weißweinsorten (jeweils $n \geq 10$) unterschieden wurde. Die Einstufung der Lagen in die jeweilige Gefährdungskategorie erfolgte dabei in Zusammenarbeit mit der Leitung der Winzergenossenschaft. Die statistische Analyse erfolgte mit SigmaPlot 12.0 (Systat Software Inc.).

Um eine detailliertere Auswertung in Hinblick auf den sortentypischen Austriebszeitpunkt durchzuführen, wurden den Sorten die in der „Beschreibenden Sortenliste Reben“ des Bundessortenamtes (2008, letzte Fassung) angegebene Klassifizierung zugeordnet (Tab. 4). Bei der Weißweinsorte „Roter Traminer“ (auch Gewürztraminer) wurde diese Angabe entsprechend der Erfahrungen aus der Beratungspraxis angepasst und die Note 5 (mittlerer Austriebszeitpunkt) in die Note 6 (mittel-spät) abgeändert. Für die Rotweinsorte Merlot enthielt die „Beschreibende Sortenliste“ keine Angabe, so wurden Literaturangaben mit Erfahrungswerten aus der Beratung verschnitten und die Note 4 (früh-mittel) zugeordnet. Tabelle 4 weist die zugeordneten Austriebklassen aus.

2.4.3 Hopfen

Exemplarisch für den Hopfenanbau wurden vom Hopfenring e.V. über die LfL Bayern Ertragsdaten der Jahre 2006 bis 2013 und Qualitätsdaten (Alphasäuregehalte) der Jahre 2000 bis 2012 für das Hopfenanbaugebiet „Hallertau“ zur Verfügung gestellt. Die Ertragsdaten untergliederten sich nach Sorten und in insgesamt 14 Herkunftsbezirke, wodurch eine zwar begrenzte, aber dennoch regionalisierte und sortenspezifische Betrachtung möglich war. Pro Herkunftsbezirk, Sorte und Jahr stand ein mittlerer

Ertragswert zur Verfügung. Die Alphasäuregehalte lagen in Form eines Wertes pro Jahr und Sorte für den Standort „Hüll“ vor. Auch im Hopfenanbau waren aufgrund des geringen verfügbaren Datenumfanges keine statistischen Analysen der Daten möglich. Im Fokus der durchgeführten Auswertung stand somit die grobe Beschreibung des Einflusses von Extremwetterlagen auf die Erträge der vier Hauptsorten „Hallertauer Magnum“, „Hallertauer Mittelfrüh“, „Hallertauer Tradition“ und „Perle“. In den Hopfenjahresberichten der LfL Bayern wurde recherchiert, welche Extremwetterlagen in den Jahren mit erheblichen Ertragseinbußen dokumentiert wurden. Den jeweiligen Extremen konnten auf diesem Wege die Extremwetterlagen und zusätzlich einige beschreibende Wetterdaten zugeordnet werden. Um Rückschlüsse auf mögliche standortspezifischen Einflüsse ableiten zu können, wurden unter den 14 Herkunftsbezirken zunächst diese herausgefiltert, die am häufigsten Mindererträge aufwiesen. Beispielhaft wurden im Anschluss zwei geografische Charakteristika, die Bodenartenanteile und die Hangneigung, dieser Herkunftsbezirke mit dem restlichen Anbaugebiet „Hallertau“ verglichen (in Kooperation mit JKI Kleinmachnow). So konnten Abweichungen identifiziert werden, die als mögliche Ursache für ein höheres Schadpotential von Extremwetterlagen in Betracht kommen.

Tabelle 4 Klassifizierung der Sorten nach Austriebszeitpunkt basierend auf Angaben der „Beschreibenden Sortenliste Reben“ des Bundessortenamtes (2008) und Experteneinschätzungen durch die Weinbauberatung am DLR Rheinpfalz, Neustadt/Weinstr.

Weißweinsorten	Austrieb	Beschreibung	Rotweinsorten	Austrieb	Beschreibung
Auxerrois	5	mittel	Acalon	4	früh-mittel
Bacchus	5	mittel	Cabernet Cubin	5	mittel
Chardonnay	4	früh-mittel	Cabernet Dorio	3	früh
Faberrebe	5	mittel	Cabernet Sauvignon	7	spät
Traminer, Roter	6	mittel-spät	Dornfelder Rotwein	5	mittel
Huxelrebe	4	früh-mittel	Frühburgunder	4	früh-mittel
Kerner	5	mittel	Herold	5	mittel
Morio-Muskat	3	früh	Merlot	4	früh-mittel
Mueller-Thurgau	5	mittel	Portugieser Rotwein	5	mittel
Ortega	4	früh-mittel	Regent	5	mittel
Riesling	5	mittel	Schwarzriesling	6	mittel-spät
Ruländer	5	mittel	Spätburgunder	5	mittel
Sauvignon Blanc	6	mittel-spät	St. Laurent	4	früh-mittel
Scheurebe	6	mittel-spät			
Silvaner	5	mittel			
Solaris	4	früh-mittel			
Weissburgunder	5	mittel			

3. Ergebnisse

3.1 Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse

3.1.1 Literaturrecherche und Expertengespräche

3.1.1.1 Allgemeines zum Anbau von Dauerkulturen

Das Zusammenwirken ökologischer Faktoren, vor allem Temperatur, Licht, Niederschlag und verschiedene Bodeneigenschaften, beeinflusst den Erfolg des Anbaus von Dauerkulturen in besonderem Maße, da sie ihrem Einfluss als mehrjährige Kulturen ständig und ganzjährig ausgesetzt sind. So kann im Verlaufe eines Jahres eine Vielzahl von Extremwetterlagen, beispielweise Hitze, Trockenheit und Hagel im Sommer oder Kahl- und Spätfröste im Winter, auf die Dauerkulturen einwirken und erhebliche Verluste verursachen. Da sich gerade Dauerkulturen wie Apfel, Wein und Hopfen durch eine besonders hohe Wertschöpfung auszeichnen, geht mit diesen Verlusten ein enormes wirtschaftliches Risiko einher. Das Klima an einem Standort hat maßgeblichen Einfluss auf das Wachstum, den Krankheitsbefall, den Ertrag, die Form, die Inhaltsstoffe, den Geschmack und die Ausfärbung der Früchte. So wird das Erreichen der Entwicklungsphasen – wie Blüte oder Reife – in Apfel und Wein durch einen sortenspezifischen Temperatursummenbedarf bestimmt. Je nach Standort und Klima wird dadurch auch die Anbauwürdigkeit einer Sorte beeinflusst. Bei der Auswahl der geeigneten Sorten stehen den Betrieben regionale Anbau- und Sortenempfehlungen zur Verfügung. Eine Apfelsorte kann beispielsweise unter eher warmen und sonnigen Bedingungen besser ausgefärbt sein, aber im Vergleich zum Anbau in kühleren Regionen geschmackliche Defizite aufweisen. Auch im Weinbau ist von tragender Bedeutung, unter welchen klimatischen Bedingungen die Beeren reifen und welche Erträge bei einem angestrebten Mostgewicht erreicht werden können. Im Hopfenanbau zeigt sich der starke Standorteinfluss zum Beispiel im Alphasäuregehalt, einem wichtigen qualitativen Merkmal. Nicht zuletzt wird das Spektrum der angebauten Sorten durch die Marktnachfrage und die geplante Verwendung (z.B. Tafelobst, Mostobst, Tafel- oder Qualitätswein, Direktvermarktung) bestimmt (Fischer et al. 2002).

Der Boden muss für den Anbau von Apfel, Wein und Hopfen tiefgründig und gut durchwurzelbar sein (Friedrich 1993; Fischer et al. 2002). Auch die möglichst durchgängige Befahrbarkeit eines Bodens ist im Hinblick auf die Vielzahl notwendiger Arbeitsgänge ein wichtiger Aspekt. Da die Baumwurzeln selbst kurzandauernden Sauerstoffmangel und Verdichtungen nur schlecht vertragen, sind bei der Standortwahl auch die Überschwemmungswahrscheinlichkeit und ein nicht zu hoher Grundwasserstand zu beachten. Gesteins-, Kies- und Sandböden erwärmen sich sehr leicht, tonreiche Böden hingegen eher schlecht. In Hinblick auf das Wasserhaltevermögen werden Lehmböden am hochwertigsten beurteilt.

Auch das Anbausystem sollte je nach Standort, Sorte und Vermarktungsziel gewählt werden. Weitere Faktoren, die die Eignung eines Standortes für den Anbau von Dauerkulturen erheblich beeinflussen, sind die minimalen Wintertemperaturen, die Anzahl Frosttage und die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Spätfrösten. Des Weiteren dürfen kleinklimatische Bedingungen, wie Geländegestaltung (z.B. Windschutzpflanzungen), Neigung und Ausrichtung zur Himmelsrichtung, bei der Standortwahl nicht außer Acht

gelassen werden. Auch die Nähe zu Flüssen, Seen oder zur Küste kann einen beachtlichen Vorteil in Hinblick auf die Gefährdung durch Spätfröste erbringen. Am Fuße von Hängen hingegen entstehen oftmals Kaltluftstauseen, in denen eine erhöhte Gefahr für Spätfrostschädigungen zu erwarten ist.

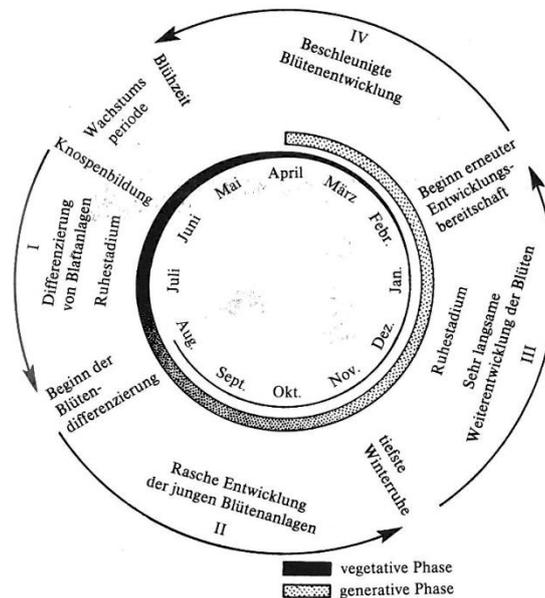


Abbildung 1 Schema zum Entwicklungsrythmus von Blütenknospen an Obstgehölzen (nach Friedrich 1993 und Zeller 1934)

Im Gegensatz zu einjährigen Pflanzen laufen bei Obstgehölzen die Entwicklungsprozesse im Verlauf des Jahres nicht nacheinander sondern parallel oder überschneidend ab (Abb. 1). Diese Tatsache führt dazu, dass die einzelnen Vorgänge miteinander in Konkurrenz treten. Hinzu kommt, dass im Vorjahr die Blütenanlagen für das Folgejahr angelegt werden. So kann es beispielsweise durch schlechte Bedingungen zu einer geringeren Ausbildung von Blütenanlagen kommen. Das Phänomen von Jahr zu Jahr schwankender Fruchterträge bei Obstgehölzen wird als Alternanz bezeichnet. Als ursächlich dafür werden der Einfluss von Phytohormonen und die Verfügbarkeit von Assimilaten angegeben. So kann es dazu kommen, dass beispielsweise eine Apfelanlage in einem ertragsschwachen Jahr durch ein Extremwetterereignis, beispielsweise einen Spätfrost, einen Totalverlust erleidet, welches in einem ertragsstarken Jahr nur zu einer Minderung der Erträge geführt hätte. Friedrich et al. (1992) stellen ein nach Handschack und Schmidt (1985) erstelltes Schema der Ertragsbildung dar, welches die Prozesse im Rahmen der Ertragsbildung charakterisiert (Abb. 2).

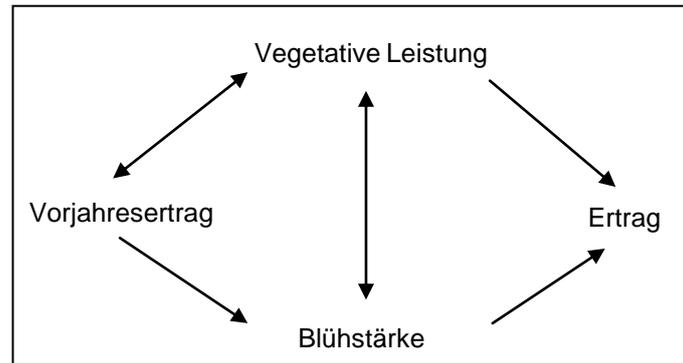


Abbildung 2 Schema zur Ertragsbildung in Obstgehölzen (nach Friedrich 1993 und Handschack & Schmidt 1985)

Da sich die einzelnen Dauerkulturen dennoch erheblich unterscheiden können, soll im Folgenden etwas detaillierter auf einige bedeutende für die Empfindlichkeit gegenüber Extremwetterlagen wichtige kulturartenspezifische Ansprüche und Charakteristika eingegangen werden.

3.1.1.1.1 Apfel

Standortansprüche und Anbausysteme

Für den Anbau des Kulturapfels (*Malus domestica*) sind alle tiefgründigen, leichten bis mittelschweren Böden mit guter Struktur, nicht zu hohem Grundwasserstand und hohem Humusgehalt geeignet (Friedrich 1993; Fischer et al. 2002). An der „Niederelbe“ findet zum Zweck der Grundwasserabsenkung seit den 1960ern eine Polderung statt. Der Wasserbedarf des Apfels kann allerdings in weiten Bereichen Mitteleuropas nicht durch die natürlichen Niederschlagsmengen gedeckt werden, sondern muss durch Zusatzbewässerung abgesichert werden. Nach Fischer et al. (2002) kommen dabei hauptsächlich folgende drei Bewässerungssysteme zum Einsatz: Überkronenbewässerung, Tropfbewässerung und Mikrosprinklerbewässerung. Die Kosten, die Verfügbarkeit des Wassers und die Standortbedingungen entscheiden über die Auswahl des Bewässerungssystems. Überkronenbewässerung wird überall dort eingesetzt, wo sie auch zum Zwecke der Spätfrostberegnung benutzt wird, wie es derzeit etwa in 75 % des Anbaugesbietes an der Niederelbe der Fall ist (Expertenbefragung OVR 2014). Vor allem in wasserarmen Gebieten, stellt die Tropfbewässerung oft die einzig machbare Bewässerungsmöglichkeit dar, da sie gegenüber der Überkopfbewässerung mit deutlich geringeren Wassermengen auskommt. Im Erwerbsanbau sind die Apfelbäume in aller Regel in Reihen angeordnet, die auf der Fläche als Einzelreihe, Doppelreihe oder Beetpflanzung angeordnet sein können (Fischer et al. 2002). Die Einzelreihe mit relativ schmalen Baumbreiten hat sich dabei für eine umweltschonende Bewirtschaftung als am geeignetsten erwiesen. Bei der Wahl des Anbausystems kommt einer ausreichenden Belichtung eine sehr hohe Bedeutung zu, um gute Fruchtqualitäten hinsichtlich Fruchtgröße, Zuckergehalt, Ausfärbung und Zucker-Säure-Verhältnis, zu erreichen. So sind die Baumhöhe und –breite, die Baumabstände in der, Stammhöhe, Reihenausrichtung und der Reihenabstand so zu wählen, dass für eine ausreichende Belichtung gesorgt ist. Aus den genannten Gründen und im Hinblick auf die

Durchführung kulturtechnischer Maßnahmen, wie Pflanzenschutz, Bodenpflege und Ernte, haben sich Reihenabstände zwischen 3,0 m und 3,6 m, eine schmale Baumkronenform mit Kronenbreiten zwischen 0,75 m und 1,20 m, je nach Bewirtschaftungsform Baumhöhen bis zu 3,0 m und Pflanzdichten von 3000 bis 4000 Bäumen je ha als günstig erwiesen. Weil in der Regel - aufgrund der geringeren Krankheitsanfälligkeit - schwach wachsende Unterlagen im Apfelanbau verwendet werden, ist die Errichtung eines Stützsystems erforderlich. Es wird zwischen Einzelbaumpfählung und Drahtrahmen unterschieden, wobei vor allem aus Kostengründen Drahtrahmenstützsysteme von Vorteil sind. Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes (2014) wurden im Jahr 2014 in den Bundesländern Baden-Württemberg und Niedersachsen die in Tabelle 5 aufgeführten Apfelsorten erwerbsmäßig angebaut.

Tabelle 5 Angebaute Apfelsorten in 2014 (nach Erntemengen absteigend sortiert) in den Bundesländern Baden-Württemberg und Niedersachsen

Baden-Württemberg	Niedersachsen
Elstar	Elstar
Jonagold	Jonagold
Jonagored	Jonagored
Boskoop	Braeburn
Gala	Boskoop
Golden Delicious	Roter Boskoop
Pinova	Gala
Idared	Golden Delicious
	Jonaprinze
	Holsteiner Cox
	Pinova
	Gloster
	Kanzi

Biologie und Phänologie

Bei Temperaturen zwischen 15 °C und 30 °C während der Vegetationsperiode erreichen Apfelbäume die höchsten Photosyntheseleistungen und somit die höchsten Wachstumsleistungen sowie besten Fruchtqualitäten (Fischer et al. 2002). Wie in Abbildung 4 a und b am Beispiel „Golden Delicious“ dargestellt, hat sich das Erreichen der Blütephase sowohl im süddeutschen Anbaugebiet „Bodensee“ (a) als auch im norddeutschen Anbaugebiet „Niederelbe“ (b) um etwa 2-3 Wochen innerhalb der letzten 30 bis 40 Jahre nach vorn verlagert. Im Zeitraum des Knospenschwellens bis hin zur Nachblüte sind Apfelbäume in besonderem Maße durch Spätfröste gefährdet. Die zeitliche Verschiebung nach vorn hebt die aus Klimaprognosen hervorgehende wahrscheinliche Abnahme der (Spät-) Frosttage vermutlich mindestens auf. Während der Reifezeit der Früchte wirkt sich eine moderate Schwankung zwischen Tag- und Nachttemperaturen hingegen positiv auf die Ausfärbung der Früchte aus. Eine ausreichende Verfügbarkeit von Sonnenlicht (400 nm bis 700 nm) als Energielieferant für die photosynthetischen Prozesse ist für das Baumwachstum und die Fruchtbildung von essenzieller Bedeutung. Der Wasserbedarf von Apfelbäumen, der nach Fischer et al. (2002) und Friedrich et al. (1992) bei circa 700 mm

Jahresniederschlagssumme liegt – wovon etwa 60 % innerhalb der Hauptvegetationszeit fallen sollten –, ist im Vergleich zu anderen Obstgehölzen besonders hoch (Abb. 3).

Zur Zeit des Austriebs und der Blüte können die Bäume oft noch auf das aus Winterniederschlägen verfügbare Wasser zurückgreifen. Im Hochsommer und bei entsprechend hohen Temperaturen ist die Gefahr von Trockenschäden besonders hoch. Für ein gutes Anwachsen und eine gute Anfangsentwicklung kommt der Zusatzbewässerung im ersten Jahr nach der Pflanzung besondere Bedeutung zu. Auch die ausreichende Versorgung mit Nährstoffen, vor allem Stickstoff, Kalium und Calcium, ist von hoher Bedeutung für gute Erträge und Qualitäten.

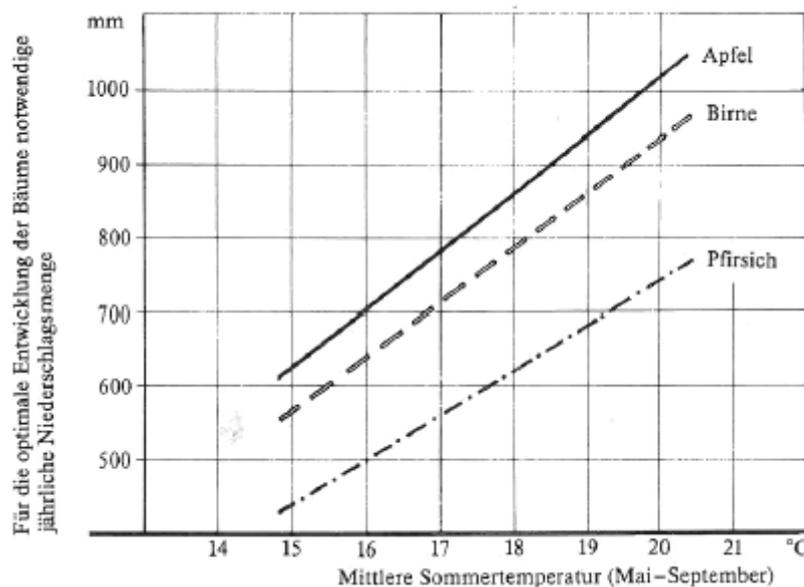


Abbildung 3 Vergleich des Wasserbedarfs von Apfel, Birne und Pfirsich in Abhängigkeit von der mittleren Temperatur im Zeitraum Mai bis September (nach Friedrich 1993)

Jegliche Hemmung der Nährstoffzufuhr, sei es eine durch Trockenheit geminderte Aufnahme oder eine Nährstoffauswaschung durch zu feuchte Bedingungen, wirkt sich negativ aus. Je nach Erreger können zu feuchte oder warm-trockene Bedingungen das Auftreten von Schaderregern hemmen oder fördern. Der Erntezeitpunkt hängt stark von der jahresspezifischen Witterung ab und liegt bei den Hauptsorten meist zwischen Anfang September und Ende Oktober. Der optimale Erntezeitpunkt hat erheblichen Einfluss auf die Fruchtqualität und die Lagerfähigkeit. Eine wetterbedingte Verzögerung, weil zum Beispiel die Böden durch Starkregenereignisse nicht befahrbar sind, wirkt sich dementsprechend negativ aus. Unter den bedeutendsten Sorten erreichen „Gala“ und „Elstar“ die Pflückreife recht früh, die Jonagoldgruppe ordnet sich im mittleren Segment ein und „Braeburn“ und „Fuji“ reifen beispielsweise recht spät. In der Regel können die Bäume nach Fischer et al. (2002) im vierten Standjahr ihren Vollertrag erreichen. Die Erntemengen liegen je nach Jahr, Sorte, Standort und Bewirtschaftung im Mittel zwischen 30 und 80 t pro ha (Abb. 5).

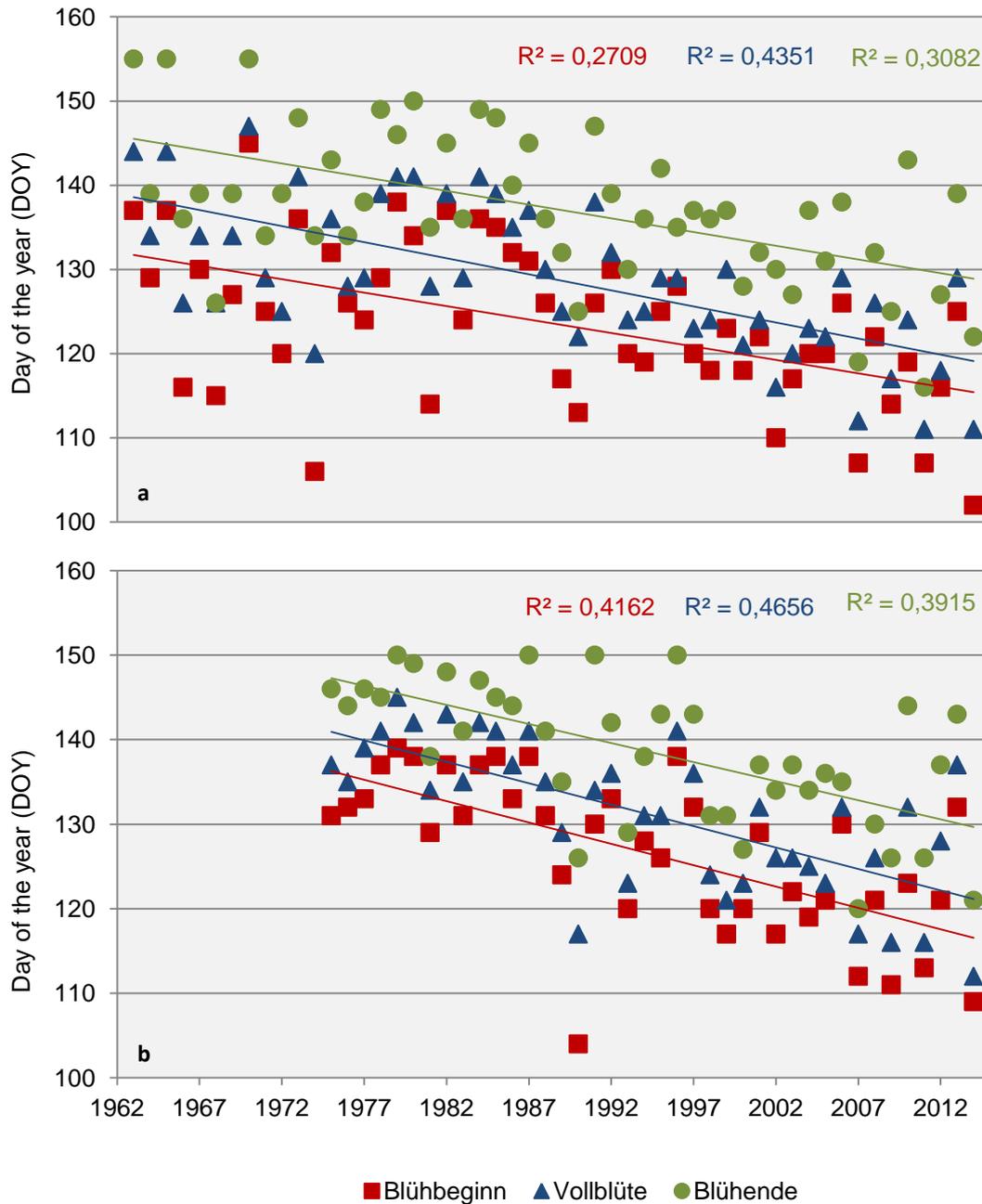


Abbildung 4 a, b Erreichen der Stadien Blühbeginn (BBCH 61), Vollblüte (BBCH 65) und Blühende (BBCH 69) der Apfelsorte „Golden Delicious“ am Standort a) Ravensburg (Bodensee) und b) Jork (Niederelbe) inklusive Trend (linear) und Bestimmtheitsmaß (R^2) (Datenquellen: KOB Bavendorf & OVR Jork)

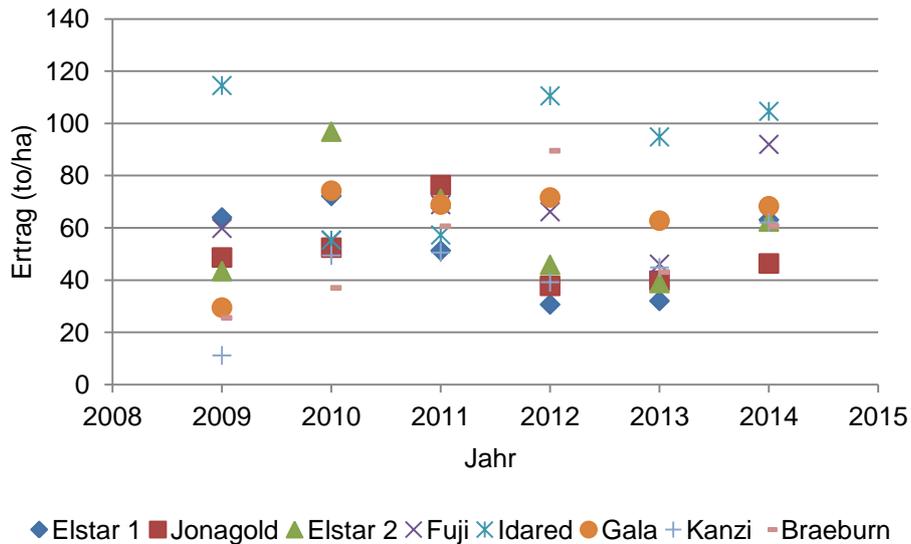


Abbildung 5 Erträge (n=48) der Apfelsorten „Elstar“, „Jonagold“, „Fuji“, „Idared“, „Gala“, „Kanzi“ und „Braeburn“ im Anbaugebiet „Bodensee“ (3 - 12 Standjahr, Standort Bavendorf) (Datenquelle: KOB Bavendorf)

Sorten- und Qualitätsansprüche

Nach Fischer et al. (2002) werden an Apfelsorten folgende Ansprüche gestellt: hoher, regelmäßiger Ertrag ohne sortenbedingte Alternanz im Ergebnis mittlerer bis hoher Fertilität; multiple Resistenz bzw. Widerstandsfähigkeit gegen wirtschaftliche Schaderreger und abiotische Schadfaktoren (Frost, Trockenheit, Hitze) und hohe äußere und innere Fruchtqualität (Geschmack, Farbe, Form, Konsistenz), dazu zählen insbesondere hohe Festigkeit; gute Lagerfähigkeit mit günstigem Nachlagerverhalten (shelflife); gute Transportfestigkeit; abknackendes und saftiges Fruchtfleisch; mittlere Größe, sortentypischer Geschmack und gutes Aussehen. Äpfel mit gelb-grüner Grundfarbe und roter Deckfarbe (mindestens 40 %) sowie süße Früchte sind am Markt derzeit besonders nachgefragt.

Kulturarbeiten

Zu den wichtigsten Kulturarbeiten im Apfelanbau zählen der Baumschnitt, die mechanische oder chemische Unkrautbekämpfung, Bodenpflfegemaßnahmen, die Düngung, nichtchemische oder chemische Pflanzenschutzmaßnahmen, die manuelle, mechanische oder chemische Fruchtausdünnung und die Ernte. Eine mechanisierte Beerntung mit Rüttlern ist derzeit nur bei Äpfeln für die industrielle Verarbeitung praktikabel. Je nach Sorte und Marktlage ist eine entsprechend lange oder kurze Lagerung der Äpfel bis zur Vermarktung erforderlich beziehungsweise möglich.

Krankheiten und Schädlinge

In Tabelle 6 sind die bedeutendsten Krankheiten und Schädlinge im Apfelanbau in Deutschland aufgeführt. Detailliertere Information befinden sich hierzu in Seidel (2014).

Tabelle 6 Bedeutendste Krankheiten und tierische Schaderreger im Apfelanbau (nach Friedrich 1993; Fischer et al. 2002 und Freier et al. 2012)

Bedeutendste Krankheiten	
Apfelmehltau	<i>Podosphaera leucotricha</i>
Feuerbrand	<i>Erwinia amylovora</i>
Obstbaumkrebs	<i>(Neo-)Nectria galligena</i>
Schorf	<i>Venturia inaequalis</i>
Triebsucht oder Besenwuchs	<i>Phytoplasmen (Candidatus Phytoplasma mali)</i>
Bedeutendste tierische Schaderreger	
Apfelwickler	<i>Cydia pomonella</i> L.
Apfel- oder Fruchtschalenwickler	<i>Adoxophyes reticulana</i> Hb.
Blutlaus	<i>Eriosoma lanigerum</i> Hausm.
Große Obstbaumschildlaus	<i>Eulecanium corni</i> Bouche
Grüne Apfelblattlaus	<i>Aphis pomi</i> de Geer
Kleiner Frostspanner	<i>Operophtera brumata</i> L.
Mehlige Apfelblattlaus	<i>Dysaphis plantaginea</i> Pass. syn. <i>mali</i>
Obstbaumspinmilbe	<i>Panonychus ulmi</i> Koch

3.1.1.2.2 Wein

Standortansprüche und Anbausysteme

Da die Weinrebe (*Vitis vinifera* subsp. *vinifera*) hohe Ansprüche an das Klima und damit an den Standort stellt, ist die Güte einer Weinbaulage von zentraler Bedeutung für Weinqualität (Ambrosi & Becker 1978; Müller et al. 2008). Bei der Standortwahl ist eine Vielzahl an Faktoren zu beachten und die Qualität eines Standortes letztendlich in Gesamtheit dieser Faktoren zu beurteilen. Nach Ambrosi und Becker (1978) sind aber prinzipiell jene Flächen am besten geeignet, die die höchsten Temperaturen erreichen, denn der Wärme kommt unter allen Klimafaktoren die bedeutendste Rolle zu. So sind Westhänge aufgrund der schnelleren Erwärmung besser geeignet als Osthänge und Südhänge mit etwa 30 ° Neigung dahingehend am besten zu beurteilen (Ambrosi & Becker 1978; Müller et al. 2008). Flächen mit einer Neigung von 0 bis 20 % gelten dabei als Flachlagen und solche mit einer Neigung von 61 % und mehr als Steilstlagen. Gegenüber dem Anbau auf Flachlagen ist der Weinbau auf Steil- und Steilstlagen deutlich arbeitsintensiver und unterliegt einer höheren Gefahr durch Erosion oder Trockenheit betroffen zu sein. Auch das Großklima ist bei der Eignung eines Standortes für den erwerbsmäßigen Weinanbau entscheidend. So sorgt das kontinental geprägte Klima ostdeutscher Weinbaulagen mit seinen harten Frösten und geringeren Jahresdurchschnittstemperaturen dafür, dass dort ein großflächiger rentabler Weinanbau deutlich schwieriger ist als beispielsweise in südwestdeutschen Lagen.

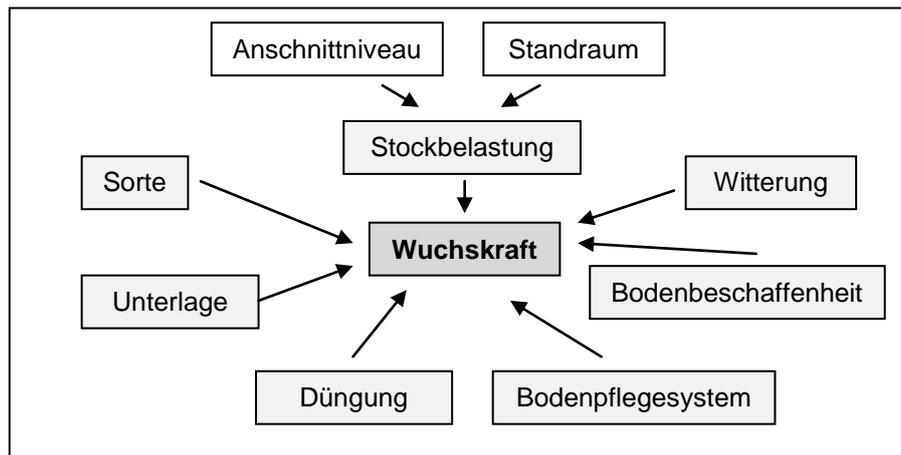


Abbildung 6 Wuchskraftbeeinflussende Faktoren bei Reben (nach Müller et al. 2008)

Man unterscheidet im Weinbau grundsätzlich in Rebschulen (Pflanzenanzucht), Junganlagen und Ertragsanlagen. Für den modernen Weinbau mit breiten Rebgassen werden kräftiger wachsende Unterlagen benötigt. Die Unterlagenwahl hängt außerdem vom Boden, der Standweite und der Rebsorte ab. So werden auf leichten Standorten eher wuchstarke, bei engen Standräumen beispielsweise weniger wuchstarke Unterlagen benötigt. Für die Durchführung der Erziehungsarbeiten sind Unterstützungsvorrichtungen notwendig. Die sogenannte Spalierdrahtrahmenerziehung ist in fast allen deutschen Weinanbaugebieten dominierend. Sie wird in verschiedenen Versionen verwendet. Dabei kann sich die Anzahl der Bogreben (1 oder 2) und deren Form (Flachbogen, Halbbogen, Pendelbogen oder Kordonerziehung) unterscheiden (Müller et al. 2008). Ansprüche an die Erziehungssysteme sind die Erzeugbarkeit hochwertigen Lesegutes mit ausreichenden, möglichst konstanten Erträgen, ein möglichst geringer Pflanzenschutzmitteleinsatz, arbeitswirtschaftlich günstige Bedingungen (z.B. geringer Zeitaufwand für Stockarbeiten und hoher Mechanisierungsgrad) sowie eine ausreichend lange Lebensdauer der Unterstützungsvorrichtung und der Reben (Müller et al. 2008). Normal sind Gassenbreiten zwischen 1,6 und 2,2 m. Die Laubwandhöhe sollte bei roten Rebsorten etwa dem 1,2-Fachen der Gassenbreite und bei weißen Rebsorten etwa der Gassenbreite entsprechen, daraus ergeben sich Stammhöhen zwischen 0,5 und 0,9 m. Das Anschnittniveau (Augen/m²) liegt in der Regel zwischen 5 bis 8 Augen/m². Man unterscheidet in Normalanlagen, erweiterte Normalanlagen, Weitraumanlagen und speziellen Anlageformen für Steillagen, die sich in der Regel durch kleinere Standräume auszeichnen. Das nach Müller et al. (2008) erstellte Schema (Abb. 6) fasst die wuchskraftbeeinflussenden Faktoren der Reben, welche bei der Planung einer Rebanlage einzubeziehen sind, zusammen. Nicht zuletzt hängt aber die Entscheidung für oder gegen einen Standort oder ein Erziehungssystem von den sortenspezifischen Ansprüchen bzw. der Eignung und dem Produktionsziel ab.

Neben den klassischen Erziehungsformen gewinnen Minimalschnitt- bzw. Nichtschnittssysteme in den letzten Jahren auch in Deutschland an Bedeutung. In Ländern mit besonders trockenen und heißen Bedingungen, wie Australien, wird dieses System bereits seit etwa 2 Jahrzehnten erfolgreich praktiziert. Die geschlossene Laubwand kann die Beeren zum Beispiel vor Sonnenbrand und Hagel schützen und minimiert den Arbeitskraftbedarf erheblich. Da die Erfahrungen zum Einfluss auf die Weinqualitäten bei der Verwendung

dieses Systems in Deutschland noch nicht in Gänze erforscht sind, kommt es derzeit aber nur auf etwa 1,5% der Anbaufläche zum Einsatz.

Um die Weinqualität zu steigern und den Weinmarkt zu stabilisieren wurde in Deutschland die Hektarertragsregelung eingeführt. Es wird dabei zwischen dem „Ein-Wert-Modell“ und dem „Qualitätsstufen-Modell“ unterschieden (Tab. 7). Diese Regelung spielt für den Ausgleich von Mindererträgen, zum Beispiel durch Spätfrost, eine zentrale Rolle, denn es können innerhalb eines Betriebes die Kontingente zwischen geschädigten und nicht geschädigten Flächen ausgeglichen werden.

Tabelle 7 Hektarertragsregelung und ihre Umsetzung in den deutschen Weinanbaugebieten (Quelle: „Aktuelles Weinrecht“, Deutsches Weininstitut 2014)

Anbaugebiet	Ein-Wert-Modell	Qualitätsstufenmodell		
	20% Überlagerung möglich	Überlagerung nicht möglich		
	hl/ha	hl/ha	hl/ha	hl/ha
		QbA*	LW + DW*	GW*
Ahr	100			
Mittelrhein	105			
Mosel		125	150	200
Nahe, Rheinhessen, Pfalz		105	150	200
Hessische Bergstraße	100			
Rheingau	100			
Baden	90**			
Württemberg	110, 150 in Steillagen			
Franken	90			
Saale-Unstrut	90			
Sachsen	80, 90 in Sachsen-Anhalt			

* QbA = Qualitätswein bestimmter Anbaugebiete LW = Landwein, DW = Deutscher Wein, GW = Grundwein (früher Verarbeitungswein),

** Für den Jahrgang 2011 wurde der Hektarhöchstertag in Baden von 90 auf 100 erhöht.

Biologie und Phänologie

Das Wachstum der Reben wird von der Apikaldominanz („Vorherrschaft der Triebspitze“) bestimmt und muss deshalb zum Ziel der Bewirtschaftbarkeit und Ertragsbildung durch Schnitt- und Erziehungsmaßnahmen beeinflusst werden. Ambrosi und Becker (1978) geben als optimales Temperaturniveau 25 bis 28 °C an. Um den höchsten Wirkungsgrad der Assimilation zu erreichen benötigen die Reben eine Lichtmenge von etwa 20 000 Lux (bei sonst optimalen Bedingungen). Die optimalen Temperaturen werden in deutschen Anbaugebieten nur in einer kurzen Phase des Jahres im Sommer erreicht, eine ausreichende Lichtmenge jedoch fast immer. Reben sind Tiefwurzler, deren Fußwurzeln unter optimalen Bedingungen bis zu 20 m tief in den Boden vordringen können und gelten als recht trocken tolerant. Wachstum und Austrieb der Reben beginnen sortenspezifisch bei etwa 8 bis 10 °C (Ambrosi & Becker 1978). Das Triebwachstum wird von der Lufttemperatur, dem Ernährungszustand und der Bodentemperatur beeinflusst. Für das Triebwachstum optimal sind Temperaturen um 25 °C. Für die Befruchtung, genauer das Einwachsen der Pollenschläuche in die Samenanlage, ist eine Temperatur von mindestens 14 °C nötig. Die

Blütezeit ist nach Angaben von Ambrosi und Becker (1978) etwa Mitte Juni und stark temperaturabhängig. Erfolgt keine Befruchtung verrieseln die Blüten oder es entstehen kernlose Jungfernerfrüchte. Auch übermäßiges Wachstum kann durch eine zu schlechte Nährstoffversorgung das Verrieseln der Blüten fördern. Ambrosi und Becker (1978) geben des Weiteren einen Wasserbedarf von etwa 430 L pro Rebstock innerhalb der Wachstumsperiode an. Reben gelten als sehr trockentolerant, weil sie in der Lage sind, ihren Wasserhaushalt sehr ökonomisch zu regulieren. Wichtige Kernnährstoffe, die zum großen Teil über die Wasseraufnahme zugeführt werden, sind Stickstoff, Phosphor und Kalium, aber auch eine ausreichende und ausgewogene Versorgung mit Calcium, Magnesium, Schwefel und Spurenelementen sichern gute Qualitäten und Erträge. Einen weiteren wichtigen Beitrag zum Erreichen guter Qualitäten trägt das Blatt/Frucht-Verhältnis bei. Unter hiesigen Bedingungen werden höchste Zuckereinlagerungen bei einem Verhältnis von 16 bis 22 cm² Blattfläche pro Gramm Traubenertrag erreicht, was bei Sorten mit mittelgroßen Trauben - wie Riesling - bei etwa 7 Haupttriebblättern je Traube der Fall ist (Müller et al. 2008). Der Lesezeitpunkt hat großen Einfluss auf die Ertragshöhe und die Inhaltsstoffe, den Gesundheitszustand und die Ausfärbung der Beeren. Der optimale Zeitpunkt der Lese ist also vom geplanten Verwendungszweck, der Witterung und der Rebsorte abhängig. In der Regel geht ein Aufschub der Lese mit einer Minderung der Erträge und Säuregehalte und einem Anstieg der Mostgewichte einher (Müller et al. 2008). Man geht im Ertragsweinbau von etwa 25 bis 30 Ertragsjahren für einen Rebe aus. Für die Pflanzung neuer Reben, was in der Regel gegen Ende April bis Mitte Mai stattfindet, sind Bodentemperaturen zwischen 7 und 10 °C optimal (Müller et al. 2008).

Wie in Abbildung 7 beispielhaft an der Rebsorte „Riesling“ am Standort Neustadt/Weinstr. dargestellt, konnte auch im Weinbau innerhalb der letzten 60 Jahre je nach Stadium ein deutliche Verfrühung um bis zu 20 Tage im Einsetzen der Entwicklungsstadien verzeichnet werden. Besonders der frühere Austrieb kann die Spätfrostgefährdung erhöhen. Es ist anzunehmen, dass dieser Effekt bei eher früh austreibenden Sorten, wie Morio-Muskat oder Ortega, von besonders hoher Bedeutung ist.

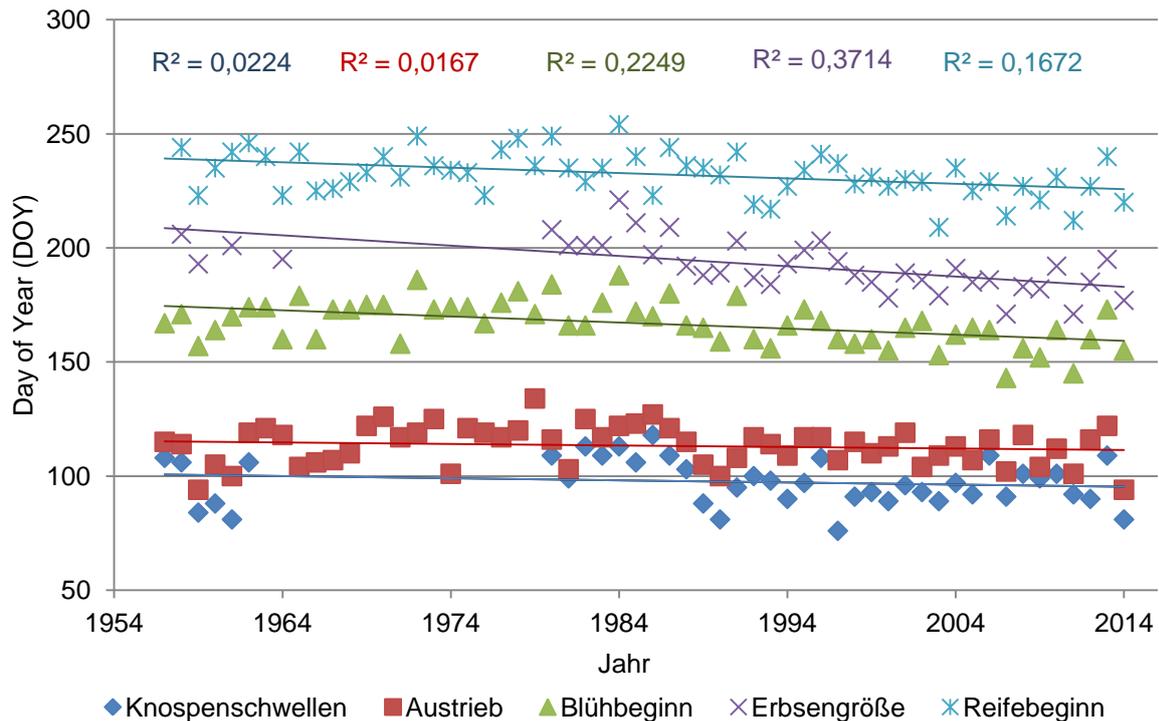


Abbildung 7 Erreichen der Stadien Knospenschwellen (BBCH 01), Austrieb (BBCH 09), Blühbeginn (BBCH 61), Erbsengröße (BBCH 75) und Reifebeginn (BBCH 81) der Rebsorte „Riesling“ am Standort Neustadt/Weinstr. (Anbaugebiet Pfalz) inklusive Trend (linear) und Bestimmtheitsmaß (R^2) (Datenquelle: DLR Rheinpfalz Neustadt/Weinstr.)

Sorten- und Qualitätsansprüche

Ziele der Rebenzüchtung sind eine kräftiger, aufrechter Wuchs; eine gute Holzausreife; ein sicherer Austrieb; eine hohe Frosthärte; gesundes, robustes Laub; eine gute, sichere Ausreife; ein festes Stielgerüst der Trauben; eine geringe Anfälligkeit gegenüber Botrytis, Peronospora und Oidium und eine sortentypische Harmonie der Geschmacksstoffe (Ambrosio & Becker 1978). Darüber hinaus wird von den Sorten eine hohe Ertragsicherheit bei entsprechender Qualität gefordert.

Kulturarbeiten

Zu den wichtigsten Kulturarbeiten in Ertragsanlagen gehören der Rebschnitt; die Regulierung des Menge-Güte-Verhältnisses (Ertragssteuerung); das Biegen (auch Gerten genannt); die Laubarbeiten (Entblätterungsmaßnahmen); die Bodenbearbeitung; die Düngung; der Pflanzenschutz; die Traubenlese und gegebenenfalls Maßnahmen zur Minderung der Schädigungen durch Extremwetterlagen (z.B. Beregnung und Frostschutzmaßnahmen). Der Mechanisierungsgrad dieser Kulturmaßnahmen hängt von der Bewirtschaftungsform und den räumlichen Gegebenheiten ab. Vollernter können zum Beispiel in Lagen bis zu 35 % Steigung eingesetzt werden.

Krankheiten und Schädlinge

Tabelle 8 listet die bedeutendsten Krankheiten und Schädlinge im Weinbau in Deutschland auf. Detailliertere Informationen befinden sich hierzu in Seidel (2014).

Tabelle 8 Bedeutendste Krankheiten und tierische Schaderreger im Weinbau (Quellen: Freier et al. 2012 und Vitipendium 2014)

Bedeutendste Krankheiten	
Grauschimmel	<i>Botrytis cinerea</i>
Echter Mehltau (Oidium)	<i>Erysiphe necator</i>
Falscher Mehltau (Peronospora)	<i>Plasmopara viticola</i>
Roter Brenner	<i>Pseudopezicula tracheiphila</i>
Schwarzfäule	<i>Guignardia bidwellii</i>
Bedeutendste tierische Schaderreger	
Bekreuzter Traubenwickler	<i>Lobesia botrana</i>
Einbindiger Traubenwickler	<i>Eupoecilia ambiguella</i>
Grüne Rebzikade	<i>Empoasca vitis</i>
Kräuselmilbe	<i>Calepitrimerus vitis</i>
Obstbaumsppinnmilbe (Rote Spinne)	<i>Panonychus ulmi</i>

3.1.1.2.3 Hopfen

Standortansprüche und Anbausysteme

Für die Wahl eines Standortes zum Anbau von Hopfenreben (*Humulus lupulus* L.) sind die Lichtverhältnisse und die Tageslichtlängen sowie die Wasserverfügbarkeit, welche gegebenenfalls durch Bewässerung abgedeckt werden muss, und Frostfreiheit von Ende April bis Mitte September die mit Abstand bedeutendsten Faktoren (Biendl et al. 2012; LfL Bayern 2012; Verband Deutscher Hopfenpflanzer e.V. 2014). Leichte Böden gelten als geeigneter und können nach Angaben der LfL Bayern (2012) im langjährigen Mittel 12 % höhere Erträge als schwere Böden erbringen. Idealerweise werden Hopfengärten auf ebenen, wenig geneigten Flächen angelegt, da dort die Gefahr von Erosionen und Abschwemmungen geringer ist und sich arbeitswirtschaftliche Vorteile gegenüber stärker geneigten Flächen ergeben.

Die Bifänge (Dämme) sollten auf Flächen bis zu 15 % Neigung möglichst quer zum Hang und auf stärker geneigten Flächen in Richtung Falllinie angelegt werden (LfL Bayern 2012). Allerdings müssen dann Erosionsschutzmaßnahmen – wie eine Unterbrechung der Bifänge durch Grünstreifen und Zwischenfruchteinsaaten - vorgenommen werden. Der erwerbsmäßige Hopfenanbau findet in der Regel in Großraumanlagen mit Doppelstockaufleitung statt (LfL Bayern 2012). Die Reihenabstände variieren in den Anbaugebieten und reichen von 1,5 m mit zusätzlichen Spritzgassen bis zu 3,2 m. Als Kletterhilfe werden Hochgerüste verwendet, welche in Deutschland in der Regel zwischen 7,0 und 7,5 m hoch sind. Die Hopfenranken werden an Drähten „aufgeleitet“. Bei dieser Form der Gerüste stehen sich das Erreichen hoher Erträge der Anfälligkeit für Schädigungen durch Extremwetterlagen wie Sturm und Hagel gegenüber. Aus diesem Grund wird seit einigen Jahren an der Entwicklung von Niedergerüsten und der Züchtung dafür geeigneter Sorten geforscht (Biendl et al. 2012). Bei den Sorten unterscheidet man je nach Produktionsziel zwischen Aroma- und Bitterhopfen. Beliebte Aromahopfensorten – die sich durch bessere Aromabewertung auszeichnen - sind zum Beispiel „Hallertauer Tradition“, „Hallertauer Mittelfrüh“ und „Perle“. Zu den beliebten Bitterhopfensorten – die mit 7 bis 15

% deutlich höhere Alphasäuregehalte aufweisen - zählen unter anderem „Hallertauer Magnum“, „Herkules“ und „Nugget“. Um Hopfen zu vermarkten, muss er aus einem anerkannten Anbaugebiet stammen und gesiegelt werden (Herkunfts-/Siegelbezirke).

Biologie

Hopfen gehört zu denjenigen ausdauernden Pflanzen, die im Frühjahr über einen Wurzelstock neu austreiben. In gut gepflegten Anlagen können Hopfenpflanzen nach Biendl et al. (2012) durchaus über einen Zeitraum von 25 Jahren gleichbleibend gute Erträge erreichen. Hopfen ist eine Kurztagspflanze. Die Umstellung des Hopfens vom vegetativen Wachstum auf die generative Phase erfolgt bei einer Tageslänge von 16 bis 18 Stunden. Wenn die Tage dann wieder kürzer werden bilden sich die Blüten (Biendl et al. 2012). Zudem muss eine kritische Pflanzenhöhe, welche an der Anzahl der gebildeten Nodien (sortenabhängig: zwischen 12-25 Nodien) gemessen wird, überschritten worden sein um im Kurztag zum Blühen zu kommen (Hintermeier 1993). Niederschlagsmengen von 100 mm/Monat im Juni, Juli und August versprechen gute Erträge (LfL Bayern 2012). Genügend Wasser und mäßige Temperaturen steigern Alphasäuregehalte. Anfang Mai wird der Hopfen per Hand an die Aufleitdrähte angeleitet. Von Ende April bis Ende Juni ranken sich die Triebe bis zur Gerüsthöhe und haben diese nach circa 70 Tagen erreicht. Im Durchschnitt wächst eine Hopfenpflanze damit etwa 10 cm pro Tag, unter günstigen Bedingungen können dies bis 35 cm sein (Verband Deutscher Hopfenpflanzer e.V. 2014). Die Blüte erfolgt in der Regel im Juli und bis Ende August reifen etwa 5000 bis 10000 Dolden pro Rebe. Die im Hopfen enthaltenen Aromen (Öle und Harze) und Bitterstoffe (Alphasäure) sind der Grund seiner Nutzung für die Bierherstellung. Diese Inhaltsstoffe fördern die Schaumbildung, sind Voraussetzung für die Haltbarkeit des Bieres und verleihen ihm den hopfentypischen Geruch und Geschmack (Verband Deutscher Hopfenpflanzer e.V. 2014).

Die Abbildung 8 a bis d verdeutlicht die jahres- und sortenabhängigen Unterschiede in der Ontogenese des Hopfens. Über den Zeitraum 1998 bis 2014 ist keine klare Tendenz zu Veränderungen, beispielsweise eine deutliche Verfrühung der Blüte, zu erkennen. Nur die Sorte „Hallertauer Tradition“ zeigt einen zunächst eher überraschenden, leichten Trend zum verzögerten Erreichen der Entwicklungsstadien im Verlauf der letzten 16 Jahre. Als Grund geben Experten der LfL Bayern an, dass es in den letzten Jahren oft zu einem zu kühlen und zu nassen Juni und Juli kam. Dies verursachte je nach Sorte eine mehr oder weniger starke Entwicklungsverzögerung. Es fällt des Weiteren auf, dass die Schwankungen zwischen den Jahren je nach Sorte unterschiedlich stark ausfallen. So zeigt insbesondere „Hallertauer Mittelfrüh“ einen recht variablen Phänologieverlauf, was ebenfalls auf das sortenspezifische Wachstumsverhalten, zum Beispiel die Neigung zur Frühblüte, zurückgeführt wird.

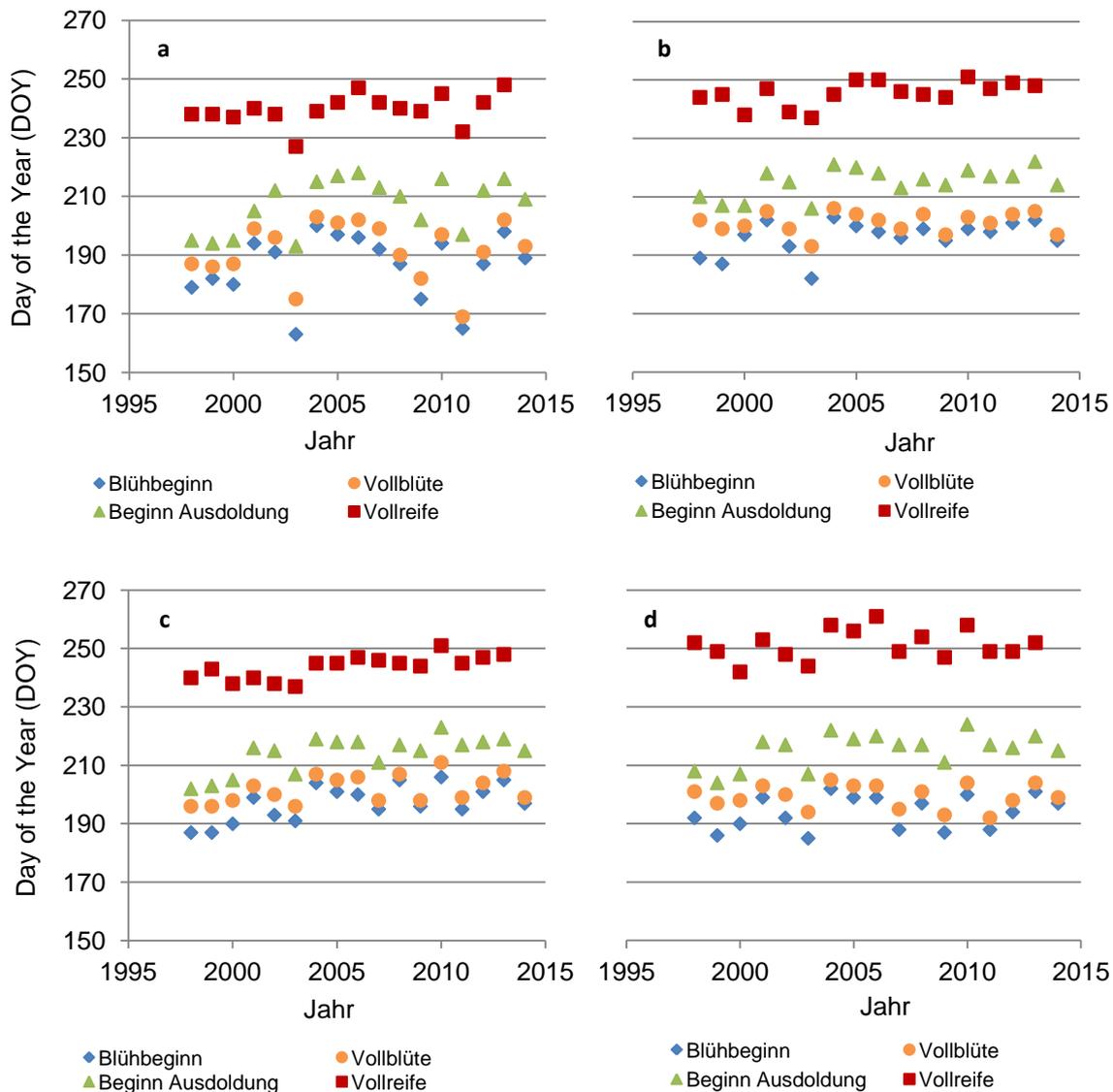


Abbildung 8 a-d Erreichen der Stadien Blühbeginn (BBCH 61), Vollblüte (BBCH 65), Beginn Ausdoldung (BBCH 71) und Vollreife (BBCH 89) der Hopfensorten „Hallertauer Mittelfrüh“ (a), „Perle“ (b), „Hallertauer Tradition“ (c) und „Hallertauer Magnum“ (d) am Standort Hüll (Anbaugebiet Hallertau) in den Jahren 1998 bis 2014 (Datenquelle: LfL Bayern, Hüll)

Sorten- und Qualitätsansprüche

Nach Angaben des Verbandes Deutscher Hopfenpflanzer e.V. (2014) und der LfL Bayern (2012) sind die Züchtungsziele im Hopfen eine hohe Toleranz/Resistenz gegen Krankheiten und Schädlinge; gute Wuchs- und Pflückeigenschaften; hohe Anpassungsfähigkeit an Witterungsextreme und exzellente Aroma- und Bitterwerte (Brauwert). Auch der sortenspezifische Reifezeitpunkt hat Einfluss auf die Absatzmöglichkeiten.

Kulturarbeiten

Die Triebe des Vorjahres am Hopfenstock werden nach den Wintermonaten bis auf die Knospen im Damminneren zurückgeschnitten. Nach dem Austrieb erfolgt das Aufleiten und Zurückschneiden überflüssiger Triebe (Ausputzen), was zum Teil in mühsamer Handarbeit durchgeführt wird. Wenn die Pflanzen etwa die mittlere Gerüsthöhe erreicht haben wird zum Zweck der Vorbeugung des Befalls mit Falschen und Echem Mehltau der untere

Rebenbereich bis ca. 1,20 m entlaubt. Im äußeren Stockbereich kann ein mechanisches Wegkreiseln stattfinden. Eventuell muss ein zweites Anleiten, das Nachleiten, durchgeführt werden. Der Wurzelstock wird um eine bessere Wasserversorgung sicher zu stellen und die Wurzelbildung zu fördern mit Erde bedeckt. Das Anackern in der zweiten Maihälfte und im Juni gibt den Trieben Halt, es können sich im Bifang Sommerwurzeln bilden, die Bodenlockerung und damit die Durchlüftung und Wasseraufnahme wird gefördert. Die Bestandskontrolle auf Schädlinge und Krankheiten und die Durchführung von Pflanzenschutzmaßnahmen sind zur Ertrags- und Qualitätssicherung unerlässlich. Die erntereifen Hopfenreben werden mit einem an einem Schlepper montierten Rebenreißgerät auf den angehängten Rebenladewagen geladen. Die gepflückten Dolden müssen zur Konservierung umgehend von etwa 80 bis 85% auf 10% Wassergehalt getrocknet werden.

Krankheiten und Schädlinge

Die bedeutendsten Krankheit und tierischen Schaderreger im Apfelanbau sind in Tabelle 9 aufgelistet. Detailliertere Information befinden sich hierzu in Seidel (2014).

Tabelle 9 Bedeutendste Krankheiten und tierische Schaderreger im Hopfenbau (Quelle: LfL Bayern 2009 und Freier et al. 2012)

Bedeutendste Krankheiten	
Botrytis	<i>Botrytis cinerea</i>
Echter Mehltau	<i>Podosphaera macularis</i>
Falscher Mehltau	<i>Pseudoperonospora humuli</i>
Verticilliumwelke	<i>Verticillium albo-atrum</i> und <i>Verticillium dahliae</i>
Bedeutendste tierische Schaderreger	
Drahtwurm	<i>Agriotes lineatus</i>
Gemeine Spinnmilbe (Bohnenspinmilbe)	<i>Tetranychus urticae</i>
Hopfenblattlaus	<i>Phorodon humuli</i>
Hopfen-Erdfloh	<i>Psylliodes attenuatus</i>
Liebstockelrüssler, Luzernerüssler	<i>Otiorhynchus ligustici</i>

3.1.1.2 Allgemeines zum Anbau von Gemüse

Im Jahr 2014 wurde in Deutschland auf insgesamt gut 115 000 ha Freilandgemüse angebaut, wobei die flächenmäßig dominierenden Kulturen Bleichspargel, Speisezwiebeln, Möhren und Kopfkohl (insbesondere Weißkohl) waren (Statistisches Bundesamt 2015). Je nach Kultur werden im Freilandgemüseanbau ein bis mehrere Sätze pro Jahr gesät bzw. gepflanzt oder es handelt sich, wie bei Spargel, um eine Dauerkultur mit mehrjährigen Standzeiten. Entsprechend der Kultur und ihrer produktionstechnischen Führung geht von den unterschiedlichen Extremwetterlagen ein mehr oder weniger starkes Risiko für den Anbau, insbesondere Erträge und Qualitäten, aus. Durch die hohe Wertschöpfung und die hohen Qualitätsansprüche an Gemüsekulturen, die je nach Vermarktungsziel variieren, gehen damit erhebliche monetäre Risiken einher.

Die Auswirkungen von Extremwetterlagen können die Pflanzen selbst betreffen oder kulturtechnische Einschränkungen umfassen. Tabelle 10 fasst die wichtigsten

kulturtechnischen Beeinflussungen durch Extremwetterlagen im Gemüsebau zusammen. Da die Ansprüche, die Eigenschaften und die Kulturführung zwischen den in diesem Projekt behandelten vier Gemüsekulturen zum Teil stark differieren, sind die für den Einfluss von Extremwetterlagen wichtigen, kulturspezifischen Informationen in den folgenden Kapiteln zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 10 Zusammenfassung der wichtigsten kulturtechnischen Auswirkungen von Extremwetterlagen im Gemüseanbau

Extremwetterlage	Kulturtechnische Auswirkungen
Trockenheit/Dürre	Herabsetzung der Wirkung von Pflanzenschutzmitteln erhöhte Gefahr von Schädigungen durch Pflanzenschutzmittel (Verbrennungen u.a.) ggf. Behinderung bei der termingerechten Ausbringung
Hitze	Herabsetzung der Wirkung von Pflanzenschutzmitteln erhöhte Gefahr von Schädigungen durch Pflanzenschutzmittel (Verbrennungen u.a.) ggf. Behinderung bei der termingerechten Ausbringung
Überschwemmung/ Staunässe	Minderung der Befahrbarkeit Erhöhte Gefahr für Verdichtungen und Strukturschäden ggf. Behinderung kulturtechnischer Maßnahmen
Sturm	ggf. Behinderung bei der Durchführung von Pflanzenschutzmaßnahmen (Abdriftvermeidung) Verlagerung von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen auf andere Felder/Schläge durch Abdrift und Bodenabtrag
Spät-, Früh- und Winterfrost	Verzögerung der Frühjahrsarbeiten

3.1.1.2.1 Spargel (Bleichspargel)

Standortansprüche und Anbausysteme

Für einen erfolgreichen Anbau von Bleichspargel (*Asparagus officinalis* L.) wird empfohlen, aufgrund der besseren Sauerstoffverfügbarkeit, besseren Erwärmung und günstigeren Erntebedingungen, Standorte mit leichten Böden mit einem Humusgehalt von maximal 5% zu wählen (Vogel 1996). Lehmmige Sandböden mit einem Schluffanteil von < 20% oder Sandböden, die mit organischer Substanz angereichert wurden, eignen sich besonders (Wonneberger & Keller 2004). Desweiteren sollten Frostlagen und windoffene Lagen gemieden werden, besonders Sorten mit langen Internodien sind durch starke Winde bruchgefährdet. Warme und sonnige Lagen fördern eine frühe Erwärmung der Böden und ein schnelleres Erreichen der für das Wachstum notwendigen Bodentemperaturen von etwa 10 bis 12 °C. Zusätzlich sollten die Böden tiefgründig und steinfrei sein, um die hohen Qualitätsansprüche an die Spargelstangen zu gewährleisten.

Neu angelegte Flächen sind frühestens ab 2. Standjahr beerntbar. Spargel wird in der Regel einreihig angepflanzt und in Dämmen kultiviert, die zum Zweck der Steuerung von Qualitäten und Ernteterminen mit verschiedenen Folien, Vliesen, Kleintunneln oder auch mit

Bodenheizung kombiniert werden (Vogel 1996; Krug et al. 2003; Expertenbefragungen DLR 2014).

Biologie und Phänologie

Spargelpflanzen sind Tiefwurzler (bis zu 5 m), gelten als überaus staunässeempfindlich, aber relativ trocken tolerant. Neuanlagen sollen im Zeitraum Ende März bis Anfang April gepflanzt werden. Eine zu späte Pflanzung, durch zum Beispiel wassergesättigte Böden, kann mit erheblichen Beeinflussungen und dem Auftreten von Arbeitsspitzen einhergehen. Zu früh gepflanzte Bestände sind wiederum durch Spätfrost gefährdet. Der Austrieb bestehender Bestände erfolgt im Frühjahr etwa ab 4 °C (Krug et al. 2003). Im Vergleich zu Süddeutschland wird in Norddeutschland circa 7 - 10 d später mit der Bleichspargelernte begonnen. Der Erntebeginn liegt in Anlagen ohne Beheizung etwa zwischen 23. März und 5. Mai. In Abhängig von Standzeit beträgt die Erntedauer bis zu 90 d und das Ernteende liegt etwa zwischen 10. Mai und 24. Juni. Das Längenwachstum der Spargelstangen steigt zwischen 10 und 30 °C linear an (Krug et al. 2003). Die optimalen Temperaturen liegen in der Dammmitte je nach Sorte zwischen 20 und 22 °C (Expertenbefragung DLR 2014). Die Maitemperaturen haben eine besonders hohe ertragsbeeinflussende Wirkung. Eine Steigerung der Maitemperaturen um + 0,5 °C kann einen Ertragszuwachs um 2 dt/ha bedeuten (Vogel 1996; Ellinger & Hentschel 1988) und eine Temperaturabweichung um ± 1 °C Ertragsschwankungen von bis zu ± 40 kg/ha*d (Expertenbefragung DLR 2014). Gute Anlagen können nach Wonneberger und Keller (2004) in der Hauptertragszeit bis zu 80 dt/ha erbringen, was circa 10 Stangen/Pflanze*a entspricht. Nach Abschluss der Erntephase lässt man die Triebe wachsen und es entwickelt sich das Kraut, das dem Aufbau von Assimilaten durch die Photosynthese dient. Der Wasserbedarf im Juli und August, kurz vor dem Wachstumsschub, ist gegenüber der Stechphase besonders hoch. Ab Temperaturen unter 16 bis 18 °C (Krug et al. 2003) findet im Herbst die verstärkte Umlagerung der Assimilate in die Speicherorgane statt. Diese Phase dauert optimal mindestens 3 Monate (September - Dezember). Je früher das Ernteende erreicht ist, umso länger ist die photosynthetisch aktive Phase und damit die Phase des Assimilateaufbaus. Die Optimaltemperatur hierfür liegt zwischen 5 und 12 °C (Krug et al. 2003). Der Zeitpunkt der Krautreife (mittlere Vergilbung) liegt in der Regel zwischen Oktober und Dezember. Im Winter durchlaufen die Spargelpflanzen in unseren Breiten bei entsprechend niedrigen Temperaturen eine Ruhephase, bis im darauffolgenden Frühjahr die notwendigen Temperaturen für ein erneutes Austreiben erreicht sind.

Sorten- und Qualitätsansprüche

Folgende Anforderungen werden an Spargelsorten gestellt: hoher Ertrag, definierter Erntezeitraum, spät einsetzende Alterung, spät einsetzende Faserbildung, geringe Krankheitsanfälligkeit, hohe Toleranz ggü. Blattkrankheiten, Standfestigkeit, geringer Anteil hohler und berosteter Stangen, hoher Anteil Sortierung 16 – 26 mm, gleichmäßiger Stangendurchmesser, definierte Anthocyanbildung und geschlossene Köpfe.

Kulturarbeiten

Wonneberger und Keller (2004) geben einen Überblick über die Kulturarbeiten in einer Ertragsanlage im Jahresverlauf (Tab. 11).

Tabelle 11 Kulturarbeiten in einer Bleichspargel-Ertragsanlage im Jahresverlauf (nach Wonneberger & Keller 2004)

Monat	Arbeiten
Januar	Vorbereitungen, eventuell Taschenfolien mit Sand befüllen
Februar/März	Dämme ziehen, schwarze und transparente Folie legen, eventuell Doppeldeckung aufbringen
April	restliche Folien legen, erste Ernte
Mai	Laufgassen lockern (grubbern), Dämme nachglätten, Antitaufolie abräumen
Juni	Bodenproben ziehen, Düngung nach Bedarf kurz vor Erntende, schwarz-weiße Folien entfernen, Dämme seitlich verringern oder Abdämmen, Unkrautbekämpfung
Juli/August	Unkrautbekämpfung, Pflanzenschutz, Nachdüngung, Beregnung
September	Nur noch am Monatsanfang beregnen, Pflanzenschutz abschließen
Oktober/November	Kraut nach Vergilben häckseln, Stängelreste abstummeln und Winterdämme zur besseren Verrottung aufhäufeln, evtl. Dämme formen, schwarze Folie legen

Krankheiten und Schädlinge

In Tabelle 12 sind wichtige Krankheiten und Schädlinge im Bleichspargelanbau aufgeführt. Detailliertere Information befinden sich hierzu in Seidel (2014).

Tabelle 12 Krankheiten und tierische Schaderreger in Bleichspargel (Quellen: Crüger et al. 2002; Vogel 1996; Wonneberger & Keller 2004; Hortipendium 2014)

Bedeutendste Krankheiten und ihre Erreger	
Stängel- und Fußkrankheit	<i>Fusarium culmorum</i>
Fusarium-Wurzelfäule	<i>Fusarium oxysporum f. sp. asparagi</i>
Violetter Wurzeltöter	<i>Helicobasidium bressonii</i> bzw. <i>Rhizoctonia crocorum</i>
Grauschimmel	<i>Botrytis cinerea</i>
Stemphylium-Spargellaubkrankheit	<i>Stemphylium botryosum</i>
Spargelrost	<i>Puccinia asparagi</i>
Kronen- und Sprossfäule	<i>Phytophthora megaspermae var. sojae</i>
Spargelvirus 1 bzw. 2	k.A.
Bedeutendste tierische Schaderreger	
Spargelblattlaus	<i>Brachycorynella asparagi</i>
Schwarze Bohnenlaus	<i>Aphis fabae</i>
Spargelfliege	<i>Platyparea poeciloptera</i>
Thripse (z.B. Zwiebelthrips)	<i>Thrips tabaci</i>
Spargelhänchen	<i>Crioceris asparagi</i>
Gemeine Wiesenwanze	<i>Lygus pratensis</i>
Trübe Wiesenwanze	<i>Lygus rugulipennis</i>
Gänsefuß-Schönwanze	<i>Adelphocoris lineolatus</i>
Spargelkäfer	<i>Crioceris duodecimpunctata</i>
Spargelminierfliege	<i>Ophiomyia simplex</i>

3.1.1.2.2 Speisezwiebel

Standortansprüche und Anbausysteme

Nach Vogel (1996) eignen sich für den Anbau von Speisezwiebeln (*Allium cepa* L. var. *cepa*) vor allem Schwarzerde- und humose Lösslehm-Standorte. Leichte, sandige Böden und schwere Tonböden mindern die Ertragsleistung erheblich. Günstig sind zudem Lagen mit warmem Vorsommer und ausreichend Niederschlägen in Hauptwachstumsphase (Juni/Juli) und warmer/trockener Spätsommerwitterung, damit die Gefahr für Qualitätsverluste während der Reifeperiode möglichst gering ausfällt (Vogel 1996; Krug et al. 2003; Wonneberger & Keller 2004). Für den Überwinterungsanbau eignen sich insbesondere Regionen mit milderem Wintern, zum Beispiel Südwestdeutschland.

Grundsätzlich wird im Speisezwiebelanbau zwischen Sommer- und Winterzwiebeln unterschieden. Zusätzlich gibt es erhebliche sortenbedingte Unterschiede in Form und Farbe (Schalenfarben weiß, gelb, braun, rot) (Vogel 1996). Meist erfolgt der Anbau leistungsfähiger Hybridsorten, die sich durch besonders hohe Wasseransprüche auszeichnen, in Direktsaat in Form von Beetanbau. Ertragssicherheit und wirtschaftlich lohnende Erträge sind in den meisten Gebieten Deutschlands nur mit Zusatzbewässerung möglich (Vogel 1996; Krug et al. 2003; Wonneberger & Keller 2004; Expertenbefragung DLR 2014).

Biologie und Phänologie

Die Entwicklung der Zwiebel wird über die Temperatur und Tageslichtlänge maßgeblich gesteuert und desweiteren von der Lichtintensität, dem Nährstoff- sowie Wasserangebot beeinflusst (Krug 1996; Vogel 1996, Wonneberger & Keller 2004). Die Blütenbildung (generative Entwicklung), welche nur für die Saatgutproduktion beziehungsweise für das Auftreten unerwünschter Schosser von Bedeutung ist, ist vernalisationsbedürftig. Je nach Entwicklungsstadium liegen die Vernalisationsansprüche zwischen 3 und 18 °C über eine Dauer von 40 bis 90 d. Die Aussaat von Sommerzwiebeln über Einzelkornsäegeräte sollte so früh wie möglich (März bis Anfang April) erfolgen. Die Aussaat von Winterzwiebeln findet je nach Gebiet zwischen 10. und 25. August statt. Zwiebelsamen sind gegenüber niedrigen Bodentemperaturen relativ unempfindlich. Für die Keimung gelten 15 bis 20 °C als optimal (Wonneberger & Keller 2004). Optimal für den Auflauf sind Werte zwischen 40 bis 80 % der nutzbaren Feldkapazität (nFK) und etwa 10 bis 20 °C. Die relative Blattwachstumsrate ist etwa bei 24 °C am höchsten (Krug et al. 2003). Die Zwiebelbildung wird durch das Erreichen einer kritischen Tageslichtlänge von circa 12 h (Kurztagsorten) bis 14 h (Langtagsorten), die wiederum sortenspezifisch variiert, induziert (Vogel 1996; Krug et al. 2003). Auch das weitere Wachstum hängt nach Vogel (1996) von der Tageslichtlänge aber auch entscheidend von der Lichtintensität ab. So kann Lichtmangel während des Zwiebelwachstums das Verbleiben der Pflanzen im Dickhalsstadium begünstigen. Zwiebeln verfügen über ein dichtes, allerdings recht flaches (max. 40 – 50 cm, Einzelwurzeln bis 1 m) Wurzelwerk (Wonneberger & Keller 2004; Krug et al. 2003). Der Wasserbedarf liegt innerhalb der Kulturzeit bei circa 400 bis 450 mm. Geerntet werden Sommerzwiebeln in der Regel ab Juli bis Anfang September, wenn 65 bis 70 % des Bestandes einen Schlottenknick zeigen und das obere Drittel eingetrocknet ist. Winterzwiebeln werden etwa ab Mitte Juni bis Anfang Juli (je nach Sorte) geerntet (Wonneberger & Keller 2004). Die Ernte von Speisezwiebeln erfolgt in zwei Phasen 1. Laubschlegeln und 2. Rodung und Feldnachreife (bis ca. 14 d) (Wonneberger

& Keller 2004). Die Erträge liegen in der Regel zwischen 300 und 800 dt/ha. Die Knospenruhe, welche das entscheidende Kriterium für die Lagerfähigkeit ist, ist bei 30 °C am kürzesten und bei 15 °C am längsten. Grundsätzlich sind niedrige Temperaturen um -1 °C für die Lagerung am günstigsten.

Sorten- und Qualitätsansprüche

Anforderungen an Speisezwiebelsorten sind eine lange Lagerfähigkeit, hohe Ertragsleistung, spezielle, sortentypische Zwiebelfarbe, -größe und -form, Schalenfestigkeit, je nach Produktionsziele eine bestimmte Entwicklungsdauer; Schossfestigkeit und eine geringe Krankheitsanfälligkeit (Krug et al. 2003). Ferner geben Krug et al. (2003) als Qualitätsmängel Dickhäuse, Beschädigungen, Frostschäden und eine verringerte Lagerfähigkeit an.

Kulturarbeiten

Zu den wichtigsten Kulturmaßnahmen zählen eine flache Bodenlockerung und die Saatbettvorbereitung, Unkrautbekämpfung, Düngung, Beregnung und der Pflanzenschutz, wobei die Unkrautbekämpfung, vor allem in der Nachauflaufphase, als wichtigste Kulturmaßnahme gilt (Vogel 1996). Weitere wichtige Schritte sind die Feldnachreife und Trocknung in Anschluss an die Ernte. Suboptimale, also zu warme oder zu feuchte Bedingungen, führen zu qualitativen Einbußen, wie geplatzter Schale oder Fäule (Wonneberger & Keller 2004).

Krankheiten und Schädlinge

In Tabelle 13 sind wichtige Krankheiten und Schädlinge in Zwiebeln aufgeführt. Detailliertere Information befinden sich hierzu in Seidel (2014).

Tabelle 13 Bedeutendste Krankheiten und tierische Schaderreger in Speisezwiebeln (Quellen: Crüger et al. 2002; Vogel 1996; Wonneberger & Keller 2004; Hortipendium 2014)

Bedeutendste Krankheiten und ihre Erreger	
Mehlkrankheit	<i>Sclerotium cepivorum</i>
Weichfäule	<i>Erwinia carotovora</i>
Rosa-Wurzelfäule	<i>Pyrenochaeta terrestris</i>
Wurzel- und Basalfäule	<i>Fusarium oxysporum</i>
Falscher Mehltau	<i>Peronospora destructor</i>
Purpurfleckenkrankheit	<i>Alternaria porrii</i>
Samtfleckenkrankheit	<i>Cladisporium allii cepae</i>
Botrytis-Blattflecken	<i>Botrytis squamosa</i>
Bedeutendste tierische Schaderreger	
Zwiebelfliege	<i>Delia antiqua</i>
Zwiebelminierfliege	<i>Liriomyza nitzkei</i>
Thrips	<i>Thrips tabaci</i>
Zwiebelnematoden/Stängelälchen	<i>Ditylenchus dipsaci</i>

3.1.1.2.3 Möhre

Standortansprüche und Anbausysteme

Gute Erträge und Qualitäten lassen sich bei Möhren [*Daucus carota* ssp. *sativus* (Hoffm.)] auf tiefgründigen Sand- bis sandigen Lehmböden erreichen (Vogel 1996). Um Rüben deformationen und Ernteerschwerernisse zu vermeiden, ist es unter anderem wichtig darauf zu achten, dass die Böden frei von Verdichtungen im Unterboden und keine Steine vorhanden sind sowie der Gehalt an Pflanzenrückständen der Vorfrucht im Boden möglichst gering ist (Olymbios & Schwabe 1977; Vogel 1996). Der Humusgehalt sollte 5 % nicht übersteigen, da eine schlechte Waschbarkeit und ungesteuerte NO₃-Nachlieferung die Folge sein könnten (Wonneberger & Keller 2004). Windoffene Lagen eignen sich für den Anbau von Möhren besonders, weil sie dem Befall mit der Möhrenfliege (*Psila rosae* F.), entgegenwirken (Krug et al. 2003).

Der Möhrenanbau wird in die drei Kategorien Treib- und Frühmöhren (60 – 90 d), Sommer- und Dauermöhren (105 – 130 d) und Spätmöhren (165 – 195 d) untergliedert (Vogel 1996). Desweiteren wird zwischen der Vermarktung der Möhren in Industrie-, Lager-, Wasch- und Bundmöhren unterschieden (Vogel 1996). Meist erfolgt der Möhrenanbau im Flachbeet, auf schweren Böden auch als Dammkultur zur Vermeidung von Staunässe (Vogel 1996; Wonneberger & Keller 2004). Zur Verfrühung früh gesäter Bestände werden Folien, Vliese und Folientunnel eingesetzt (Vogel 1996).

Biologie und Phänologie

Die Rübenkörper haben je nach Sorten und Produktionsziel unterschiedliche Formen von rund bis schmal-konisch (Vogel 1996). Möhren gelten als kälteunempfindlich bzw. -tolerant. Die Aussaat erfolgt nach Vogel (1996) satzweise zwischen Mitte Februar bis Anfang Juli. Die Keimung des Saatgutes beginnt ab etwa 5 °C (Wonneberger & Keller 2004). Junge Pflanzen sind gegenüber Trockenheit, hoher Salzkonzentration und Sauerstoffmangel, zum Beispiel durch Staunässe, empfindlich. Die besten Wachstumsleistungen werden bei 16 bis 18 °C Lufttemperatur erreicht (Vogel 1996). Vogel (1996) berichtet zudem von Gefäßversuchen, die die höchsten Erträge und Inhaltsstoffe bei 20 bis 25 °C Bodentemperatur ergaben. Krug et al. (2003) geben 16 bis 21 °C als Temperaturbereich an, bei dem die höchsten Ertragsleistungen erreicht werden. Während der Jugendentwicklung weisen Möhren einen recht geringen Wasserbedarf auf. Die Wurzeln reichen etwa 1 m in die Tiefe. Der Hauptwasserbedarf liegt im Juli und September, in der Phase des größten Massenzuwachses, nach Vogel (1996) zwischen 300 und 500 mm. Die Gefahr des Schossens ist recht gering, da die Möhre für eine Schosserausbildung ein hohes physiologisches Alter verlangt, welches in der Keimungsphase – wenn geringere Temperaturen vorherrschen – noch nicht gegeben ist (Vogel 1996). Die Beerntung ist etwa ab Ende Mai bis Mitte Oktober möglich. Die Erntemengen belaufen sich je nach Produktionsrichtung auf 300 dt/ha (Waschmöhren) bis zu 1000 dt/ha (Industriemöhren). Mit Abdeckung (z.B. Stroh) ist eine Überwinterung von Möhren im Boden bei bis zu -20 °C möglich. Die Vernalisation, die für den Übergang in die generative Phase zum Beispiel bei der Saatgutproduktion nötig ist, verläuft bei 1 bis 10 °C (optimal 4 °C) über 5 bis 12 Wochen (Vogel, 1996; Wonneberger & Keller 2004).

Sorten- und Qualitätsansprüche

Anforderungen an die Sorten sind tief sitzende Schulter der Wurzel im Boden, geringe Grünköpfigkeit außen und innen, glatte Haut, gute Durchfärbung und Innenqualität (Carotin, Zucker, Geschmack, Farbe), hohe Toleranz gegenüber Pilz- und Bakterienkrankheiten, Bruch- und Platzfestigkeit, Eignung für spezielle Erntetechniken. Spezielle Anforderung an Industriemöhren sind eine gleichmäßige Innenfärbung und hoher Trockensubstanzgehalt, an Bundmöhren ein Durchmesser von circa 2 cm und an Waschmöhren, dass sie frei von Fehlern (ganz, glatt, gleichmäßig geformt und unverletzt) sind. Qualitätsmängel sind Beinigkeit, geplatze Möhren, unzureichende Ausfärbung, schwarze Ringe, Schossen, Grünköpfigkeit und zu hoher Nitratgehalt (Grenzwert ca. 250 mg NO₃/kg) (Krug et al. 2003).

Kulturarbeiten

Wichtige Kulturmaßnahmen sind eine bodenstrukturschonende Bodenbearbeitung, die im Frühjahr so früh wie möglich erfolgen sollte, die mechanische und chemische Unkrautbekämpfung, die Düngung, der Pflanzenschutz, ein eventuelles Anhäufeln bei Sorten mit einer Neigung zu grünen Schultern, das Laubhäckeln und die Ernte.

Krankheiten und Schädlinge

In Tabelle 14 sind wichtige Krankheiten und Schädlinge im Möhrenanbau aufgeführt. Detailliertere Information befinden sich hierzu in Seidel (2014).

Tabelle 14 Bedeutendste Krankheiten und tierische Schaderreger in Möhren (Quellen: Crüger et al. 2002; Vogel 1996; Wonneberger & Keller 2004; Hortipendium 2014)

Bedeutendste Krankheiten und ihre Erreger	
Möhrenchwärze	<i>Alternaria dauci</i>
Echter Mehltau	<i>Erysiphe heraclei</i>
Sclerotinia-Fäule	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>
Bakterienblatfleckenkrankheit	<i>Xanthomonas campestris pv. carotae</i>
Schorf	<i>Streptomyces scabies</i>
Wasserfleckenkrankheit (cavity spot)	<i>Pythium sulcatum, Pythium violae</i>
Möhrenscheckung/Möhrenrotblättrigkeit	<i>Carrot mottle virus, carrot red leaf virus</i>
Bedeutendste tierische Schaderreger	
Möhrenfliege	<i>Psila rosae</i>
Gierschblattlaus	<i>Cavariella aegopodii</i>
Möhrenblattfloh	<i>Trioza</i> sp.
Möhrenminierfliege	<i>Napomyza carotae</i>
Wurzelgallenälchen	<i>Meloidogyne hapla</i>

3.1.1.2.4 Weiß- und Rotkohl

Standortansprüche und Anbausysteme

Für den Anbau von Weiß- (*Brassica oleracea* L. var. *capitata* L. f. *alba*) und Rotkohl (*Brassica oleracea* L. var. *capitata* L. f. *rubra*) eignen sich je nach Produktionsziel (Früh-, Sommer-, Herbst- und Spät/Dauerkohl) mittlere und leichte Böden bis hin zu schwereren Lößlehm- und Lehmböden mit hohen Humusgehalten (Vogel 1996). Günstig ist nach Vogel (1996) zudem eine gewisse Grundwassernähe (0,8 – 1,2 m), da die Durchwurzelung in der Regel eine Tiefe

von 70 cm Tiefe nicht überschreitet (Vogel 1996). Kopfkohl kann in einem recht breiten Klimabereich angebaut werden (Vogel 1996; Wonneberger & Keller 2004). Warme Standorte, die eine zeitige Abtrocknung und schnellere Erwärmung begünstigen, sind besonders für den Anbau von Frühkohl geeignet. Das maritime Klima, die feuchte Luft und die hohe nutzbare Feldkapazität in Norddeutschland begünstigen hingegen besonders das Wachstum und die Erträge von Herbst- und Spätkohl (Vogel 1996; Wonneberger & Keller 2004). Die dort vorherrschenden Westwinde tragen außerdem zu einem geringeren Schaderregerdruck bei (Vogel 1996).

Kohl kann direkt gesät werden oder es werden vorkultivierte Jungpflanzen (meist in Erdpresstöpfen oder als Paperpots sog. Seedlings) gepflanzt (Expertenbefragungen DLR 2014). Die Aussaat-, Pflanz- und Erntezeiten richten sich nach der Vermarktungsform (Frischmarkt, Industrie, Lagerung). Bei Früh- und Sommerkohlanbau ist die Pflanzkultur vorzuziehen. Sehr frühe Pflanzungen/Anzuchten im Feld können mit Folie, Netzen und Vliesen abgedeckt werden, was einen Schutz gegen Spätfrost darstellt und eine Verfrühung ermöglicht.

Biologie und Phänologie

Der Entwicklungsnullpunkt, sowohl für Keimung als auch für das Wachstum, liegt bei etwa 1 bis 2 °C (Krug et al. 2003). Die Keimfähigkeit ist nach Krug et al. (2003) im Bereich 5 bis 35 °C am höchsten. Eine Aussaat kann ab Ende Januar erfolgen. Nach Krug et al. (2003) liegt der Saattermin bei Herbst- und Dauerkohl etwa Mitte April. Eine Pflanzung in klimatisch günstigen Regionen, wie der Vorderpfalz, ab Anfang März bis Mitte Juni und in Norddeutschland eher ab Ende März (Vogel 1996, Krug et al. 2003). Bei geeigneten Sorten und günstigen klimatischen Bedingungen ist nach Pflanzungen im Zeitraum September bis Anfang Oktober auch eine Feldüberwinterung möglich, wenn vor dem ersten Frost eine ausreichende Wurzelbildung stattgefunden hat (Vogel 1996; Krug et al. 2003). Neben der höheren Gefahr von Frostschäden sind überwinterte Bestände aber auch einer erhöhten Schossgefahr ausgesetzt. Je nach Sorte findet ein Schossen nach vollzogener Vernalisation statt, die in etwa Temperaturen zwischen 0 bis 5 °C über 8 bis zu 15 Wochen bedarf. Für das vegetative Wachstum sind 16 bis 20 °C optimal (Vogel 1996). Die Vegetationsdauer bis zur Ausreife variiert je nach Gebiet, Vermarktungsziel, Sorte und Anbauverfahren bei Weißkohl zwischen 50 und 150 d und bei Rotkohl zwischen 80 und 160 d. Nach Vogel (1996) kann Kopfkohl auf Bodenwasserdefizite mit erheblicher Ertragsminderung reagieren, das zeigt auch die relativ lange Beregnungsperiode. Je nach Standort, Sorte, Anbauverfahren und weiteren Kriterien schwankt der Bedarf an Zusatzwasser zwischen etwa 60 und 120 mm (Vogel 1996), der über Beregnungssysteme zugeführt werden kann. Typische Erntezeiten liegen zwischen Ende Mai und Mitte November (Vogel 1996; Krug et al. 2003). Die Gewichte pro Kopf liegen bei Weißkohl zwischen 1 kg und > 3 kg (Vogel 1996). Die Hektarerträge für Weißkohl liegen etwa zwischen 600 und 1500 dt/ha.

Sorten- und Qualitätsansprüche

Kriterien für den Anbauwert von Weiß- und Rotkohlsorten sind nach Wonneberger und Keller (2004) die Kopfbeschaffenheit (fest, kompakt, gute Schichtung, platzfest, kurzer Strunk, Farbe), ein ausgewogenes Kopf-Umblatt-Verhältnis, eine geringe Krankheits- und Schaderregeranfälligkeit, der Ertrag, die Entwicklungsdauer, die Verweildauer im Bestand,

die Schoßfestigkeit, die Lagerfähigkeit (späte Sorten), die Standfestigkeit (vor allem bei maschineller Beerntung), der Geschmack. Kopfkohl der Klasse I muss sortentypisch, einheitlich, fest, frei von Platzern, Schädlingen und Krankheiten und am Strunk kurz und glatt geschnitten sein. Bei Industriekohl wird ein kurzer Innenstrunk und feine Rippen gewünscht. Für die Vermarktung am Frischmarkt sind Deckblätter notwendig. Der Großteil wird mit 2,5 kg/Kopf vermarktet. Das Gewicht bei den sogenannten Miniköpfen liegt bei etwa 1,0 kg/Kopf. Qualitätsmängel sind Platzen und Schossen, Innenblattnekrosen (Ca-Mangel, überhöhte N-Düngung), Frostschäden (Frühfrost oder Lagerschaden), die sich als intensive Braunfärbung im Kopfinneren zeigen, Punktnekrosen („Tabakskrankheit“) und Korksucht (pockenartige Wucherungen an bodennahen Blättern).

Kulturarbeiten

Zu den wichtigsten Kulturmaßnahmen zählt die Saatbett- bzw. Pflanzbettbereitung, die Unkrautbekämpfung, Vereinzeln im 2-Blatt-Stadium bei Direktsaat, Management von Folien- und Vliesbedeckungen sowie Kulturschutznetzen und Beregnung, Pflanzenschutz und entsprechende Schaderregerüberwachung, eventuelles Anhäufeln im Herbst für einen besseren Wasserabfluss und die Ernte.

Krankheiten und Schädlinge

In Tabelle 15 sind wichtige Krankheiten und Schädlinge im Weiß- und Rotkohlanbau aufgeführt. Detailliertere Information befinden sich hierzu in Seidel (2014).

Tabelle 15 Bedeutendste Krankheiten und tierische Schaderreger in Weiß- und Rotkohl (Quellen: Crüger et al. 2002; Vogel 1996; Wonneberger & Keller 2004; Hortipendium 2014)

Bedeutendste Krankheiten und Ihre Erreger	
Kohlhernie	<i>Plasmodiophora brassicae</i>
Adernschwärze	<i>Xanthomonas campestris</i>
Ringfleckenkrankheit	<i>Mycosphaerella brassicicola</i>
Umfallkrankheit	<i>Phoma lingam</i>
Kohl-schwarzringflecken	Turnip mosaic virus
Bedeutendste tierische Schaderreger	
Mehlige Kohlblattlaus	<i>Brevicoryne brassicae</i>
Kleine Kohlfliege	<i>Delia radicum</i>
Kohlmottenschildlaus	<i>Aleyrodes proletella</i>
Kohlerdföhe	<i>Phyllotreta spp.</i>
Kohlweißling	<i>Pieris brassicae</i>
Kohleule	<i>Mamestra brassicae</i>
Gammaeule	<i>Autographa gamma</i>

3.1.1.3 Auswirkungen Extremwetterlagen

3.1.1.3.1 Hagel

Hagel verursacht mechanische Schäden an oberirdischen Pflanzenteilen, Blättern, Erntegut und jüngerem Holz. Durch das Durchlöchern oder sogar Abschlagen der Blätter werden die Assimilationsfläche und damit die Photosyntheseleistung reduziert. Durch die Beschädigung des Erntegutes kann es neben der erheblichen optischen Qualitätsbeeinflussung zu

Sekundärinfektionen und Reifeverzögerung kommen. Der Standort, der Zeitpunkt, die Bewirtschaftungsform und auch sortenspezifische Eigenschaften haben beträchtlichen Einfluss auf das Ausmaß der Hagelschäden und entsprechender sekundärer Schädigungen. So kann bei Dauerkulturen ein leichter Entwicklungsrückstand, der in der Regel mit geringeren Zuckergehalten in den Früchten einhergeht, beim Befall mit Sekundärerregern oder eine besonders widerstandsfähige Morphologie der Früchte und Blätter in Hinblick auf mechanische Schäden von großem Vorteil sein. Starke Hagelschläge sind in der Lage Totalausfälle zu verursachen. Des Weiteren können sich bei Dauerkulturen alle Schäden, die für die Pflanzen Stress verursachen - also auch Hagel - negativ auf den Ertrag im Folgejahr auswirken. Auch zusätzliche Kosten für spezielle Schnittmaßnahmen und Schäden an Hagelnetzen mindern das Betriebseinkommen in einem „Hageljahr“. Als besonders gefährdet werden windoffene Lagen ohne Abschirmung, vor allem Westhänge angegeben. Generell wird von einer Zunahme der Hagelschlaggefahr von Nord- nach Süddeutschland ausgegangen. Weiterführenden Angaben, z.B. zur Quantifizierung von Hagelschäden und regionalen Unterschieden auf Basis von Versicherungsdaten, sind dem Gesamtbericht zum Verbundprojekt „Agrarrelevante Extremwetterlagen“ zu entnehmen.

Apfel

Die Intensivierung der Apfelproduktion in den letzten Jahrzehnten führte zu einer erhöhten Empfindlichkeit gegenüber Hagelschäden. Um die Ernte zu erleichtern und die Ausfärbung zu verbessern, befindet sich der Großteil der Äpfel an der Peripherie der Bäume und ist somit weniger geschützt (König 2014). Das Ausmaß der Schädigung hängt außerdem vom Zeitpunkt des Auftretens und dem sortenspezifischen Entwicklungsstand ab. So kann Hagel im Apfelanbau mechanische Schäden an Früchten, Blättern und am Holz oder gar das Abschlagen der Früchte verursachen, was bis hin zu 100%igen Ertrags- und Qualitätseinbußen führen kann. Eine weitere Folge kann eine stressinduzierte erhöhte Ethylenproduktion sein, die einen ungewollten Fruchtfall induziert. Die Vermarktungsfähigkeit der Äpfel kann durch das Ausbleiben der Reifung der Früchte, verkorkte Stellen und Sekundärinfektionen an den Früchten stark herabsetzt bis gar nicht mehr gegeben sein (Friedrich 1993; Fischer et al. 2002, Vereinigte Hagel 2014). Nach Angaben von Apfelproduzenten und Beratern im Anbaugebiet „Niederelbe“ entstanden durch Hagelereignisse in betroffenen, einzelnen Betrieben in den letzten Jahren Ertragseinbußen zwischen 30 und 90%.

Wein

Mechanische Beschädigungen durch Hagel können im Weinbau an Trieben, Gescheinen und Trauben entstehen (Vogt & Schruft 2000, Bauer et al. 2008; Müller et al. 2008; Hoppmann 2010; Expertenbefragung DLR 2014). Welche Pflanzenteile betroffen sind, hängt auch im Weinbau vom Zeitpunkt, der Ausrichtung der Rebzeilen und dem Entwicklungsstand der Pflanzen ab. Hier haben auch die Sorten erheblichen Einfluss auf das Schadensmaß. Rebsorten mit einer dickeren, stabileren Beerenhaut sind naturgemäß widerstandsfähiger gegenüber mechanischen Verletzungen als solche mit einer dünnen Beerenhaut. In Minimalschnittanlagen sind die Beeren in der Regel besser vor mechanischen Beschädigungen geschützt als in konventionellen Erziehungsvarianten, wie Flach- oder Rundbogenerziehung. Hagelschäden vor der Blüte führen häufig zu der Ausbildung von

nachgetriebenen Trauben, auch Geiztrauben genannt, mit verzögerter Reife. Hagelschäden im Frühsommer (Juni) können einen deutlich reduzierten Fruchtansatz nach sich ziehen. Bei frühem Auftreten der Hagelschäden besteht allerdings die Möglichkeit, dass diese durch einen Neuaustrieb kompensiert werden. Nach Expertenangaben kann es nach Hagelschäden zu einem zweiwöchigen Wachstumsstillstand kommen. Eine weitere, indirekte Folge von Hagelschädigungen kann der Sekundärbefall geschädigter Pflanzenteile und Beeren mit pilzlichen Erregern und Schwächeparasiten, wie *Botrytis cinerea* und *Penicillium* ssp., sein. Es droht die Gefahr der Entstehung von Essig-, Rosa-, Weiß- und Grünfäule verbunden mit Mykotoxinbildung, was erheblichen Einfluss auf die Qualität der Beeren und ihre Weiterverarbeitbarkeit zu Wein haben kann. Ist durch die Schädigung der Triebe ein Zapfenschnitt notwendig, kann dies zu geringerer Fruchtbarkeit der unteren Augen im Folgejahr führen (Vogt & Schruft 2000). Als weitere Spätfolgen werden ein erschwertes Biegen bzw. Bruchschäden beim Biegen im Folgejahr genannt.

Hopfen

Mechanische Beschädigungen durch Hagel können im Hopfen an den neuaustreibenden Bodentrieben, den Blättern, den Hopfenreben sowie den Blüten und Dolden auftreten (Portner 2009; Expertenbefragung LfL Bayern 2014). Auch im Hopfen ist der Schädigungsgrad erheblich vom Entwicklungsstadium abhängig. Je später das Hagelereignis eintritt, desto höher ist der Schaden für die Pflanze und den Ertrag, da Ausgleichsmaßnahmen immer schwieriger werden. Verletzte und zerstörte Hopfenreben "bluten" und reagieren mit mehrwöchigem Wachstumsstillstand. Man unterscheidet drei Kategorien der Schädigung: leichte Schäden (Blattverletzung und einzelne Kopfabschläge), mittlere Schäden (Kopfabschläge, Blattverluste, leichte Rebenverletzungen) und schwere Schäden (Reben ganz oder weitestgehend zerstört). Infolge der Beschädigungen und entstandenen Wunden an den Pflanzen kommt es häufig zu erhöhten Raten der Infektion mit *Peronospora humuli*. Je nach Zeitpunkt können Verluste zwischen 20 und 90% entstehen und Folgekosten für das Anleiten und Andrehen neuer junger Bodentriebe, vor allem Personalkosten, und erhöhten Pflanzenschutzmittelaufwand anfallen.

Gemüse

Hagel ist auch in der Gemüseproduktion eine der gefürchtetsten Extremwetterlagen. Durch ihn können massive Schädigungen entstehen, welche mit erheblichen Verlusten einhergehen (Vogel 1996; Crüger et al. 2002; Davis & Raid 2002; Krug et al. 2003; Wonneberger & Keller 2004; Backhaus et al. 2005; Rimmer et al. 2007; Schwartz & Mohan 2008; Ziegler 2010; Expertenbefragungen DLR Rheinpfalz 2014; Hortipendium 2014; Vereinigte Hagel 2014).

Zumeist wird bei Spargelpflanzen das nach Beendigung der Spargelernte wachsende Laub durch Hagel geschädigt. Erfolgt in Folge ein Neuaustrieb werden zusätzliche Reservestoffe verzehrt, was wie anderen mehrjährigen Kulturen zu einer Ertragsminderung im Folgejahr führen kann. Bei frühen Hagelschlägen kann es aber auch zu einer Beschädigung der Köpfe und entsprechender qualitativer Einbußen kommen. Die vorgeschädigten Pflanzenteile können des Weiteren durch nachfolgende Infektionen z.B. durch *Fusarium culmorum* (Erreger der Fußkrankheit) betroffen sein.

An Speisezwiebeln entstehen durch Hagel meist einseitige (entsprechend Windrichtung) Einschlagstellen an den Schlotten, die sich später zu weißen bis gelblichen Schadstellen

entwickeln. Durch die Schädigungen kann es zu Wachstumsverzögerungen oder -stockungen und in Folge dessen zu kleineren Bulben, einer verminderter Lagerfähigkeit und Folgeinfektionen geschädigter Pflanzen, Pflanzenteile und Bulben, häufig mit *Erwinia carotovora*, kommen.

Auch an Möhren können Hagelschauer Beschädigungen an Laub und Möhrenkörper verursachen, was zu Vermarktungsproblemen - insbesondere bei Bundmöhren - und Ernteerschwernissen (Klemmbandroder) führt.

An Weiß- und Rotkohl kommt es zur Beschädigung der Köpfe bis hin zum Platzen. Das führt zu einer geminderten Vermarktungsfähigkeit. Oft ist nur noch ein Teil des Kohlkopfes verwertbar. Frühe Hagelschäden können Verletzungen des Vegetationskegels verursachen, welche zu einer Rosettenbildung und späterem Verlust führen. Wie bei allen Kulturen drohen auch dem Kopfkohl Folgeinfektionen und die Förderung bereits bestehenden Pilzbefalls (*Sclerotinia*, *Botrytis* etc.).

3.1.1.3.2 Spätfrost

Neben Hagel gehört Spätfrost – vor allem im Apfel- und Weinbau - zu den gefürchtetsten Extremwetterlagen. Spätfroste im Frühjahr verursachen Schädigungen bis hin zu Totalausfällen. Die Ursache kann zum einen die Bildung von Eiskristallen in Zellen, Zellwänden oder Interzellularen sein, wodurch die Zellstrukturen zerstört werden. Zum anderen kann es, vor allem bei geringen Minusgraden, zu osmotischen Veränderungen im Zellinneren und darauf basierenden Welkeerscheinungen kommen (Tiedemann 2013). Durch Spätfrost gefährdet sind vor allem die jungen Blätter, Blütenanlagen und das jungen Erntegut. Bei Apfel und Wein gilt, je weiter die Entwicklung im Frühjahr bereits vorangeschritten ist, umso verheerender können seine Schäden ausfallen. Besondere Beachtung verdient dabei der immer frühere Vegetationsbeginn, wie Abbildungen 4 und 7 für den Apfel- und Weinbau aufzeigen. Auch wenn die Gefahr des Auftretens von Spätfrosten laut aktueller Klimaprognosen eher stagniert oder gar abnimmt, so erhöht sich doch durch den früheren Vegetationsbeginn die Wahrscheinlichkeit, dass die Pflanzen sich bereits in sehr spätfrostempfindlichen Entwicklungsstufen befinden. Besonders gefährdet sind diese Bestände in tiefen Lagen und Lagen, die die Bildung von Kaltluftseen oder Kaltluftstauungen an geografischen oder baulichen Hindernisse begünstigen. In der Regel ist die Gefahr von Spätfrostschädigungen bei früh austreibenden Sorten, sehr früh gesäten oder gepflanzten Beständen und Erziehungssystemen (Apfel und Wein) mit kurzen Stammformen höher. Die durch Spätfrost verursachten Ertragsausfälle können bei Obstgehölzen zu einer ungewollten Verstärkung der Alternanz führen, was sich auf die Fruchterträge und -qualitäten im Folgejahr auswirkt und zusätzliche Pflegearbeiten, wie Ausdünnungsmaßnahmen, zur Steuerung dieser nach sich zieht.

Apfel

Die Frostempfindlichkeit der Apfelblütenorgane nimmt mit zunehmender Entwicklung zur Vollblüte hin zu. In Abhängigkeit vom Grad der Blütenschädigung unterbleibt die Fruchtentwicklung oder es entstehen beschädigte Früchte, die teilweise nicht mehr vermarktungsfähig sind (Link, 2002; Arbeitstagebuch für das Obstjahr 2013). Kurze Stiele, Frostrisse und Frostnarben an den Früchten führen zu qualitativen Beeinträchtigungen. Frost während der Zellteilungsphase der jungen Früchte im Frühjahr kann eine erhöhte

Fruchtberostung verursachen. Nach König (2014) sind die jungen Früchte noch empfindlicher als die Blüten. Von Spätfrost geschädigte Früchte zeigen ein Ablösen der Fruchthaut, können einschrumpfen und sogar ganz abfallen. Nach Link (2002) kann es aber auch zu Blattschäden durch Spätfröste kommen. Dadurch erhöht sich beispielsweise die Empfindlichkeit gegenüber Pflanzenschutzmaßnahmen, was eine unerwünschte Reduzierung des Blattapparates nach sich ziehen kann. Auch ein übermäßiges Triebwachstum wird als Folge von Spätfrostschäden genannt. Durch die zur Spätfrostbekämpfung eingesetzte Frostschutzberegnung kann nach mehrmaligem Einsatz an aufeinanderfolgenden Tagen die Last des Eises an den Bäumen so groß werden, dass diese umkippen.

Wein

Durch Spätfröste kann es im Weinbau zu Schädigungen oder sogar zum Absterben der Augen (Blattknospen) im Wollestadium sowie zu Schädigungen an den Primärblättern, Blütenanlagen und Triebachsen kommen. Das Verrieseln bzw. Abwachsen der Gescheine kann zu einer ungleichmäßigen Befruchtung und zur verstärkten Ausbildung jungfernfrüchtiger Beeren, im schlechtesten Fall zu einem Totalausfall, führen.

Hopfen

Im Hopfenanbau ist die potentielle Schädigung durch Spätfröste im Vergleich zum Wein- und Apfelanbau als weniger relevant einzuschätzen. Spätfröste im April/Mai können zum Absterben bereits entwickelter Triebspitzen führen. Die Pflanzen treiben aber in der Regel erneut, allerdings mit einer gewissen Verzögerung, aus und müssen gegebenenfalls neu aufgeleitet werden.

Gemüse

Spätfrostschäden in Gemüsekulturen betreffen im Gegensatz zu Apfel und Wein in der Regel nicht die Blütenorgane sondern vor junge vegetative Pflanzenteile oder bei Spargel unter Umständen das junge Erntegut (Vogel 1996; Crüger et al. 2002; Davis & Raid 2002; Krug et al. 2003; Wonneberger & Keller 2004; Backhaus et al. 2005; Rimmer et al. 2007; Schwartz & Mohan 2008; Ziegler 2010; Expertenbefragungen DLR 2014; Hortipendium 2014; Vereinigte Hagel 2014).

In Spargel kann Spätfrost Schäden an jungen Trieben und dem Erntegut verursachen. Eine Folge können glasige Köpfe sein, was die Vermarktungsfähigkeit negativ beeinflusst.

Besonders in Sommerzwiebeln kann es an jungen, noch nicht akklimatisierten Keimblättern und Trieben in der Keimphase und während der Jugendentwicklung zu Spätfrostschäden kommen. Diese führen zu gelben Verfärbungen – oft direkt über der Bodenoberfläche -, verdrehten Schloten, Welkeerscheinungen, Nekrosen, Verfärbungen (Vogel 1996; Backhaus et al. 2005; Schwartz & Mohan 2008). Winterzwiebeln sind durch Spätfröste im Frühjahr einer erhöhten Gefahr des Schossens ausgesetzt, was eine unzureichende Bulbenbildung zur Folge hat.

In Möhren kann Spätfrost ein ungewolltes Schossen, die Schädigung junger Pflanzen und die Ausbildung deformierter Rübenkörper verursachen.

Auch in Weiß- und Rotkohl kann Spätfrost ein ungewolltes Schossen und die spätere Blütenbildung induzieren. Direkte Spätfrostschäden an den Pflanzen können sich durch ein Aufplatzen der Epidermis auf der Unterseite zeigen. Schädigungen der Zellen können zu

einer erhöhten Zelldurchlässigkeit führen, die mit einem Verlust gelöster Stoffe oder sogar dem Zelltod einhergehen kann. Auch die Wasseraufnahme durch die Wurzeln kann bei Bodenfrost verhindert werden. Wenn währenddessen die Pflanzen weiter transpirieren, sind Trockenstress bis hin zum Absterben der Pflanzen mögliche Folgen (Frosttrocknis).

3.1.1.3.3 Trockenheit und Extreme Dürre

Ausbleibender Niederschlag und zu geringe Bodenwassergehalte können insbesondere in Gemüse und Hopfen zu erheblichen Schäden bis hin zu Totalausfällen führen (Vogel 1996; 2002; Krug et al. 2003; Wonneberger & Keller 2004). Aber auch bei den tiefwurzelnden Kulturen Wein und Apfel kommt es in Folge lang andauernder Trockenheit zu einer ungenügenden Deckung des Wasserbedarfs und dadurch hervorgerufenen Schädigungen. Der fehlende Bodenwassergehalt behindert die Verfügbarkeit und Aufnahme von Nährstoffen. Die Transpiration und die Photosynthese der Pflanzen werden herabgesetzt (verringerte CO₂-Aufnahme), was eine Verzögerung der Entwicklung sowie Wachstums- und Reifehemmung, Vergilbungen, vorzeitiger Herbstfärbung und Blattfall verursachen kann (Quast 1986; Vogt & Schruft 2000; Meyer 2004; Hoppmann 2010; Expertenbefragungen DLR, KOB, LfL Bayern & OVR 2014). In Konsequenz kann es bei den mehrjährigen Kulturen zu einer erheblich geminderten Reservestoff-/Assimilateeinlagerung kommen, was die Winterfrosthärte deutlich herabsetzen und sich negativ auf die Erträge der Folgejahre auswirken kann (Rebschutzdienst 2014). Je nach Kultur und Entwicklungsstand variiert der tolerierbare Zeitraum. Auch die Wirkung von Bodenherbiziden und damit der Bekämpfungserfolg kann durch zu trockene Bedingungen gemindert werden. Der Trockenstress selbst kann wie bei allen anderen Extremwetterlagen die Prädisposition – also die Empfindlichkeit zum Beispiel gegenüber Schaderregern – erhöhen (Tiedemann 2013). Besonders geneigte, südexponierte Standorte und solche mit leichten, wenig tiefgründigen Böden sind der Gefahr von Trockenstress ausgesetzt (Vogt & Schruft 2000; Expertenbefragungen DLR 2014).

Apfel

Im Apfelanbau kann es durch Trockenstress zu einem verzögerten, gehemmten oder sogar ausbleibenden Triebabschluss kommen. Vor allem Trockenstress während der Zellteilungsphase beeinflusst die Fruchtentwicklung negativ, was die Ausbildung zu kleiner Früchte oder sogar vorzeitigen Fruchtfall nach sich ziehen kann (Link 2002). Durch zu geringen Bodenwassergehalt (Dürre) kommt es häufig zu Kalimangel, da genügend Bodenwasser für die Lösung des Kalis von den Tonmineralen im Boden notwendig ist. Neben den genannten Auswirkungen kommt eine erhöhte Gefahr der Infektion mit trockentoleranten Erregern hinzu, was sich beispielsweise in einer Fruchtberostung zeigen kann.

Wein

Obwohl Reben als recht trockentolerant gelten, können auch im Weinbau die zu Beginn aufgeführten Auswirkungen durch zu geringe Niederschlagsmengen und Bodenwassergehalte entstehen. Rebschulen und Junganlagen sind stärker durch zu geringe Niederschlagsmengen gefährdet als Ertragsanlagen mit älteren Pflanzen, die in der Regel über ein tiefer reichendes Wurzelwerk verfügen (Expertenbefragung DLR 2014). Es kann zu

einer Trockenheitschlorose und zu einer geminderten Reservestoffeinlagerung kommen. An den Beeren selbst kann Trockenheit dazu führen, dass die Beerenhaut fest und wenig dehnbar ist, so dass es bei einer späteren feuchten Phase schneller zum Platzen oder Reißen der Beerenhaut kommt. Aber auch zu kleine, unreife Beeren, die einen Mangel an Inhaltsstoffen oder Fehlparamen, wie die untypische Alterungsnote (UTA) aufweisen, können durch eine unzureichende Wasserverfügbarkeit hervorgerufen werden (Rebschutzdienst 2014). Häufig tritt Trockenheit in Kombination mit Hitze auf, was die Einleitung von Notreifeprozessen und eine Schwächung der Reben verursachen kann. Es besteht eine erhöhte Gefahr der Ausprägung von Symptomen nach der Infektion mit wärmeliebenden, trocken-toleranten Erregern z.B. *Pseudopezicula tracheiphila* (Erreger Roter Brenner) und xylembewohnende Pilze wie *Phaeoacremonium aleophilum* und *Phaeoaniella chlamydospora* (Esca-Erreger). Durch den hervorgerufenen Stress kann es auch zum Ausbruch latent vorhandener Virus- und Phytoplasmenkrankheiten kommen. Die Schäden können von erheblichen Mostgewichtseinbußen und Wuchsstockungen bis hin zum Absterben bei Jungreben reichen (Expertenbefragung DLR 2014).

Hopfen

Im Hopfenbau können fehlende Niederschläge, neben den bereits genannten Auswirkungen, vor allem zu einem verzögerten Austrieb sowie der Hemmung der Blütenentwicklung, Doldenentwicklung, Doldenreife und Alphasäuresynthese führen. Auch die Gefahr des Befalls mit Spinnmilben ist erhöht, denn diese treten in heißen, trockenen Jahren besonders stark auf (LfL Bayern 2013). Bei Gießbehandlungen, zum Beispiel gegen Peronospora-Primär-Infektion und Bodenschädlinge, kann es bei zu geringer Bodenfeuchte (Dürre) zum Verbleiben der Mittel in der oberen Bodenschicht kommen, was dazu führt dass diese nicht ausreichend aufgenommen und wirken können. Ertragsausfälle durch Trockenstress von 10 bis 50 % sind durchaus möglich.

Gemüse

Im Vergleich zu Wein und Apfel sind ausbleibende Niederschläge und zu geringe Bodenwassergehalte im Gemüsebau in weiten Teilen Deutschlands von deutlich höherer Bedeutung und können enorme Verluste bis hin zu Totalausfällen verursachen (Vogel 1996; Crüger et al. 2002; Davis & Raid 2002; Krug et al. 2003; Wonneberger & Keller 2004; Backhaus et al. 2005; Rimmer et al. 2007; Schwartz & Mohan 2008; Ziegler 2010; Expertenbefragungen DLR Rheinpfalz 2014; Hortipendium 2014). Dass etwa 50% der Freilandgemüseflächen in Deutschland bewässert werden (Feller 2013), bestätigt die Relevanz des Faktors Wasser im Gemüsebau.

Im Vergleich zu den anderen betrachteten Gemüsekulturen ist Spargel recht trocken-tolerant. Dennoch kann bei Überschreiten der Grenzwerte durch Trockenstress das Wachstum der Spargelstangen und der Neuaustrieb reduziert sein, Spitzenwelke auftreten (Ca-Mangel) und der Befall mit trockenheitsliebenden Erregern, wie *Puccinia asparagi* (Erreger Spargelrost) gefördert werden. Zu durch Trockenstress hervorgerufenen, qualitativen Mängeln gehören ein zu geringer Stangendurchmesser; verholzte Stangen, Rotfärbung und Aufblühen der Köpfe sowie hohle, ovale und gerissene Stangen.

Bei Speisezwiebel kann Trockenheit zu geminderten Feldaufgangsraten, gelblich-braunen Verfärbungen an den Schlotten bis hin zum Absterben der Pflanzen und deutlich reduzierten

Erträgen führen. Der induzierte Stress erhöhte die Anfälligkeit gegenüber Schaderregern (z.B. durch Nährstoffmangel/-festlegung). Der Befall mit Thripsen, Zwiebelminierfliegen und Spinnmilben wird durch Trockenheit und warme Temperaturen gefördert. Typische, durch Trockenstress verursachte qualitative Mängel sind zu kleine Bulben; Verbrühungen an den Bulben und Schalenlosigkeit/Nacktschaligkeit.

In Möhren kann es in Folge ausbleibender Niederschläge und zu geringer Bodenwasserhalte zu einer Keimverzögerung; geringeren Bestandesdichten; einer Störung der Bildung von Pflanzenmasse und einer erhöhten Gefahr der Infektion mit *Erysiphe* sp. und *Streptomyces* sp. kommen. Qualitative Mängel können warzige, korkartige, ringförmig eingeschnürte Rübenkörper sein.

Trockenschäden zeigen sich in Weiß- und Rotkohl unter anderem an vergilbten, verkümmerten Pflanzen und Reifeverzögerungen. Trockenheit während Jugendentwicklung kann zum Schossen führen. Innenbrand (durch Calciummangel), Tabakkrankheit (Blattschichten unter den Deckblättern tabakähnlich grau & trocken), zu kleine Umblätter in Verbindung mit zu kleinen, zu festen Köpfen und strengem Geschmack und geplatze Köpfe werden als qualitative Schäden angegeben.

3.1.1.3.4 Überschwemmung und Staunässe

Durch die zumeist durch Dauerregen hervorgerufene Überschwemmung und Staunässe entsteht eine Wassersättigung des Bodens, die zu massivem Sauerstoff- und Nährstoffmangel und im späteren Verlauf zu Erosion, Verschlammung und Verkrustung führen kann. Die Gefahr für Überschwemmung und Staunässe ist auf verdichteten Böden oder Standorten mit hohen Grundwasserständen besonders hoch. Auch eine übermäßige Beregnung oder der Einsatz hoher Wassermengen zur Frostschutzberegnung kann Staunässe erzeugen. Dabei sind der Zeitpunkt, die Bodentemperaturen und die Dauer weitere, das Schadausmaß beeinflussende, Faktoren. Die Auswirkungen von Überschwemmung und Staunässe auf den Ertrag von Obstkulturen, insbesondere Apfel, sind im Frühjahr am größten, da es hier nach Link (2002) zu Schäden während der Zellteilung kommt. Bei gesäten Kulturen kann es zu geminderten Auflaufraten kommen. Generell sind jüngere Pflanzen aufgrund ihres geringer ausgeprägten Wurzelapparates empfindlicher gegenüber Staunässeschäden als ältere. Durch den Sauerstoffmangel wird das Wurzelsystem geschädigt, der Boden kühlt aus, der Energiestoffwechsel der Pflanze wird gehemmt, es kommt zu Wachstumsstockungen und Reifeverzögerungen, es entstehen Vergilbungen und die Anfälligkeit gegenüber sekundären Schadereignissen steigt. Im schlechtesten Falle sterben ganze Bäume und Pflanzen ab (Vogel 1996; Friedrich 1993; Crüger et al. 2002; Fischer et al. 2002; Krug et al. 2003; Wonneberger & Keller 2004; LfL Bayern 2013; Rebschutzdienst 2014). Das geminderte Wurzelwachstum kann sich außerdem langfristig negativ auf die Wasserverfügbarkeit unter trockenen Bedingungen auswirken. Der durch die genannten Auswirkungen entstandene Stress kann die Erträge und Qualitäten des betreffenden und bei mehrjährigen auch des darauffolgenden Jahres beeinflussen und sich negativ auf die Holzreife und infolgedessen auf die Frosthärte auswirken (Müller et al. 2008). Wenn die Befahrbarkeit der Böden durch Staunässe nicht mehr gegeben ist, muss unter Umständen die Durchführung der Kulturarbeiten verschoben werden oder ausfallen. Unter

anaeroben Bedingungen im Boden kann es außerdem zu einer ungewollten Veränderung der physikalischen und chemischen Bodeneigenschaften kommen.

Apfel

Im Apfelanbau trägt die Wahl der Unterlage entscheidend zur Anfälligkeit gegenüber Schäden durch Staunässe bei. Die gegenüber Krankheitserregern zwar widerstandsfähigen, aber schwach wachsenden Unterlagen sind in der Regel deutlich empfindlicher, was ein wesentlicher Grund für die Entscheidung war, weite Teile des Anbaugebietes „Niederelbe“ durch Polderung zu entwässern. Dennoch kann es zu Überschwemmungen und Staunässe aus oben genannten Gründen kommen. Im Apfelanbau zeigen sich Schäden vorrangig in einer verringerter Fruchtanzahl durch Fruchtfall, einer gestörten Abreife der Früchte, verringerten Fruchtgrößen oder bis hin zum Absterben der Pflanzen.

Wein

Im Weinbau ist die Staunässe- bzw. Überschwemmungsgefahr in Ertragsanlagen recht gering, da in Hinblick auf die Erwärmbarkeit zumeist geneigte Flächen für den Weinanbau genutzt werden. Rebschulen hingegen nutzen für Pflanzenanzucht oftmals ebene Flächen. Das führt dazu, dass Sie im Vergleich zu Ertragsanlagen einer generell höheren Gefahr ausgesetzt sind, durch Überschwemmung oder Staunässe betroffen zu sein. Prinzipiell sind junge Rebpflanzen empfindlicher als ältere. So ist im Frühjahr vor allem in Junganlagen die Gefahr für das Auftreten von Chlorosen – hervorgerufen durch den akuten Sauerstoffmangel und die verschlechterte Photosyntheseleistung - durch Überschwemmung und Staunässe besonders hoch. Auch in Hinblick auf wichtige kulturtechnische Arbeiten in Rebschulen, wie das „Ausschulen“ (Entnahme der in Rebschulen herangezogenen Jungpflanzen), besteht die Gefahr, dass diese aufgrund der mangelnden Befahrbarkeit der Böden nicht termingerecht durchgeführt werden (Expertenbefragung DLR 2014). Nach Bauer et al. (2008) kann es im Weinbau durch Staunässe zum völligem Ausbleiben der Erträge kommen.

Hopfen

Auch im Hopfenbau kann es durch Überschwemmung und Staunässe zu den eingangs geschilderten Auswirkungen kommen. Die Sorten „Hallertauer Taurus“, „Hersbrucker Spät“ und „Herkules“ zeigen sich dem durch Staunässe entstehenden Sauerstoffmangel und der dadurch geminderten Photosyntheseleistung als besonders empfindlich (LfL Bayern 2014). Durch den Sauerstoffmangel und die kühlen Bodenbedingungen entsteht eine erhöhte Gefahr des Auftretens von Stockfäule. Diese kann mit einer verminderten Triebzahl, geringeren Vitalität, erhöhten Stressempfindlichkeit, Nährstoffaufnahmestörungen, geringem Längenwachstum und verminderter Seitentrieblänge bis hin zu Welkeerscheinungen einhergehen (LfL Bayern 2013). Sind die Böden Ende August bis September durch Staunässe nicht befahrbar kann es dazu kommen, dass keine termingerechte Ernte möglich ist und entsprechende Mängel, wie ein geminderter Doldenertrag, eine geminderte innere Qualität, z.B. Alphasäure, eine geminderte äußere Qualität z.B. Verfärbung, glanzloses Aussehen, Zerblätterung der Dolden, auftreten (Lutz et al. 2009). Neben der Gefahr des Totalausfalles sind durch Staunässe hervorgerufenen Ertragseinbußen um 20 bis 30 % keine Seltenheit (Expertenbefragung LfL Bayern 2014).

Gemüse

Wie für alle bisher behandelten Kulturen geht auch für die Gemüsekulturen von Staunässe ein Risiko für Schädigungen aus, welches bis hin zu Totalausfällen reichen kann (Vogel 1996; Crüger et al. 2002; Davis & Raid 2002; Krug et al. 2003; Wonneberger & Keller 2004; Backhaus et al. 2005; Rimmer et al. 2007; Schwartz & Mohan 2008; Expertenbefragungen DLR Rheinpfalz 2014; Hortipendium 2014).

Im Spargelanbau kommt es durch Staunässe zu mangelndem Wachstum, lückigen Beständen, faulen Wurzeln bis hin zu Flächenausfällen. Auch die Gefahr des Befalls mit feuchtigkeitsliebenden Krankheitserregern, wie *Stemphylium botryosum* (Stemphylium-Spargellaubkrankheit), *Botrytis cinerea* (Grauschimmel), *Fusarium oxysporum* f. sp. *asparagi* (Fusarium-Wurzelfäule) und *Phytophthora sojae* (Kronen- und Sprossfäule) ist erhöht. Jungpflanzen sind besonders gefährdet, mit *Penicillium glaucum* infiziert zu werden. Als qualitative Mängel in Folge von Staunässe werden für Spargel gerissene Stangen (durch zu hohe Wasseraufnahme) oder auch eine Berostung durch *Fusarium* sp. und *Phytophthora* sp. genannt.

Neben den eingangs genannten Auswirkungen kann es in Speisewiebeln durch Staunässe zu einem Ausbleiben der Bildung einer transpirationsmindernden Gewebeschicht (Folgeschaden bei nachfolgender Trockenheit) und zu hoher Wasseraufnahme kommen. Des Weiteren können Nässeschäden während der Feldnachreife entstehen und für das Zwiebelwachstum wichtige, endotrophe Mykorrhizapilze geschädigt werden. Auch im Speisewiebelanbau droht dann eine erhöhte Gefahr der Infektion mit feuchtebedürftigen bakteriellen und pilzlichen Schaderregern, wie *Erwinia* spp., *Pythium* spp., *Fusarium* spp., *Pseudomonas cepacia*, *Sclerotium cepivorum*, *Peronospora destructor*, *Alternaria* spp., *Stemphylium* spp., *Botrytis* spp.; und des Befalls mit Stängelälchen (*Ditylenchus dipsaci*). Eine beeinträchtigte Lagerfähigkeit, die Bildung von Nebenbulben (glockigen Bulben), Dickhäuse, Wasserhäute/Glasigkeit und Verschmutzungen können die Qualität des Erntegutes mindern. Im Möhrenanbau werden deformierte Rüben, die Bildung kleiner Anschwellungen, Platzen (v.a. bei Regen nach trockener Periode), Wasserfleckenkrankheit (Sauerstoffmangel und Kalziumunterversorgung), Wachstumsverzögerungen und schwächere Wurzelbildung durch Abkühlung und Bodenverdichtung als mögliche Auswirkungen von Staunässe genannt. Durch Staunässe betroffene Möhren zeigen oft eine mangelhafte Ausfärbung, einen schlechten Geschmack und verstärkt Verschmutzungen.

Für Weiß- und Rotkohl sind als mögliche Folgen die Korksucht (übermäßige Zellstreckung des Blattgewebes, Durchbruch der Blattoberhaut und Verkorkung), das Schossen der jungen Pflanzen infolge extremer Nässe und die erhöhte Gefahr der Infektion mit feuchtebedürftigen Pilzkrankheiten wie *Phoma* sp. und *Peronospora* sp. sowie Bakteriosen wie *Pseudomas* sp. und *Erwinia* sp.; zu nennen. Auch die Entstehung von Lagerfäulen wird durch zu nass geerntete Köpfe gefördert. Als qualitative Mängel in Folge von Staunässe werden des Weiteren Innenblattnekrosen, ein ungünstiges Spross-Wurzel-Verhältnis, das Platzen nahezu erntereifer Kohlköpfe (v.a. bei feuchter Witterung infolge recht trockener Witterung) und Schmutzanhaftungen genannt.

3.1.1.3.5 Dauerregen und Starkregen

Die Extremwetterlagen Dauerregen und Starkregen zeichnen sich durch zu hohe Niederschlagsmengen über einen sehr kurzen (Starkregen) oder langen (Dauerregen) Zeitraum aus. Beide sind nicht gänzlich von „Überschwemmung und Staunässe“ abzugrenzen, denn häufig sind kurze heftige oder langanhaltende und ergiebige Niederschlagsereignisse ursächlich für ihre Entstehung. So kann es, wie im vorhergehenden Abschnitt erläutert, zu einer Wassersättigung des Bodens (Staunässe) und dadurch zu Sauerstoffmangel kommen. Häufige Folgen sind des Weiteren die Auswaschung von Nährstoffen (vorrangig bei Dauerregen), Erosion, Verschlämmung sowie Verkrustung. Auch Wachstumsstockungen- und -verzögerungen oder geminderte Auflaufraten können Folgen dieser Auswirkungen sein. Insbesondere Böden mit einer schlechten Drainagefähigkeit und stark geneigte Flächen sind von einem oberflächigen Wasserabfluss und den Folgen, wie Erosion und Verschlämmung, betroffen. Vor allem in Kombination mit kühler Witterung ist die Gefahr für das Auftreten von Chlorosen recht hoch (Expertenbefragung DLR 2014). Dauer- und auch Starkregen kann in Dauerkulturen im Frühjahr direkt und indirekt, durch die geminderte Flugaktivität von bestäubenden Insekten (Steffens 2013), die Befruchtung negativ beeinflussen. Als Folge sind eine geringere Befruchtungsrate und dadurch geringere Fruchtansätze oder unbefruchtete Scheinfrüchte zu nennen. Sogar im Folgejahr können sich die durch das Befahren vernässter Böden entstandenen Strukturschäden negativ auf das Wachstum der Pflanzen auswirken. Eine besondere Bedeutung kommt den Extremwetterlagen Dauerregen und Starkregen zu, weil es durch sie ganzjährig zu einer erhöhten Infektionsgefahr mit feuchtigkeitsliebenden Krankheitserregern kommen kann. Zum einen bietet eine erhöhte und verlängerte Phase hoher Blattfeuchtigkeit gute Bedingungen für viele Erreger, zum anderen kann Starkregen durch das Aufschleudern von Pilzsporen zu deren Verbreitung beitragen. Gleiches gilt für die Verbreitung von Blattflecken-induzierenden Bakterien, besonders Pseudomonaden. Im späteren Entwicklungsverlauf kann das Erntegut durch zu feuchte Bedingungen in Folge hoher Wasseraufnahme platzen. Dies führt zum einen an sich schon zu qualitativen Beeinträchtigungen, zum anderen fördert es die Besiedelung mit Sekundärfäuleerregern. Neben den unter Kapitel 3.1.1.2 genannten kulturtechnischen Beeinträchtigungen drohen durch Dauer- und Starkregen auch die Abwaschung von Pflanzenschutzmitteln und eine verminderte Wirkung dieser.

Apfel

Neben den unter Kapitel 3.1.1.3.4 genannten Auswirkungen durch stauende Nässe geht von Dauerregen im Apfelanbau vor allem in Hinblick auf die erhöhte Wahrscheinlichkeit der Infektion mit Schorf, Obstbaumkrebs und Botrytis eine Gefahr aus, dies gilt insbesondere ab dem Knospenaufbruch (OVA 2013). Ein Schorfbefall beispielsweise kann mit erheblichen Qualitätseinbußen einhergehen. Auch ein Totalausfall ist durch Dauerregen im Apfelanbau möglich. Starkregen kann (vor allem in Kombination mit starkem Wind) zum Abwurf von Früchten oder gar zum Abbrechen von Ästen führen.

Wein

Durch Dauerregen kann es im Weinbau (v.a. in Kombination mit kühler Witterung) zur Verrieselung der Blüten kommen und dementsprechend zu einer verminderten

Befruchtungsrate. Außerdem geht von feuchten Bedingungen eine erhöhte Infektionsgefahr mit feuchtigkeitsliebenden Erregern, wie *Botrytis cinera* (Grauschimmel) und *Phomopsis viticola* (Schwarzfleckenkrankheit), aus. Im Mai und Juni kann insbesondere Starkregen die Infektion mit *Plasmopara viticola* (Falscher Mehltau) fördern, weil die Sporen durch das Auftreffen der Regentropfen besser verbreitet werden (Hoppmann 2010). Häufig kommt es in Folge von andauerndem Niederschlag oder starkem Regen zum Platzen der Beeren und der Besiedelung dieser mit Sekundärfäuleerregern. Dadurch können Essig-, Rosa-, Weiß- und Grünfäule, sowie die Mykotoxinbildung gefördert werden. Dies kann die Verarbeitung der Beeren zu Wein erheblich erschweren oder sogar gänzlich verhindern kann (Expertenbefragung DLR 2014).

Hopfen

Auch im Hopfenbau können sich Dauer- und Starkregen in eingangs geschilderter Weise negativ auswirken. Ein in Hinblick auf Verschlammung und Erosion besonders gefährdeter Zeitraum ist die Phase des zweiten Anackerns, da dann der Boden nicht über die Durchwurzelung der Unkräuter und Zwischenfrüchte geschützt ist und besonders locker ist (Niedermeier 2011). In Phasen mit Dauerregen besteht ein erhöhter Infektionsdruck (insbesondere Primärinfektion) mit *Pseudoperonosopora humuli*.

Gemüse

Die anfangs aufgeführten Auswirkungen wie Verschlammung, Verkrustung oder Wassererosion können bei Spargel zu deformierten Stangen, einer ungewollten Rotfärbung der Köpfe (in Folge Bodenabtrag durch Wassererosion) und einer erhöhten Gefahr des Befalls mit feuchtigkeitsliebenden Krankheitserregern, wie *Stemphylium botryosum* (Erreger Stemphylium-Spargellaubkrankheit), *Botrytis cinerea* (Grauschimmel), *Fusarium oxysporum* f. sp. *asparagi* (Fusarium-Wurzelfäule) und *Phytophthora sojae* (Kronen- und Sprossfäule) führen (Vogel 1996, Wonneberger & Keller 2004; Hortipendium 2014).

Nach Krug et al. (2003) und Schwartz und Mohan (2008) kann es in Speisezwiebel durch Starkregen zu Druckstellen und Verletzungen an den Schlotten, Glasigkeit, zu kleinen Bulben und Dickhälsen (Wachstumsstockungen und –verzögerungen) kommen. Wenn aufgrund von Vernässung die Ernte verspätet stattfindet, ist die Gefahr für das Auftreten der Schalenlosigkeit (Nacktschaligkeit) erhöht. Auch Verschmutzungen und die Förderung feuchtebedürftiger Schaderreger, wie *Erwinia* ssp., *Pythium* ssp., *Fusarium* ssp., *Pseudomonas cepacia*, *Sclerotium cepivorum*, *Peronospora destructor*, *Alternaria* spp., *Stemphylium* spp., *Botrytis* spp. und Stängelälchen (*Ditylenchus dipsaci*) werden als Folgen von Stark- und Dauerregen genannt (Vogel 1996; Krug et al. 2003; Wonneberger & Keller 2004).

In Möhren droht durch Stark- und Dauerregen ebenfalls eine Verschmutzung des Krautes und der Rüben, das Platzen der Möhren (zu hohe Wasseraufnahme) und eine erhöhte Gefahr der Infektion mit feuchtigkeitsliebenden Krankheits- und Sekundärfäuleerregern, wie *Alternaria* sp., *Erwinia* sp., *Pythium* spp., *Cercospora* sp. und *Chalara thielaviopsis* (Chalara-Lagerfäule) (Crüger 1991; Crüger et al. 2002; Expertenbefragung DLR 2014).

In Weiß- und Rotkohl kann es durch zu hohe Niederschläge zum Platzen nahezu erntereifer Kohlköpfe (Crüger et al. 2002; Rimmer et al. 2007), zu Schmutzanhaftungen und einer erhöhten Gefahr von Pilzkrankheiten wie *Phoma* sp. und *Peronospora* sp. sowie Bakteriosen

wie *Pseudomas* sp. und *Erwinia* sp. kommen. Auch Lagerfäulen können durch zu nass geerntete Köpfe gefördert werden (Wonneberger & Keller 2004).

3.1.1.3.6 Hitze

Sehr hohe Temperaturen (Hitze) können bei Pflanzen zu Veränderungen in der Proteinsynthese, deutlich zu hohe Temperaturen sogar zu Denaturierungsprozessen in Zellen und Membranen führen, was sich unter anderem in Welkeerscheinungen oder sonnenbrand- bzw. verbrühungsähnlichen Schäden zeigen kann. Die Pflanzen reagieren auf Hitzestress mit dem Schließen der Stomata und verbrauchen höhere Mengen Wasser. Wenn das Temperaturoptimum der Photosynthese überschritten wurde, nimmt die Assimilationsleistung wieder ab, wodurch sich die Entwicklungsprozesse verlangsamen oder gehemmt werden (Friedrich 1993). Bei der Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln und Flüssigdüngern bei zu hohen Temperaturen können „Verbrennungen“ entstehen, die die Pflanzen schwächen und die Assimilationsfläche mindern. In Folge zu starker Hitze kann es demzufolge auch zu einer Behinderung bzw. Einschränkung bei der Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln kommen.

Apfel

Nach Link (2002) und Expertenbefragungen am OVR in Jork und KOB in Bavendorf (2014) kann es durch Hitze an den Blättern des Apfels zu Nekrosen bzw. Verbräunungen kommen, wodurch die Assimilationsfläche verringert und die Versorgung des Baumes und der Früchte mit Assimilaten vermindert wird. In Folge entstehen beispielsweise kleinere Früchte, was eine erhebliche qualitative und quantitative Einschränkung darstellt. Häufig tritt Hitze in Kombination mit hoher Sonneneinstrahlung auf, was Sonnenbrand an den Blättern und Früchten hervorrufen kann. Auch Glasigkeit (durch Störung im Zuckerstoffwechsel) wird im Apfelanbau als eine mögliche Folge von Hitze angegeben. Mögliche biotische Folgen sind eine erhöhte Gefahr der Infektion mit wärmeliebenden Erregern und eine höhere Wahrscheinlichkeit von Fraßschäden durch Vögel, die - um ihren Wasserbedarf zu decken - verstärkt Früchte anpicken.

Wein

Hitze kann nach Müller et al. (2008) eine Notreife der Beeren nach sich ziehen, was erhebliche Mostgewichtseinbußen verursacht. Wenn gleichzeitig eine sehr geringe Luftfeuchtigkeit vorherrscht, entstehen verbrühungsähnliche Schäden und ein Kochgeschmack in den Beeren. Hitze nach dem Stecken der jungen Reben in Rebschulanlagen kann zum ungewollten Austreiben an den Verwachsungsstellen führen. Auch die Gefahr der Ausprägung der Symptome von Infektionen mit wärmeliebenden, trockentoleranten Erregern, z.B. *Pseudopezicula tracheiphila* (Erreger Roter Brenner) und xylembewohnende Pilze, wie *Phaeoacremonium aleophilum* und *Phaeomonilla chlamydospora* (Esca-Erreger), steigt bei hitzestressen und dadurch geschwächten Reben (Expertenbefragung DLR 2014).

Hopfen

Auch im Hopfenbau sind sonnenbrandähnliche Schäden als Folge von Hitze zu nennen. Diese treten vorrangig auf den Blättern in den oberen Bereichen der Pflanze auf. Ertragsrelevante Schäden durch Hitze entstehen aber meist nur bei gleichzeitigem Auftreten von Trockenheit

(Expertenbefragungen LfL Bayern 2014). Hitze fördert des Weiteren den Aufbau einer starken Spinnmilbenpopulation, die im schlimmsten Fall einen Totalausfall verursachen kann. Auch die Wirksamkeit von Pflanzenschutzmittel kann durch die hitzeinduzierte Ausbildung einer starken Wachsschicht auf den Blättern eingeschränkt sein.

Gemüse

Hitze während der Ernteperiode kann zu dünne Spargelstangen, aufgeblühte Köpfe und eine Beigefärbung der Köpfe (zu hohen Temperaturen unter der Folie) verursachen (Krug et al. 2003). Hitze in den späteren Sommermonaten wiederum kann zu einem frühzeitigen Altern des Laubes führen, was sich negativ auf die Assimilationsleistung und die Einlagerung von Reservestoffen auswirkt. Auch der Befall mit wärmeliebenden Erregern, z.B. *Puccinia asparagi* (Erreger Spargelrost), kann gefördert werden.

Speisezwiebeln können durch Hitze während der Keimung, der Bulbenbildung bis hin zur Feldnachreifepériode geschädigt werden. Folgen können die Schädigung der Keimlinge, die Ausbildung kleinerer Bulben, aufgrund zu zeitiger Bulbenbildung und früherer Abreife, Verbrühungen der Bulben während Feldnachreifepériode und Schalenlosigkeit (Nacktschaligkeit), durch zu hohe Temperaturen zur Erntezeit, sein (Crüger et al. 2002; Krug et al. 2003; Schwartz & Mohan 2008). Für die Saatgutproduktion kann Hitze von Bedeutung sein, weil es zu einer Hemmung der Ausbildung von Blütenanlagen (Antivernalisation) und Devernalisation kommen kann. Des Weiteren droht auch im Speisezwiebelanbau eine erhöhte Gefahr der Infektion mit wärmeliebenden Pathogenen, z.B. *Pseudomonas cepacia*, *Phoma terrestris* und *Fusarium oxysporum* f. sp. *cepae*.

Auch bei Möhren kann es bei Hitze zu einer geminderten Keimung, zur Beschädigung oberflächennaher Wurzeln junger Pflanzen, Einschnürungen an jungen Pflanzen oberhalb Bodenoberfläche und späterem Umknicken kommen. Nach Davis und Raid (2002) kann es durch die Schädigung junger Pflanzen bis zum Totalausfall kommen. Typische, durch Hitze verursachte qualitative Mängel sind längeres, weiches Laub, kürzere und deformierte Rüben sowie ein bitterer Geschmack (Vogel 1996; Davis & Raid 2002; Krug et al. 2003; Expertenbefragung DLR 2014). Temperaturen über 25 °C gelten als optimale Bedingungen für Infektion mit *Xanthomonas campestris* pv. *carotae* und *Alternaria radicina* (Crüger 1991; Crüger et al. 2002).

Blattpunktnekrosen, auch „grijs“ oder „black speck“ genannt, sind bei Weiß- und Rotkohl typische Auswirkungen von Hitzestress (Wonneberger & Keller 2004; Crüger 1991).

3.1.1.3.7 Kahl-/Winterfrost

Kahl und Winterfrösten kommt im Sonderkulturanabau im Vergleich zu den bisher behandelten Extremwetterlagen eine etwas geringere Bedeutung zu. Kommt es dennoch zu einer Schädigung durch Winterfrost, tritt sie an Dauerkulturen in der Regel in der Phase der Vegetationsruhe auf. Von den behandelten Gemüsekulturen können vor allem Spargel und Winterzwiebeln durch Winterfröste geschädigt werden. Erheblichen Einfluss auf die Anfälligkeit gegenüber Winterfrost hat der vorhergehende Witterungsverlauf. Besonders starke Schäden können durch plötzlich eintretende, tiefe Minusgrade entstehen. Konnte vorher eine langsame Akklimatisierung stattfinden und die Pflanzen einen physiologischen Frostschutz aufbauen, sind tiefe Minusgrade in der Regel besser durch die Pflanzen tolerierbar. Neben den Sorten hat vor allem auch der Grad der Reservestoffeinlagerung

(Dauerkulturen) Einfluss auf das Schadausmaß. Haben die Pflanzen beispielsweise in der vorhergehenden Vegetationsperiode Stress (biotisch oder abiotisch) erfahren oder sehr hohe Erträge ausgebildet, konnten zumeist weniger Reservestoffe einlagern (schlechte Holzreife) und sind anfälliger gegenüber Frostschäden (Fischer et al. 2002). Warme Zwischenperioden können zur Unterbrechung der endogenen Ruhe (Winterruhe) der Pflanzen führen, was die Frosthärte ebenfalls deutlich herabsetzt. Winterfrostschäden werden vor allem durch die Eisbildung in Zellen, Zellwänden oder Interzellularen und den dadurch entstehenden mechanischen Schäden verursacht. Von den mehrjährigen Kulturen sind Apfel und Wein aufgrund ihrer Morphologie (Stämme und Winterknospen oberirdisch) stärker gefährdet als Hopfen und Spargel, wobei es auch hier zu Ausfällen durch Kahlfrost kommen kann. Schäden können an den Stämmen, Wurzeln und den Winterknospen entstehen, wobei nach Experteneinschätzungen am DLR (2014) Augenschäden bis 20 % im Weinbau relativ gut kompensierbar sind. Eine reflektierende Schneedecke kann das einseitige Erwärmen der Stämme an zwar strahlungsreichen aber sehr kalten Wintertagen fördern. Die Temperaturdifferenz zwischen der besonnten und beschatteten Seite kann zu erheblichen Stammschäden (z.B. Frostrissen) führen (Expertenbefragung OVR 2014). Zusätzlich besteht die Gefahr einer Frostrocknis, bei der aus dem noch gefrorenen Boden und den Wurzeln an Tagen mit transpirationsfördernden Bedingungen (z.B. Sonne) kein Wassernachschub erfolgen kann. Nach Fischer et al. (2002) treten Winterfrostschäden im Apfelanbau etwa alle 10 bis 12 Jahre auf. Sowohl im Weinbau als auch im Apfelanbau können Stammschäden, vor allem in Junganlagen, zum völligen Absterben der Pflanzen führen (Expertenbefragungen DLR & KOB 2014). Durch die entstandenen Wunden am Holz kann es zu Folgeinfektionen kommen, was im Weinbau zum Beispiel zum vermehrten Auftreten von Mauke (*Agrobacterium vitis*), Eutypiose (*Eutypa lata*) und Esca in den Folgejahren führen kann. Besonders die von kontinentalem Klima geprägten Standorte, wie sie überwiegend in Ostdeutschland zu finden sind, sind von Winterfrostschäden bedroht.

3.1.1.3.8 Sturm

Auch Sturm nimmt in den meisten Sonderkulturen einen geringeren Stellenwert als beispielweise Hagel und Trockenheit ein. Dennoch kann es durch Sturm zu mechanischen Beschädigungen direkt durch den Wind oder durch windtransportierte Partikel (Winderosion) kommen (Expertenbefragung DLR 2014). Starke Sturmböen sind in der Lage, ganze Bäume umkippen oder brechen zu lassen, Schäden an den Unterstützungsvorrichtungen hervorzurufen oder bei Gemüsekulturen ganze Triebe zu brechen oder auszdrehen (Krug et al. 2003). Obwohl ein Aufrichten umgekippter Baumzeilen oder ein erneutes Anleiten von Hopfentrieben oftmals ohne Folgeschäden möglich ist, kann es durch Sturm auch zu einem Totalausfall kommen (Expertenbefragungen DLR, KOB, LfL Bayern & OVR 2014). Oft treten in Folge dieser Schäden erhebliche Entwicklungs- und Reifeverzögerungen auf. Es können Druckstellen, Scheuerspuren (auch durch die Unterstützungsvorrichtungen) oder Abschmirgelungen an Trieben oder dem Erntegut entstehen, was qualitative Verluste mit sich bringt und Eintrittspforten für Folgekrankheiten schafft (Crüger et al. 2002; Davis & Raid 2002; Wonneberger & Keller 2004; Müller et al. 2008; Schwartz & Mohan 2008). Der Abtrag von Boden durch Wind kann dazu führen, dass die Köpfe von Möhren oder Spargel ungewollt freiliegen und es aufgrund der

Lichteinwirkung zu einer qualitätsmindernden Grünköpfigkeit bei Möhre oder einer Rotfärbung der Köpfe bei Spargel kommt. Zu hohe Windgeschwindigkeiten behindern des Weiteren die Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln (Abdriftvermeidung). Auch durch Winderosion kann es zu einer Verlagerung von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen auf andere Flächen kommen, die dadurch geschädigt werden können (Expertenbefragung DLR 2014). Die Anfälligkeit für Sturmschäden hängt neben der Bewirtschaftungsform (je mehr Blattfläche, umso anfälliger) auch von der Entwicklungsphase ab. In der Regel nimmt die Gefahr für größere Sturmschäden bei Dauerkulturen mit fortschreitender Entwicklung und Blattfläche zu. So ist im die Anfälligkeit für Sturm besonders hoch, wenn der Hopfen die volle Gerüsthöhe erreicht hat oder Apfel und Wein einen hohen Fruchtbehang aufweisen. Bei Gemüsekulturen, z.B. Weiß- und Rotkohl, sind hingegen junge Pflanzen besonders empfindlich gegenüber Sturmschäden, z.B. Abrieb bei Winderosion.

3.1.1.3.9 Frühfrost

Herbstfröste (Frühfröste) können zu Schäden an noch nicht beernteten Beständen oder am Laub führen, sind aber in der Regel von geringere Bedeutung. Auch diese Frühfrostschäden werden durch die Bildung von Eiskristallen in Zellen und Interzellularen und die dadurch entstehende Schädigung der Zellwände bzw. Zellen oder durch osmotische Veränderungen verursacht (siehe Kap. 3.1.1.3.2). Die Eiskristallbildung kann zudem die Enzymreaktionen im Erntegut stören, was geschmackliche - zumeist ungewollte - Veränderungen mit sich bringt (Link 2002). Eiswein ist hier eine Ausnahme, er bedarf einer Frosteinwirkung von mindestens -7 °C (meist erst im Zuge des Winters erreicht), um seinen typischen Charakter zu erhalten. Bei Gemüsekulturen sind beispielsweise Speisezwiebeln kurz vor bzw. während der Feldnachreife, Möhren und Kopfkohl gefährdet. Frostschäden zeigen sich dann meist als glasige/wässrige Stellen bis hin zu Rissen und Deformierungen (Crüger 1991; Crüger et al. 2002; Krug et al. 2003; Wonneberger & Keller 2004; Schwartz & Mohan 2008). Das vorzeitige Abfrieren noch grüner Pflanzenteile hat eine Minderung der Photosyntheserate zur Folge (Müller et al. 2008) und kann so zu einem gestörten Reifeprozess, einer Verzögerung der Ernte, einer Hemmung der Ausbildung qualitativer Merkmale – wie die Mostgewichte im Weinbau – und einer verschlechterten Einlagerung von Reservestoffen (Beeinträchtigung der Holzreife und Frosthärte) (Vogt & Schruft 2000) führen. Erfrorene Rebblätter verfärben sich rötlich-braun und rollen sich ein (Rebschutzdienst 2014). Bei Frühfrostschäden an den Beeren im Wein verfärben diese sich ebenfalls rotbraun und die Zuckereinlagerung wird gestoppt (Expertenbefragung DLR 2014). Wie bei Spätfrösten, spielen die Sorteneigenschaften eine wichtige Rolle bei der Gefährdung und sind vor allem Kaltluftstaulagen gefährdet. Nach Link (2002) kann es bei spätreifenden Sorten im Herbst eher zu Schäden durch Frost kommen. Die durch die klimatischen Bedingungen in der Regel spätere Ernte in ostdeutschen Lagen führt dort zu einer tendenziell höheren Gefahr für Frühfrostschäden.

3.1.1.3.10 Nassschnee

Nassschnee spielt in allen behandelten Dauerkulturen eine eher untergeordnete Rolle (siehe Kap. 3.1.2). Trotzdem kann es - vor allem in Apfelanlagen - durch Nassschnee zu einer so hohen Last kommen, dass Pflanzenteile abbrechen. Auch aus phytosanitärer Sicht ist Nassschnee negativ zu bewerten. Unter einer lang anhaltenden geschlossenen Schneedecke

verrottet das Falllaub unter sauerstoffarmen Bedingungen eher schlecht, wodurch auch die Zersetzung der Krankheitserreger gehemmt sein kann. Für das Folgejahr entstehen dadurch ein erhöhtes Sporenpotential und eine erhöhte Gefahr der Infektion mit Krankheiten (Klein 2011). Eine geschlossene Schneedecke kann im Gemüsebau einen Sauerstoffmangel, mechanische Belastung und eine Saatgutverschlammung sowie entsprechende Folgeschäden verursachen (Expertenbefragung DLR 2014).

3.1.1.3.11 Sonstige relevante Extremwetterlagen

Ein immer stärker an Relevanz gewinnendes Problem sind zu hohe Strahlungsintensitäten. In Apfel und Wein werden in den letzten Jahren verstärkt Sonnenbrandschäden an den Blättern oder auch Früchten beobachtet. Meist treten diese Schäden in Folge einer Kombination aus zu hohen Strahlungsintensitäten und zu hoher Hitze auf (Expertenbefragungen DLR & OVR 2014). Auch bei Speisezwiebeln und Kopfkohl können Verbrennungen (Sonnenbrand) grüner Pflanzenteile, der Kohlköpfe oder Bulben, vorrangig während der Feldnachreifeperiode, auftreten. Geschädigte grüne Pflanzenteile zeigen meist weiße, absterbende Spitzen und Blattspitzenverkrümmungen. Dadurch kommt es zu einer Hemmung des Wachstums und der Assimilation (Crüger 1991; Crüger et al. 2002; Krug et al. 2003; Wonneberger & Keller 2004; Backhaus et al. 2005; Schwartz & Mohan 2008; Expertenbefragung DLR 2014)

Extreme Temperaturwechsel können sowohl im Winter – meist als Wechselfrost - Schäden an Wurzel und Stämmen als auch während der Vegetationsperiode Schäden verursachen, wenn die Pflanzen nicht in der Lage waren, sich an die schnellen Schwankungen anzupassen. Dies kann sich zum Beispiel in einer erhöhten Anfälligkeit gegenüber Krankheiten widerspiegeln. Wechselfröste führen beispielsweise zum Hochfrieren von Zwiebelkeimlingen (Expertenbefragung DLR 2014).

Auch zu warme oder kalte Phasen im Herbst und Winter können schädigend sein. Obwohl es sich hier nicht immer zwangsläufig um eine Extremwetterlage handeln muss, die sich durch eine überdurchschnittliche Abweichung von den Normaltemperaturen auszeichnet, sollen sie nicht unerwähnt bleiben. Zu hohe Temperaturen im Winter können zu einer Brechung der Winterruhe und damit einer Absenkung der Frosthärte, was vor allem bei plötzlich eintretenden tieferen Minustemperaturen problematisch wird, oder zum Beispiel auch zu einer verzögerten bzw. gestörten Eisweinproduktion führen (Hoppmann 2010).

3.1.2 Experteneinschätzungen zur Relevanz

3.1.2.1 Apfel

Mithilfe der Expertenbefragungen unter Beratern und Praktikern in den Apfelanbaugebieten „Niederelbe“ (n=18) und „Bodensee“ (n=26) konnten in Hinblick auf die Relevanz der einzelnen Extremwetterlagen deutliche regionale Unterschiede identifiziert werden. Wie Tabelle 16 zeigt, führt in beiden Anbaugebieten Hagel die Rangliste der relevanten Extremwetterlagen an, Unterschiede zeigten sich aber auf den folgenden Rängen. Die Experten im Anbaugebiet „Niederelbe“ vergaben Rang 2 an Spätfrost und Rang 3 an „Überschwemmung und Staunässe“. Diese Bewertung bestätigt die maritim geprägten klimatischen Charakteristika des norddeutschen Anbaugebietes. Die im Anbaugebiet „Bodensee“ befragten Experten sehen nach Hagel hingegen vor allem Trockenheit und dann

erst Spätfrost als relevant an. Auch im Ranking der Plätze 4 bis 12 zeigten sich regionale Differenzen (Tab. 16). Des Weiteren fällt auf, dass die Experten im Anbaugebiet „Niederelbe“ Hagel (Rangnote 2,06) und Spätfrost (2,17) als fast gleichrangig bewerteten. Im Anbaugebiet „Bodensee“ hingegen führte Hagel mit einer Rangnote von 1,23 vor Trockenheit (3,38) das Ranking deutlich an und untermauert noch einmal die besondere Relevanz dieser Extremwetterlage für den Apfelanbau am „Bodensee“ und den süddeutschen Raum im Allgemeinen. Die Vergabe der Ränge durch die Befragten basierte auf dem Schadpotential, der Dauer des Risikos und der Häufigkeit des Auftretens.

Tabelle 16 Expertenbewertungen zur Relevanz von Extremwetterlagen im Apfelanbau, auf Basis von Befragungen* unter Beratern und Praktiker in den Anbaugebieten „Niederelbe“ (n=18) und „Bodensee“ (n=26) berechnete Ränge, mittlere Rangnoten (RN) ± Standardabweichung (SD)

Niederelbe			Bodensee		
Rang	Extremwetterlage	RN**	Rang	Extremwetterlage	RN ± SD
1	Hagel	2,06	1	Hagel	1,23 ± 0,53
2	Spätfrost	2,17	2	Trockenheit	3,38 ± 1,69
3	Staunässe/Überschwemmung	4,72	3	Spätfrost	3,43 ± 2,50
4	Dauerregen	5,06	4	Hitze	3,71 ± 2,08
5	Kahl-/Winterfrost	5,72	5	Starkregen	3,89 ± 2,05
6	Hitze	6,06	6	Dauerregen	4,59 ± 2,63
7	Starkregen	6,34	7	Sturm	4,89 ± 3,20
8	Frühfrost	8,28	8	Extreme Dürre	5,27 ± 4,10
9	Sturm	8,39	9	Kahl-/Winterfröste	5,89 ± 2,75
10	Extreme Dürre	8,78	10	Frühfröste	6,31 ± 3,20
11	Trockenheit	9,00	11	Staunässe/Überschwemmung	7,50 ± 2,02
12	Nassschnee	11,44	12	Nassschnee	7,63 ± 3,36

* In Kooperation mit dem Kompetenzzentrum Obstbau-Bodensee in Bavendorf (Bodensee) und dem Esteburg Obstbauzentrum in Jork (Niederelbe), ** ohne SD

In Abbildungen 9 und 10 ist das durch die Expertenbefragungen abgeleitete Risiko über den Jahresverlauf für die beiden Apfelanbaugebiete „Niederelbe“ und „Bodensee“ dargestellt. Zu erkennen ist, dass die von den Extremwetterlagen ausgehenden Risiken (Dauer und Schadpotential) in den beiden Anbauregionen teilweise sehr unterschiedlich bewertet werden. In beiden Anbaugebieten zeigt die relevanteste Extremwetterlage Hagel die längste Phase starken Risikos (Niederelbe: Anfang Juni bis Anfang Oktober; „Bodensee“: Juni bis Anfang September) auf. An der Niederelbe geht von der zweitrelevantesten Extremwetterlage Spätfrost ein auch immerhin 2-monatiges starkes Risiko für die Blüten und jungen Früchte aus. Die am „Bodensee“ befragten Experten sehen hingegen Spätfrost auf Rang 3 und geben als Phase starken Spätfrosttrisikos am „Bodensee“ einen deutlich kürzeren Zeitraum (Ende April) an. Hier zeigen sich demzufolge erhebliche regionale Unterschiede. Dass am „Bodensee“ Hagel die mit Abstand relevanteste Extremwetterlage ist, zeigt sich auch in der Bewertung des Risikos der auf Rang 2 gewerteten Trockenheit. Von Mitte Mai bis

Ende August bewerteten die befragten Experten diese „nur“ mit einem mittleren Risiko. Wie die geografische Lage und das von der Nähe zur Küste geprägte Klima an der „Niederelbe“ vermuten lassen, geht dort für die staunässeempfindlichen Apfelbäume von „Überschwemmung/Staunässe“ ein ganzjähriges, wenn auch eher geringes bis mittleres, Risiko aus. An der „Niederelbe“ wird des Weiteren für Dauerregen (Ende April bis Ende Mai), „Kahl-/Winterfrost“ (Anfang bis Ende Februar) und Hitze (Anfang bis Ende August) ein starkes Risiko angegeben. Die am „Bodensee“ befragten Experten geben neben den bereits erwähnten nur für Hitze (Mitte Juli bis Mitte August) und Extreme Dürre (Anfang bis Ende August) ein starkes Risiko an. Beide Anbauregionen bewerten Nassschnee als am wenigsten relevant.

Abbildungen 11 und 12 stellen die aus allen Bewertungen für eine Extremwetterlage berechneten Risikowerte dar. Die Risikowerte sind Maßzahlen für die Stärke und Dauer des von einer Extremwetterlage im gesamten Jahr ausgehenden Risikos ohne die Häufigkeit ihres Auftretens einzubeziehen. Dies ist wichtig für die Bewertung des Risikos, wenn sich im Zuge der Klimaveränderung die Häufigkeiten der Extremwetterlagen verschieben. Der höchste Risikowert wäre bei ganzjährig starkem Risiko die „72“. Diese Form der Auswertung verdeutlicht, dass an der „Niederelbe“ auf das ganze Jahr bezogen, das Schadpotential durch Dauerregen (33,4) und „Überschwemmung/Staunässe“ (30,6) am höchsten ist und vom eigentlichen Ranking abweicht. Am „Bodensee“ zeigen, in Übereinstimmung mit dem vergebenen Ranking, Hagel (29,0) und Trockenheit (21,4) die höchsten Risikowerte.

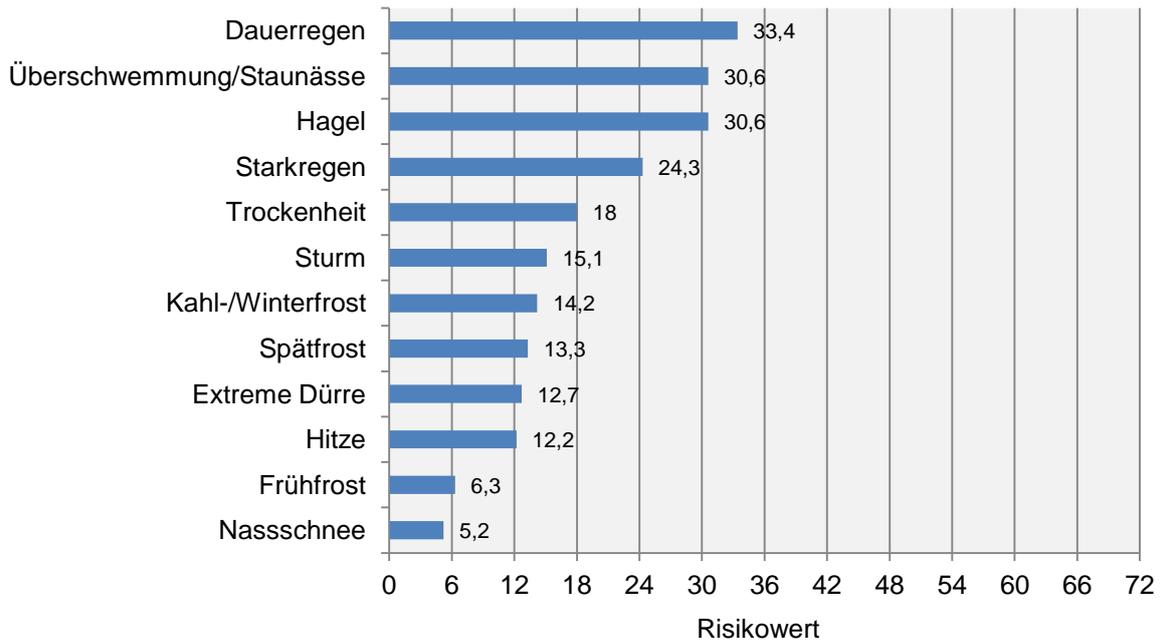


Abbildung 11 Aus Expertenbewertungen berechnete extremwetterlagenspezifische Risikowerte für den Apfelanbau im Anbaugebiet „Niederelbe“, wobei die Werte zwischen „0“ (ganzjährig kein Risiko) und „72“ (ganzjährig starkes Risiko) liegen können

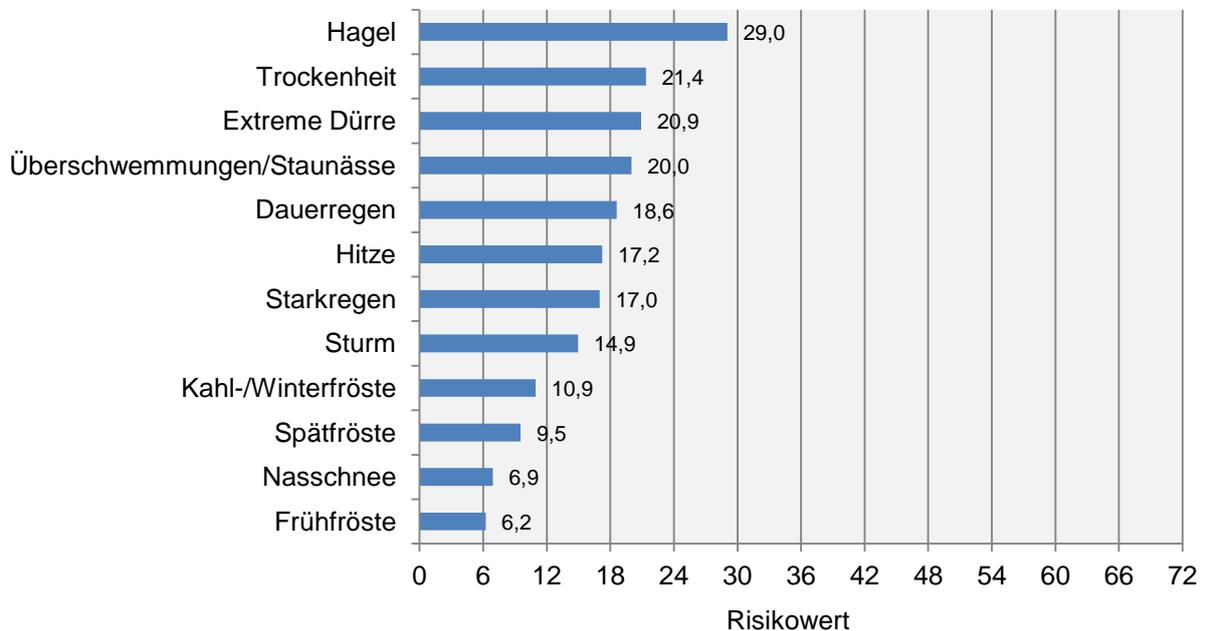


Abbildung 12 Aus Expertenbewertungen berechnete extremwetterlagenspezifische Risikowerte für den Apfelanbau im Anbaugebiet „Bodensee“, wobei die Werte zwischen „0“ (ganzjährig kein Risiko) und „72“ (ganzjährig starkes Risiko) liegen können

3.1.2.2 Wein

Wie Tabelle 17 zeigt, konnten durch die Befragung von Beratern und Praktikern in den Weinanbaugebieten „Pfalz“ (n=6), „Rheinhessen“ (n=7), „Franken“ (n=6), „Nahe“ (n=4) und „Rheingau“ (n=1) als die drei relevantesten Extremwetterlagen Spätfrost (Rang 1), Hagel (Rang 2) und Trockenheit (Rang 3) über alle betrachteten Anbaugebiete identifiziert werden. Betrachtet man jedoch die Anbaugebiete getrennt voneinander, werden regionale Unterschiede deutlich. In der „Pfalz“ und „Rheinhessen“ nimmt Hagel mit einer mittleren Rangnote von 1,4 bzw. 2,0 ganz klar Rang 1 in Hinblick auf die Relevanz ein, gefolgt von Spätfrost (2,2 bzw. 2,5) und Kahl-/Winterfrost (3,0 bzw. 3,3). Somit sind sich diese beiden Anbaugebiete in ihrer Bewertung – zumindest in Hinblick auf die drei relevantesten Extremwetterlagen - recht ähnlich. In „Franken“ hingegen zeigte sich ein gänzlich anderes Bild. Hier vergaben die Experten Rang 1 an Spätfrost und Trockenheit mit einer mittleren Rangnote von jeweils 2,0. Auf Platz 2 und 3 folgen in „Franken“ Dauerregen/Staunässe und Starkregen. Es ist jedoch zu beachten, dass die Expertenaussagen sicherlich stark von den Extremwetterereignissen der letzten Jahre in ihrem Gebiet beeinflusst waren. Die Ergebnisse verdeutlichen dennoch, dass die geografische Lage nicht nur entscheidenden Einfluss auf die großklimatischen Eigenschaften eines Anbaugebietes, sondern auch auf die Relevanz (Häufigkeit, Dauer und Schadpotential) von Extremwetterlagen haben kann und sich die Anbaugebiete darin zum Teil erheblich unterscheiden können. Die regionalisierte Bewertung der Relevanz der Extremwetterlagen im Jahresverlauf ist in Abbildungen 42-45 (Anhang) detaillierter dargestellt. Die Weinanbaugebiete „Nahe“ und „Rheingau“ mussten zum Teil von der regionalen Betrachtung ausgegrenzt werden, da nicht alle befragten Experten Ränge vergeben haben und die Stichprobenanzahl für diese Form der Auswertung zu gering war.

Tabelle 17 Expertenbewertungen zur Relevanz von Extremwetterlagen im Weinbau, auf Basis von Befragungen* unter Beratern und Praktiker in den Anbaugebieten „Pfalz“ (n=6), „Rheinhessen“ (n=7) und „Franken“ (n=6) berechnete Ränge, mittlere Rangnoten (RN) ± Standardabweichung (SD)

Rang	Pfalz		Rheinhessen*		Franken*		gesamt	
	Rang	RN	Rang	RN	Rang	RN	Rang	RN
Trockenheit	4	4,0 ± 1,8	6	3,8 ± 2,7	1	2,0 ± 1,3	3	3,2 ± 2,1
Hitze	5	4,5 ± 1,7	8	5,8 ± 2,1	4	4,2 ± 2,4	6	4,7 ± 2,0
Staunässe/ Dauerregen	8	5,8 ± 3,5	7	4,3 ± 2,2	2	2,8 ± 2,2	5	4,4 ± 2,8
Starkregen	6	5,0 ± 2,6	5	3,6 ± 2,4	3	4,0 ± 1,7	4	4,1 ± 2,2
Hagel	1	1,4 ± 0,9	1	2,0 ± 1,3	6	5,3 ± 1,0	2	2,6 ± 1,9
Sturm	7	5,7 ± 2,3	4	3,5 ± 0,6	7	7,0 ± 1,4	7	5,4 ± 2,3
Spätfrost	2	2,2 ± 0,4	2	2,5 ± 0,8	1	2,0 ± 1,1	1	2,2 ± 0,8
Winterfrost	3	3,0 ± 1,2	3	3,3 ± 1,5	5	5,0 ± 2,0	4	4,1 ± 1,9
Frühfrost	9	7,0 ± 2,7	9	9,0**	8	8,5 ± 0,7	8	7,8 ± 2,0
Nassschnee	10	10,3 ± 1,5	10	10,0**	-	-	9	10,3 ± 1,3

* Befragungen unter Mitwirkung des Thünen-Instituts (Dr. K. Strohm und A. Bender), ** n=1, - als nicht relevant eingestuft

Gemittelt über alle befragten Experten und Weinanbauggebiete geht von Trockenheit die längste Phase starken Risikos (Anfang Juli-Mitte August) aus (Abb. 14). Das von Spätfrost ausgehende Risiko bewerteten die Befragten von Ende April bis Mitte Mai als stark. Besonders hohe Gefahr und ein starkes Potential für Schäden geht im Weinbau von Hagel von Anfang bis Mitte Juli aus. Von allen anderen Extremwetterlagen geht maximal ein mittleres Risiko aus, wobei dieses bei Kahl-/Winterfrost mit einer zweimonatigen Phase zu Beginn des Jahres (Jan-Feb) am längsten anhält. Abbildung 13 verdeutlicht, dass Trockenheit den höchsten Risikowert (20,6) im Weinbau besitzt. Gefolgt von Hagel mit 19,5 und Dauerregen/Staunässe mit 17,1. Des Weiteren fällt auf, dass der für Hitze definierte Schwellenwert im Weinbau ($\geq 35\text{ °C}$, siehe Tab. 21) im März in unseren Breiten selten bis nie überschritten werden dürfte und trotzdem für den gesamten März ein – wenn auch geringes - Risiko angegeben wurde. Hier wird ersichtlich, dass die Trennung von generellen klimatischen Veränderungen und Extremwetterlagen zum Teil schwierig ist und die Definition von Extremwetterlagen auch stark vom betrachteten Zeitraum abhängt. Postalische Befragungen, wie sie in diesem Falle durchgeführt wurde, sind nur begrenzt in der Lage, solche unterschiedlichen Interpretationen auszuschließen. So basiert diese Bewertung höchstwahrscheinlich auf der subjektiven Bewertung außergewöhnlich hoher Temperaturen im Frühjahr als Hitze. Des Weiteren ist zu erwähnen, dass die Stichprobengröße mit $n \geq 6$ pro Anbaugbiet an der Grenze zur regionalisierten Betrachtung liegt. Einzelne „extreme“ Bewertungen können sich – zwar in stark abgeschwächter Form - erkennbar auf das Gesamtergebnis niederschlagen. Im Großen und Ganzen konnten die Einzelbewertungen pro Extremwetterlage aber als recht homogen und somit repräsentativ eingestuft werden.

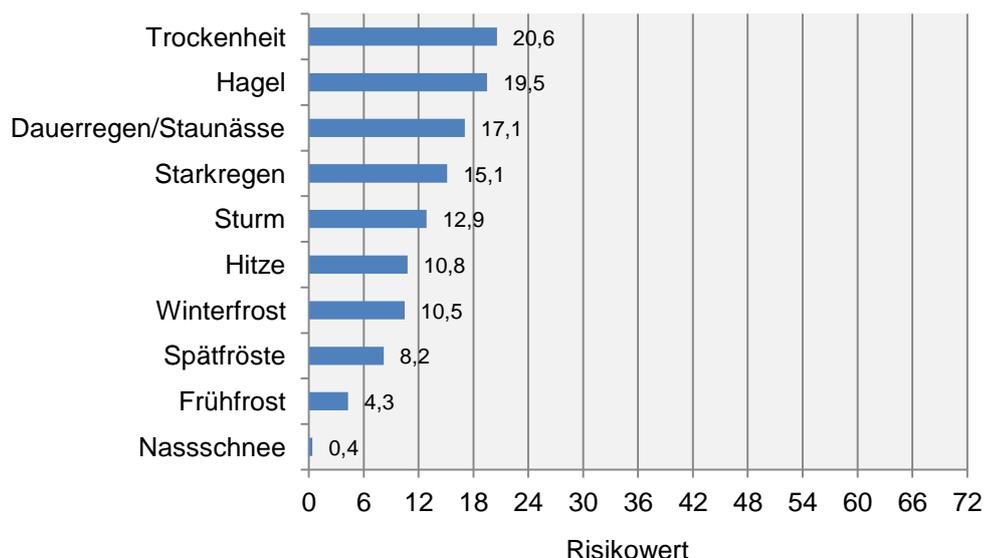


Abbildung 13 Aus Expertenbewertungen berechnete extremwetterlagenspezifische Risikowerte für den Weinbau, gemittelt über alle Anbauggebiete (Pfalz, Rheinhessen, Franken, Nahe und Rheingau, $n=24$), wobei die Werte zwischen „0“ (ganzjährig kein Risiko) und „72“ (ganzjährig starkes Risiko) liegen können

3.1.2.3 Hopfen

Eine Besonderheit der Dauerkultur „Hopfen“ ist, dass sie in jedem Jahr komplett neu aus dem Wurzelstock austreiben und erwachsen muss. So erreicht sie, wie Abbildung 8 verdeutlicht, im Vergleich zu Apfel und Wein die Phase der Blattbildung und der Blüte erst etwa einen bis anderthalb Monate später und kommt damit eher in den durch „Frühsommertrockenheit“ gefährdeten Zeitraum, entgeht aber während der Blüte der Spätfrostgefahr.

Tabelle 18 Expertenbewertungen zur Relevanz von Extremwetterlagen im Hopfenbau, auf Basis von Befragungen* unter Beratern und Praktiker im Anbaugebiet „Hallertau“ (n=34) berechnete Ränge, mittlere Rangnoten (RN) ± Standardabweichung (SD)

Rang	Hallertau	
	Extremwetterlage	RN
1	Extreme Dürre	1,8 ± 1,1
2	Hagel	2,3 ± 1,5
3	Trockenheit	2,9 ± 1,3
4	Hitze	3,7 ± 1,3
5	Sturm	4,1 ± 2,1
6	Staunässe/Überschwemmung	5,9 ± 2,2
7	Starkregen	6,4 ± 1,8
8	Dauerregen	6,7 ± 2,1
9	Spätfrost	8,2 ± 1,7
10	Frühfrost	10,7 ± 0,9
11	Kahl-/Winterfrost	10,8 ± 1,1
12	Nassschnee	11,6 ± 0,6

* In Kooperation mit der Landesanstalt für Landwirtschaft Bayern in Hüll (Hallertau)

Exemplarisch für den Hopfenanbau wurden Befragungen zur Relevanz von Extremwetterlagen im größten Anbaugebiet „Hallertau“ durchgeführt. Die n=34 befragten Berater und Praktiker erstellten dabei die in Tabelle 18 dargestellte Rangfolge. Auch Sie bewerteten, wie oft eine Extremwetterlage vorkommt und welche Gefahr von ihr für den Hopfen ausgeht. So ergab sich, dass in der „Hallertau“ Schäden durch zu Extreme Dürre (Rangnote 1,8), Hagel (Rangnote 2,3), Trockenheit (Rangnote 2,9) und Hitze (Rangnote 3,7) am meisten gefürchtet werden. Zu hohe Niederschlagsmengen und Frostschäden werden als weniger relevant eingeschätzt. Diese Angaben decken sich grob mit den Umfrageergebnissen im Apfelanbau im ebenfalls süddeutschen Anbaugebiet „Bodensee“. Auch hier wurden Trockenheit und Hitze - im Vergleich zum Anbau in Norddeutschland – als sehr bedeutend und zu hohe Niederschlagsmengen als weniger relevant eingeschätzt. Von allen Extremwetterlagen bis einschließlich Rang 7 (Dauerregen) geht eine mindestens 1-monatige Phase mit starkem Risiko aus. Für Hagel wird diese Phase mit insgesamt 4

Monaten (Mitte Mai bis Mitte Oktober) als am längsten angegeben, wobei auch von Überschwemmung/Staunässe ein immerhin 3,5-monatiges starkes Schadpotential ausgeht. Da es aber im Hopfenbau derzeit seltener zu dieser Extremsituation kommt, vergaben die Experten an „Überschwemmung/Staunässe“ nur Rang 6. Abbildung 15 stellt das von den Extremwetterlagen ausgehende Risiko (Risikowerte) unter Ausklammerung der Häufigkeit ihres Auftretens dar. Bewertet man das Schadpotential auf diese Weise, gewinnen Überschwemmung/Staunässe (35,6) sowie „Dauer- (24,7) und Starkregen“ (24,8) deutlich an Bedeutung. Hagel bleibt weiterhin auf Rang 2.

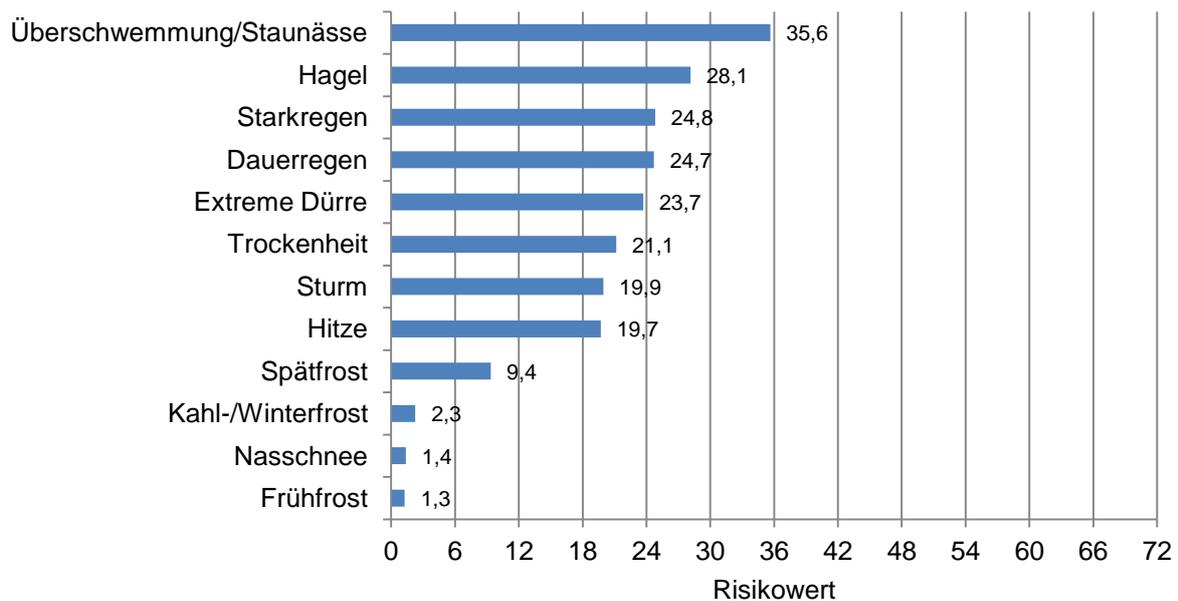


Abbildung 15 Aus Expertenbewertungen berechnete extremwetterlagenspezifische Risikowerte für den Hopfenbau im Anbaugebiet „Hallertau“, wobei die Werte zwischen „0“ (ganzjährig kein Risiko) und „72“ (ganzjährig starkes Risiko) liegen können

3.1.2.4 Gemüse

Die Expertenbefragungen im Gemüsebau fanden deutschlandweit und größtenteils postalisch statt. Aufgrund des Stichprobenumfangs von n=11-13 je Kultur und zum Zweck der Vermeidung von Fehlinterpretationen wurden die Ergebnisse nicht regionalisiert (z.B. auf Bundeslandebene) dargestellt, sondern als Gesamtüberblick für den Anbau in Deutschland. Aus den Befragungsrückläufen ergaben sich die Tabelle 19 dargestellten Rangfolgen in Hinblick auf die Relevanz der Extremwetterlagen in den Kulturen Spargel, Speisezwiebel, Möhre und Kohl. Dabei bewerteten die Experten, wie bei allen anderen Kulturen, das Schadpotential und die Häufigkeit der jeweiligen Extremwetterlage. Für die Berechnung der Rangnoten wurde festgelegt, dass mindestens drei der befragten Experten eine Bewertung abgegeben haben müssen. Zum Teil wurde das Risiko im Jahresverlauf zwar bewertet, aber kein Rang vergeben. Hier flossen die Ergebnisse in die Übersichten zum Risiko ein, es konnten aber keine Ränge berechnet werden.

Die Auswertungen ergaben, dass Trockenheit im Speisezwiebel-, Möhren- sowie Weiß- und Rotkohlanbau als relevanteste Extremwetterlage einzuschätzen ist. Für den verhältnismäßig trockentoleranten Spargel vergaben die Experten Rang 3 an Trockenheit und Rang 1 an Staunässe. Hier zeigen sich deutliche kulturspezifische Unterschiede. Hagel wurden in Spargel, Speisezwiebel sowie Weiß- und Rotkohl als zweitrelevanteste Extremwetterlage angegeben. Im Möhrenanbau nimmt hingegen Starkregen Rang 2 ein. Rang 3 wird im Speisezwiebelanbau durch Starkregen besetzt, bei Möhren und Kohl hingegen von Staunässe. Auf die Top 3 folgen je nach Kultur Hitze (Möhre, Weiß- und Rotkohl), Starkregen (Spargel) und Staunässe (Speisezwiebel).

Tabelle 19 Expertenbewertungen zur Relevanz von Extremwetterlagen im Gemüsebau, auf Basis von bundesweiten Befragungen* unter Beratern und Praktiker zu Spargel (n=12), Speisezwiebel (n=13), Möhre (n=11) sowie Weiß- und Rotkohl (n=11) berechnete Ränge, mittlere Rangnoten (RN) ± Standardabweichung (SD)

	Spargel		Speisezwiebel		Möhre		Weiß- und Rotkohl	
	Rang*	RN	Rang*	RN	Rang*	RN	Rang*	RN
Hagel	2	2,1 ± 1,2	2	2,5 ± 1,5	5	3,3 ± 1,5	2	2,1 ± 1,5
Trockenheit	3	2,5 ± 1,5	1	2,4 ± 1,5	1	2,0 ± 1,2	1	2,0 ± 1,0
Hitze	5	4,3 ± 1,8	5	3,4 ± 1,6	4	3,0 ± 1,4	4	3,0 ± 1,1
Sturm	6	4,7 ± 1,5	6	5,4 ± 1,5	-	-	-	-
Staunässe (Dauerregen)	1	2,0 ± 1,1	4	3,0 ± 1,8	3	2,5 ± 1,7	3	2,9 ± 1,7
Starkregen	4	3,7 ± 2,4	3	2,9 ± 1,1	2	2,4 ± 0,9	5	3,4 ± 1,3
Spätfrost	7	6,2 ± 2,7	7	6,5 ± 1,3	-	-	7	4,3 ± 1,5
Frühfrost	9	7,0 ± 2,6	-	-	-	-	7	4,3 ± 2,1
Kahl-/Winterfrost	-	-	8	7,7 ± 1,5	-	-	-	-
Nassschnee	8	7,3 ± 1,2	-	-	-	-	-	-

*Ränge nur dann berechnet, wenn mindestens drei (n≥3) der Befragten diese Extremwetterlage als relevant eingeschätzt und einen Rang vergeben haben

Im Durchschnitt bewerten die Experten im Spargelanbau das Risikopotential nur bei Hagel für einen kurzen Zeitraum (Mitte Juni bis Mitte August) als stark (Abb. 18). Ein ganzjähriges Risiko geht von Staunässe und Starkregen aus. Die Berechnung der Risikowerte (Dauer und Stärke des Schadpotentials) bestätigte die Relevanz dieser Extremwetterlagen für den Spargelanbau (Abb. 17).

Die Auswertung aller Expertenbewertungen ergab im Speisezwiebelanbau ebenfalls nur für Hagel (Anfang Juli bis Mitte August) ein starkes Risiko (Abb. 19). Von Staunässe geht gesamt gesehen das höchste Schadpotential aus (Risikowert 33,3). Alle anderen Extremwetterlagen zeigen auffallend ähnliche Risikowerte zwischen circa 20 und 26 auf und unterschieden sich damit nur wenig (Abb. 17).

Im Möhrenanbau bewerteten die Experten die Risiken etwas anders. Hier geht von Hitze, Winterfrost und Frühfrost ein starkes Schadrisko aus (Abb. 20). Auch im Möhrenanbau zeigte sich bei der Berechnung der Risikowerte, dass das Schadpotential der als relevant eingestuften Extremwetterlagen ähnlich „hoch“ ist (Abb. 17). Für Sturm ergab die Berechnung den höchsten Risikowert von 27,3 (Abb. 17).

Für den Anbau von Weiß- und Rotkohl bewerteten die Experten durchschnittlich keine der abgefragten Extremwetterlagen mit einem starken Risiko (Abb. 21). Auch die Risikowerte liegen deutlich unter denen, der anderen Gemüsekulturen. Trockenheit besitzt mit nur 17,4 den höchsten Risikowert (Abb. 17).

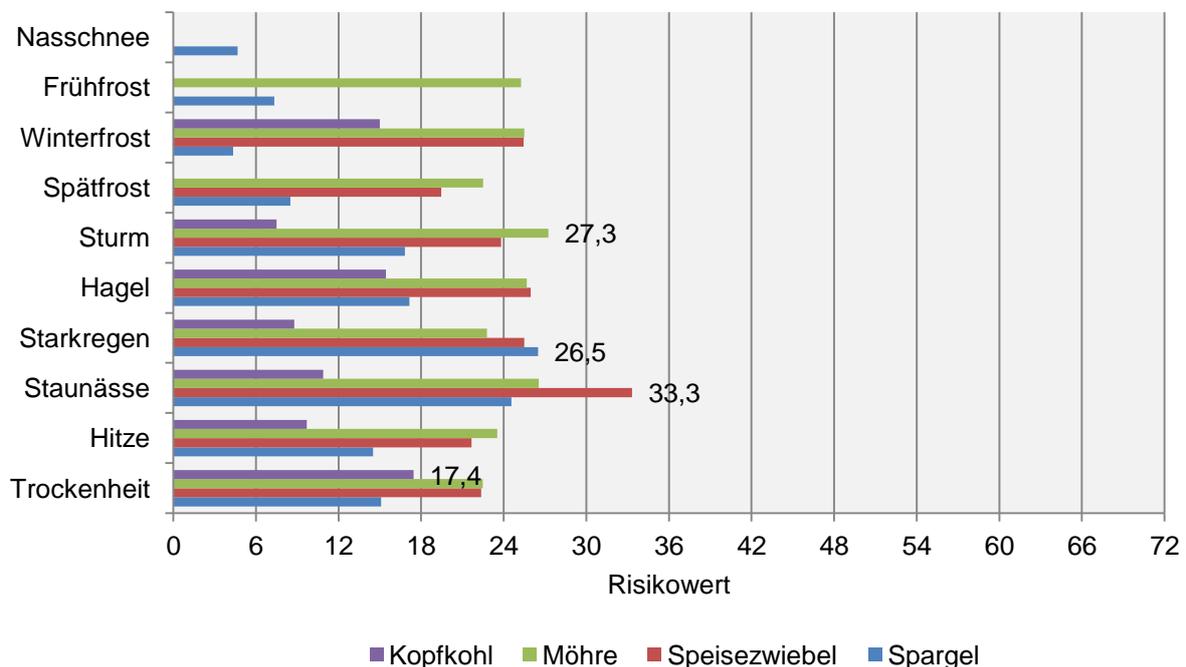


Abbildung 17 Aus Expertenbewertungen berechnete extremwetterlagenspezifische Risikowerte für den Gemüseanbau, wobei die Werte zwischen „0“ (ganzjährig kein Risiko) und „72“ (ganzjährig starkes Risiko) liegen können

Rang	Extremwetterlage	Januar			Februar			März			April			Mai			Juni			Juli			August			September			Oktober			November			Dezember		
		Anfang	Mitte	Ende	Anfang	Mitte	Ende	Anfang	Mitte	Ende	Anfang	Mitte	Ende	Anfang	Mitte	Ende	Anfang	Mitte	Ende	Anfang	Mitte	Ende	Anfang	Mitte	Ende	Anfang	Mitte	Ende	Anfang	Mitte	Ende	Anfang	Mitte	Ende			
1	Trockenheit																																				
2	Starkregen																																				
3	Staubnässe (Dauerregen)																																				
4	Hitze																																				
5	Hagel																																				
-	Spätfrost																																				
-	Sturm																																				
-	Winterfrost																																				
-	Frühfrost																																				
Kultur- arbeiten*	Saatbettbereitung																																				
	Aussaat																																				
	Pflanzenschutz																																				
	Ernte																																				
	Überwinterung (im Boden)																																				

Abbildung 20 Experteneinschätzung zum Risiko für Schädigungen durch Extremwetterlagen im Möhrenanbau, gemittelt über alle Bewertungen (n=11)

* basierend auf Experteneinschätzung DLR Rheinpfalz

Risikoklassen			
gering	schwach	mittel	stark

3.1.3 Schwellenwerte und Schwellenwertabfragen

3.1.3.1 Apfel

Das Überschreiten der Grenzwerte (Lufttemperatur) für Spätfrost wurde für den Zeitraum März bis Juni abgefragt (Tab. 20). Für alle Grenzwerte ergab sich im Mittel über Deutschland innerhalb der letzten 50 Jahre eine mehr oder weniger große Abnahme der Anzahl Tage, an denen diese überschritten wurden. Auch für die Zukunft ergab sich für alle Werte eine Abnahme der Anzahl Spätfrosttage über den Gesamtzeitraum (Mrz-Jun) bis 2098 (Abb. 22 a bis c). Im Mittel kommt es laut aktueller Prognosen so mindestens zu einer Halbierung der Anzahl Spätfrosttage bis 2098. Besonders deutlich zeigt sich die abnehmende Tendenz in den Monaten März und April. Die beiden Apfelanbaugebiete unterscheiden sich in der Ausprägung dieser Abnahme nur marginal (Abb. 22 a-c). Diese Ergebnisse müssen aber unter Beachtung des erheblich verfrühten Vegetationsbeginns vorsichtig betrachtet werden. Das frühere Erreichen der empfindlichen Entwicklungsstadien (Abb. 4) könnte den Trend zur Abnahme der Spätfrostgefahr deutlich senken.

Eine genauere Quantifizierung dieser Interaktionen, die nur auf Basis geeigneter Daten beruhen kann, ist dringend notwendig, da Spätfrost derzeit zu den Extremen mit dem größten Schadpotential im Apfelanbau zählt.

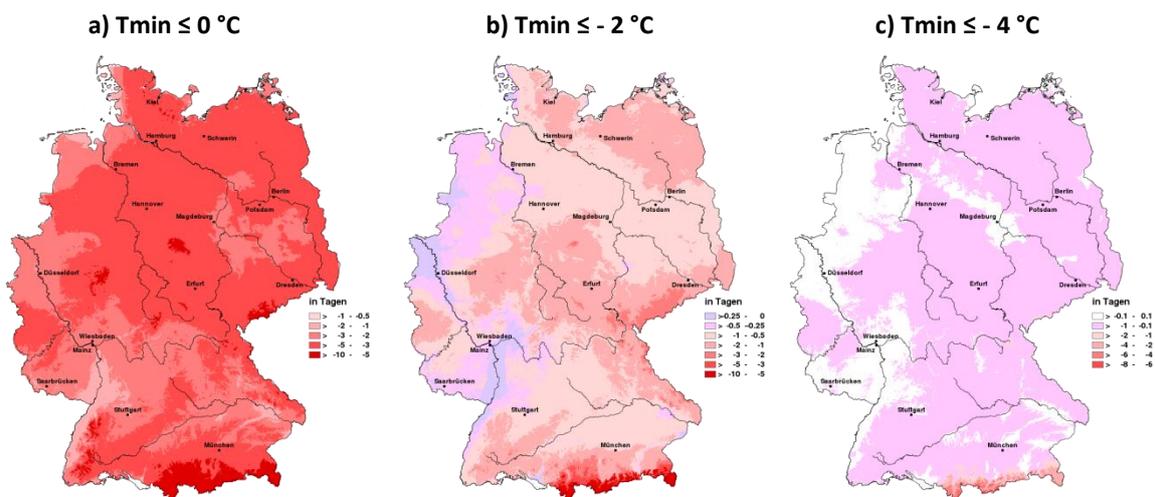


Abbildung 22 Veränderungstendenz (2071-98 ggü. 1962-90) der Anzahl Tage mit $T_{min} \leq 0$ °C (a), -2 °C (b) und -4 °C (c) im Monat April (jeweils 50. Perzentil der Klimamodellprojektionen) (Quelle: DWD)

In Hinblick auf Winter-/Kahlfrost ergaben die Schwellenwertabfragen für den Zeitraum November bis März sowohl für die Vergangenheit als auch für die Zukunft abnehmende Tendenzen, die kaum von der Region beeinflusst werden und in den Monaten Januar und Februar am deutlichsten sind (Tab. 20).

Die Anzahl Tage mit Frühfrösten ≤ -4 °C wird in Zukunft um etwa zwei Drittel abnehmen (Sep-Nov). Die auch in der Vergangenheit schon sehr geringe Anzahl an Tagen mit Frühfrösten ≤ -10 °C bleibt konstant niedrig mit ungefähr 0,16 d im November.

Die Abfragen für Regenereignisse mit ≥ 10 mm Tagesniederschlagssumme im Zeitraum März bis Oktober ergaben für die letzten 50 Jahre monatsabhängig mal einen Anstieg (z.B. Mrz, Jul, Aug und Sep), mal eine Abnahme (Apr & Jun). Für die Zukunft (bis 2098) nimmt die Anzahl der Tage, an denen dieser Schwellenwert überschritten wird, mit Ausnahme des

Monats April (bis zu + 50%) ab, wobei diese Tendenz vor allem im Juni und Juli für Süddeutschland deutlich stärker zu erkennen ist (Tab. 20). Im April können sich zu hohe Niederschlagsmengen direkt oder indirekt (Bestäuber) negativ auf die Befruchtungsrate auswirken. Die Verfrühung beim Erreichen der Entwicklungsstadien (Abb. 4) könnte diese Gefahr zusätzlich erhöhen. Die Anzahl der Regentage (Starkregen) mit ≥ 40 mm Tagesniederschlagssumme (Stundenwerte nicht verfügbar) wird sich bis 2098 über alle Monate (Jan – Dez) erhöhen und am stärksten von Juni bis November ansteigen (mit bis zu etwa + 50% im Juni), was vor allem in Hinblick auf die Infektion mit feuchtigkeitsliebenden Schaderregern (z.B. Schorf) fördernd und hinsichtlich der Durchführbarkeit von Pflanzenschutzmaßnahmen bzw. der Wirksamkeit der Pflanzenschutzmitteln hemmend auswirken kann. Regionale Unterschiede sind hier kaum zu erkennen.

Zu geringe Niederschlagsmengen von ≤ 15 mm innerhalb eines Monats in der Zeit von März bis Oktober sind in den letzten 50 Jahren vor allem für den ostdeutschen Raum relevant gewesen und werden laut ausgewerteter Klimaprognosen für diesen Zeitraum (Mrz-Okt) kaum an Bedeutung gewinnen (Tab. 20). Monate mit Niederschlagsmengen ≤ 30 mm sind in den letzten 50 Jahren von deutlich höherer Relevanz gewesen. Im abgefragten Zeitraum zeigten sich März, April und Oktober als trockenste Monate. Im Durchschnitt für Deutschland fallen in diesen Monaten in fast jedem vierten Jahr geringere Niederschlagsmengen. Mit einer Zunahme des Risikos von Monatsniederschlagssummen ≤ 30 mm ist laut Abfragen in den meisten Monaten nicht zu rechnen. Nur im März und Oktober kann die Wahrscheinlichkeit etwas - das heißt auf etwa jedes dritte Jahr - zunehmen.

Nachttemperaturen ≥ 17 °C und Hitzetage mit Tagesmaximumtemperaturen ≥ 30 °C bis zu ≥ 40 °C im Zeitraum Mai bis September werden in Zukunft deutlich häufiger vorkommen (Tab. 20). Im August beispielsweise gibt es in Deutschland derzeit durchschnittlich 2,5 d mit $T_{min} \geq 17$ °C. Bis 2098 kann dies auf bis zu über 8 d ansteigen. Die Anzahl von Tagen mit Hitzestress und Temperaturen ≥ 30 °C bis zu ≥ 40 °C steigt ebenfalls im August am stärksten. Das Anbaugebiet „Bodensee“ ist davon stärker betroffen, hier kann sich im August die Anzahl Tage mit $T_{max} \geq 30$ °C um bis 6 - 8 d bzw. mit $T_{max} \geq 40$ °C um bis zu 1 d bis 2098 erhöhen. Hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung deutlich zu hoher Tagesmaximumtemperaturen während der Blüte (Ende April bis Ende Mai) projizieren die Klimamodelle für den Zeitraum bis Mitte Mai kein höheres Risiko. Für die zweite Maihälfte (Dekade 14) jedoch einen Anstieg um bis zu 0,5 d bis 2098.

Für maximale Windstärken pro d sind derzeit keine Modelle vorhanden, deshalb wurde für Sturm die Wahrscheinlichkeit einer mittleren Windstärke pro d ≥ 10 m/s (ca. 6-7 Bft) abgefragt. Bei diesem Wert ist davon auszugehen, dass einzelne Böen deutlich über diesem Wert liegen und entsprechende Sturmschäden verursachen können. Derzeit weisen die Monate Februar mit durchschnittlich etwa 0,55 d, März mit durchschnittlich etwa 0,5 d und November mit durchschnittlich gut 0,4 d im für den Apfelanbau als relevant angegebenen Zeitraum die meisten Tage mit mittleren Windgeschwindigkeiten ≥ 10 m/s auf. Die Abfragen zur zukünftigen Relevanz ergaben für die Sommermonate Juni bis August - in denen die Früchte an den Bäumen die Gefahr von Windbruchschäden erhöhen - keine erhebliche Veränderungen. Allerdings wird eine deutliche Zunahme der Anzahl Tage, an denen dieser kritische Wert überschritten wird, im November (bis zu + 75%) prognostiziert (Tab. 20). Im

März und April kann es laut Klimamodellaussagen ebenfalls zu einem, allerdings deutlich moderaterem Anstieg des Risikos kommen.

Tabelle 20 Auf Basis von Literaturrecherchen und Expertenbefragungen definierte Schwellenwerte, die entsprechende Indikatoreinheit, die sensitiven Zeiträume, der Trend Vergangenheit (1962-2010, Quelle: DWD) und der Trend Zukunft (Veränderungstendenz 2071-98 ggü. 1962-90 laut Abfragen Klimamodellprojektionen, Quelle: DWD) im Apfelanbau (rosa hinterlegt: Top 3 der relevantesten Extremwetterlagen)

Extremwetterlage	Schwellenwerte	Indikatoreinheit	Zeitraum	Trend Vergangenheit	Trend Zukunft
Dauerregen	≥ 10 mm Niederschlag/d	mm pro d; mm über ≥ 7 d	Mrz-Okt	↘ (Mrz-Jun) ↗ (Jul-Okt)	↗ (Mrz-Apr) ↘ (Mai-Okt)
Extreme Dürre	Saugspannung ≥ 600 mm (3-8 w)	mm pro 3 w	Mrz-Okt	Keine Prognosemodelle vorhanden	
Frühfrost	Tmin ≤ - 4 bis - 10 °C	° C (Tmin) pro d	Sep -Nov	- 4 °C: → - 10 °C: ↘	↘
Hagel	ja/nein	Größe der Körner u. Dauer	Jan-Dez	Keine Prognosemodelle vorhanden	
Hitze	Tmax ≥ 30 - 40 °C	° C (Tmax) pro d	Apr-Sep	30 °C: ↗ 40 °C: →	↑
Nassschnee	7 - 20 cm Schneedecke	Höhe (cm) & Dauer	Okt-Mai	-	-
Spätfrost	Grüne Spitzen: Tmin ≤ - 7 °C* Rote Knospe: Tmin ≤ - 2°C* Vollblüte: Tmin ≤ 0 °C*	° C (Tmin) pro d	Mrz-Jun	↘	↘
Starkregen	≥ 10 - 40 mm Niederschlag/h (d)	mm pro h (d)	Mrz-Okt	↗	↗
Sturm	≥ (4 -) 8 Bft**	mittlere Windstärke (u) pro d**	Feb-Nov	u ≥ 10 m/s: ↘ (Apr, Jul-Sep, Nov) → (Feb, Mrz) ↗ (Jun; Okt)	u ≥ 10 m/s: → (Feb, Jun-Aug, Okt) ↗ (Mrz-Mai, Sep, Nov)
Trockenheit	≤ 15 - 30 mm Niederschlag/Monat (≥ 2,5 - 5 w)	mm pro M	Mrz-Okt	→	→
Staunässe	nFK ≥ 90 - 100%	nFK (%) über ≥ 3 d	Jan- Dez	Keine Prognosemodelle vorhanden	
Kahl-/Winterfrost	Tmin ≤ - 18 bis - 20 °C	° C (Tmin) pro d	Nov-Mrz	↘	↘
Zu hohe Temperaturen während der Blüte	Tmax ≥ 22 °C	° C (Tmax) pro d	Apr-Mai	↗	→ ↗ (Ende Mai)
Zu hohe Abendtemperaturen	Tmin ≥ 17 °C (ab 20 Uhr)	° C (Tmin) pro d	Mai-Sept	↗	↗
Schnelle Temperaturwechsel	+/- 15 °C	max. Temperaturdifferenz (° C) pro d	Mrz-Mai; Sep-Nov	Keine Prognosemodelle vorhanden	

* Lufttemperatur, ** in Modellen nur Prognosewerte für mittlere Windstärke pro Tag (u) vorhanden

3.1.3.2 Wein

Auch für den Weinbau ergaben die Klimamodellabfragen der Schwellenwerte für ertragswirksame Schäden durch Spätfrost für die Zukunft (bis 2098) ein abnehmende Anzahl Tage, an denen die Grenzwerte überschritten werden (Tab. 21). Im Mittel Deutschlands wird im April derzeit an durchschnittlich 0,85 d eine Minimumtemperatur von $\leq -3\text{ °C}$ erreicht oder unterschritten. Bis 2098 wird dieser Wert im April an nur noch durchschnittlich 0,2 d erreicht. Abbildung 23 b zeigt, dass die Mehrzahl der Klimamodelle hinsichtlich der absoluten Abnahme der Spätfrosttage im April keine Unterschiede zwischen den Anbaugebieten ausweisen. Allerdings war auch im Weinbau – wie in Abbildung 7 ersichtlich – in den letzten Jahren eine deutliche Verfrühung beim Erreichen der Entwicklungsstadien messbar. Die Bewertung des zukünftigen Spätfrosttrisikos ausschließlich basierend auf den Modellabfragen könnte deshalb zu Fehlschlüssen führen. Inwiefern sich das frühere Erreichen der besonders empfindlichen Entwicklungsstadien auf die Spätfrostgefährdung auswirken wird, ist derzeit schwer zu beurteilen. Sehr wahrscheinlich ist, dass die Spätfrostgefährdung dadurch weniger stark sinken wird, als es die Klimaprognosedaten zunächst vermuten lassen. Auch Stock et al. (2007) geben an, dass der kompensatorische Effekt der mit einer Erwärmung einhergehenden Austriebsverfrühung die Interpretationsfähigkeit der Modellaussagen zu einer abnehmenden Relevanz von Spätfrostern deutlich einschränken. Eine genauere Quantifizierung dieser Interaktionen ist wie im Apfelanbau dringend notwendig, um das zukünftige Schadpotential verlässlich abschätzen zu können.

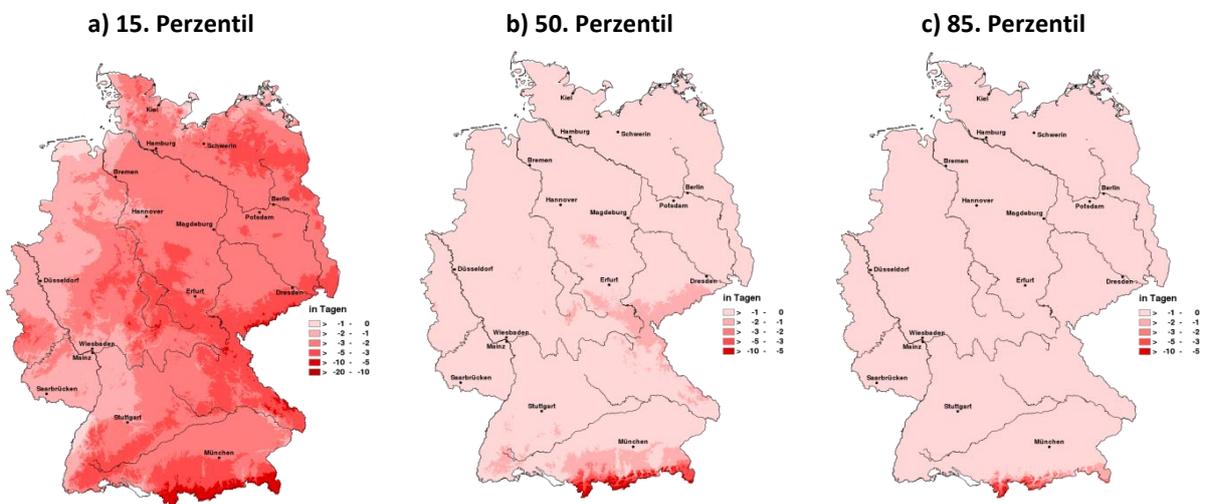


Abbildung 23 Veränderungstendenz (2071-98 ggü. 1962-90) der Anzahl Tage mit $T_{min} \geq -3\text{ °C}$ im Monat April, 15. (a), 50. (b) und 85. Perzentil (c) der Modellaussagen (Quelle: DWD)

Für die Anzahl Tage mit Winterfrösten $\leq -15\text{ °C}$ bis $\leq -20\text{ °C}$ im Zeitraum Dezember bis März konnte bereits in den letzten 50 Jahren eine abnehmende Tendenz gemessen werden, welche sich laut Abfragen auch in Zukunft fortsetzen wird (Tab. 21). Im Monat mit der höchsten Wahrscheinlichkeit des Auftretens schädigender Winterfröste, dem Monat Januar, wird die Anzahl Tage von derzeit circa 0,75 d mit $T_{min} \leq -15$ und 0,18 d mit $T_{min} \leq -20\text{ °C}$ (Mittelwert Deutschland) auf 0,5 d bzw. 0,12 d sinken.

Die Anzahl von Hitzetagen mit $T_{max} \geq 35 \text{ °C}$ im Zeitraum Mai bis September hat sich bereits innerhalb der letzten 50 Jahre leicht erhöht. Bis 2098 kann die Anzahl solcher Hitzetage um das 10-Fache ansteigen (Tab. 21). Für den Monat August – während der Reifephase - geben die Abfragen einen Anstieg von derzeit durchschnittlich 0,2 Hitzetagen auf über 2 Hitzetage an. Wie Abbildung 24 verdeutlicht, ist der südliche und vor allem südwestdeutsche Teil Deutschlands davon am stärksten betroffen. Hitzeschäden, wie verbrühungsähnliche Schäden und qualitative Einbußen an den Beeren sowie eine höhere Anfälligkeit gegenüber Schaderregern, könnten dadurch in ihrer Häufigkeit steigen (Tab. 21).

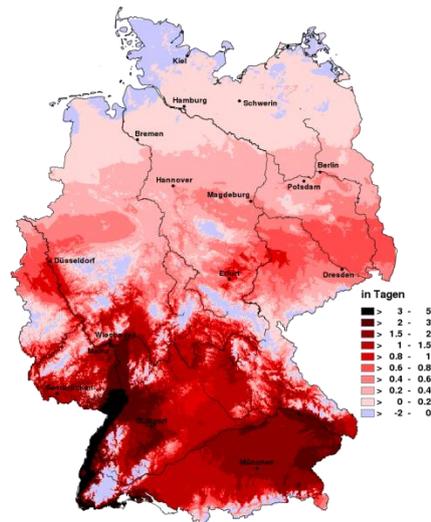


Abbildung 24 Veränderungstendenz (2071-98 ggü. 1962-90) der Anzahl Tage mit $T_{max} \geq 35 \text{ °C}$ im Monat August, 50. Perzentil der Modellaussagen (Quelle: DWD)

Bis auf den Monat April, für den ein leichter Anstieg in der Anzahl Tage mit durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten von $\geq 10 \text{ m/s}$ prognostiziert wird (2098 ca. 0,25 d), wird sich das Risiko für Sturmschäden in der sensitiven Phase im Wein (Apr-Okt) eher wenig verändern (Tab. 21).

Die Anzahl Regenereignisse mit Niederschlagssummen $\geq 10 \text{ mm}$ innerhalb von 2 Tagen ist in den vergangenen Jahren im Gesamtzeitraum (Apr-Okt) im Juni und Juli am höchsten gewesen und liegt im Durchschnitt bei 0,2 bis 0,25 Mal pro Monat. Besonders für die Monate April und Mai sowie September und Oktober gehen die Modelle von einem zunehmenden Risiko solcher Ereignisse aus, die sich bis 2098 verdreifachen können. Sowohl während der Blüte als auch zur Erntezeit sind Starkregenereignisse als negativ zu bewerten. Der verfrühte Vegetationsbeginn könnte diesen Effekt zusätzlich verstärken.

Der ertragsrelevante Schwellenwert für Dauerregen von $\geq 60 \text{ mm}$ Niederschlag pro Monat wurde in den letzten 50 Jahren – je nach Region - im Durchschnitt in 0,07 Monaten (0,07 Mal) im Zeitraum März bis Oktober erreicht, wobei keine großen Veränderungen innerhalb dieser Periode zu verzeichnen waren. Der größte Anteil der in Hinblick auf die zukünftige Relevanz (bis 2098) befragten Klimaprognosemodelle gibt ein Stagnieren bzw. sogar eine leichte Abnahme des Risikos für solche Dauerregenmonate im Zeitraum März bis Oktober an (Tab. 21).

In Hinblick auf das Erreichen des kritischen Wertes von $\leq 40 \text{ mm}$ Niederschlag pro Monat (Trockenheit) konnte für den Zeitraum Mai bis September in den letzten 50 Jahren kein

eindeutiger Trend festgestellt werden (Tab. 21). Nur im Monat April zeigte sich innerhalb der vergangenen 50 Jahre ein ansteigender Trend auf derzeit knapp 0,5 Mal pro Monat, das heißt im Durchschnitt fielen in jedem zweiten April weniger als 40 mm Niederschlag. In Hinblick auf die zukünftige Relevanz ergaben die Abfragen für April und Mai ein innerhalb der nächsten 40 Jahre sinkendes Risiko, welche bis 2098 stagniert. Der einzige Monat mit einem sich in zukünftig verstärkendem Risiko für Trockenperioden ist der Monat Juli. Hier steigt das Risiko im Deutschlandmittel von gut 0,35 auf gut 0,45 Mal pro Monat.

Obwohl die Anzahl an Tagen mit Frühfrost ($T_{min} \leq -4^{\circ}\text{C}$; 0°C) in den Monaten September und Oktober über die letzten Jahre angestiegen ist, wird für die Zukunft (bis 2098) eine Abnahme prognostiziert (Tab. 21).

Laut Abfragen könnte sich die Anzahl der Tage mit zu hohen Herbsttemperaturen ($T_{mean} \geq 10^{\circ}\text{C}$) im November bis 2098 auf etwa 7 d pro Monat verdoppeln.

Im für den Weinbau relevanten Zeitraum April bis Oktober kann nur ein ganz leichter Anstieg des Risikos für Sturmschäden ($u \geq 10 \text{ m/s}$) im April, Mai und September verzeichnet werden. In den Monaten Juni, Juli, August und Oktober wird hingegen keine Zunahme der Windgeschwindigkeiten prognostiziert.

Sowohl im Dezember als auch im Januar wird sich die Anzahl der Tage mit $T_{min} \leq -7^{\circ}\text{C}$ bis 2098 deutlich verringern (im Deutschlandmittel von derzeit knapp 5,5 d auf knapp 2 d). Das könnte sich auf die Eisweinproduktion, für die über eine gewisse Dauer Temperaturen unterhalb dieser Grenze dringend notwendig sind, negativ auswirken.

Tabelle 21 Auf Basis von Literaturrecherchen und Expertenbefragungen definierte Schwellenwerte, die entsprechende Indikatoreinheit, die sensitiven Zeiträume, der Trend Vergangenheit (1962-2010, Quelle: DWD) und der Trend Zukunft (Veränderungstendenz 2071-98 ggü. 1962-90 laut Abfragen Klimamodellprojektionen, Quelle: DWD) im Weinbau (rosa hinterlegt: Top 3 der relevantesten Extremwetterlagen)

Extremwetterlage	Schwellenwerte	Indikatoreinheit	Zeitraum	Trend Vergangenheit	Trend Zukunft
Dauerregen	≥ 60 mm Niederschlag/Monat	mm pro M	Mrz-Okt (Jan-Dez)	→	→
Frühfrost	Tmin ≤ 0 °C bis -4 °C (ältere Blätter/unreife Trauben)	°C (Tmin) pro d	Sep-Okt	0 °C: ↗ (Okt) - 4 °C: ↗ (Okt)	↘ (Okt) ↘ (Okt)
Hagel	ja/nein	Größe Körner u. Dauer	Apr-Okt	Keine Prognosemodelle vorhanden	
Hitze	Tmax ≥ 35 °C	°C (Tmax) pro d	Mai-Sep	↗	↗
Spätfrost	Tmin ≤ 0 °C (bodennah) (≥ 1 h) Tmin ≤ 2 °C (2m-Werte) Tmin ≤ - 3 °C (Totalschäden mgl.)	°C (Tmin) pro d	Apr-Jun	0 °C: ↘** 2 °C: ↘ - 3°C: ↗(Apr)	0 °C: ↘** 2 °C: ↘ - 3 °C: ↘
Starkregen	≥ 10 mm Niederschlag/2 d	mm über 2 d	Apr-Okt	↘ (Apr, Mai) ↗ (Jun-Okt)	↗ (Apr, Mai, Sep, Okt) ↘ (Jun-Aug)
Sturm	≥ 8 - 10 Bft*	mittl. Windstärke pro d*	Apr-Okt	u ≥ 10 m/s: ↘ (Apr, Jul-Sep) → (Feb, Mrz) ↗ (Jun, Okt)	u ≥ 10 m/s: → (Feb, Jun-Aug, Okt) ↗ (Mrz-Mai, Sep)
Trockenheit	≤ 40 mm Niederschlag/Monat	mm pro M	Apr-Sep	↗ (Apr, Jun, Aug) ↘ (Jul, Sep)	→↘ (Apr - Jun, Aug) ↗ (Jul, Sep)
Staunässe	nFK ≥ 100% (≥ 1 w)	nFK (%) über ≥ 7 d	Jan-Dez	Keine Prognosemodelle vorhanden	
Kahl-/Winterfrost	Tmin ≤ - 15 °C bis -20 °C (je nach Holzreife)	°C (Tmin) pro d	Dez-Mrz	↘	↘
Extreme Temperatursprünge	+/- 15 °C	max. Temperaturdifferenz (°C) pro d	k.A.	Keine Prognosemodelle vorhanden	
Zu hohe Herbsttemperaturen	Tmax ≥ 10 °C (November)	°C (Tmax) pro d	Sep-Nov	→↗	↗
Minimale Wintertemperaturen (Eisweinproduktion)	Tmin ≤ - 7 °C	°C (Tmax) pro d	Dez-Jan	↘	↘

* in Modellen nur Prognosewerte für mittlere Windstärke pro Tag (u) vorhanden, ** statt bodennahe Werte nur Werte in 2 m Höhe verfügbar

3.1.3.3 Hopfen

Eine Trockenperiode mit ≤ 1 mm über 11 d im Zeitraum Anfang Juni bis Ende August wird bis 2098 im Durchschnitt häufiger auftreten (Tab. 22) (von gut 0,8 x auf über 1,2 x im Gesamtzeitraum), wobei die Mitte Deutschlands, also z.B. das Hopfenanbaugebiet Elbe-Saale, davon am stärksten betroffen und die Tendenz zur Veränderung im August am größten ist. Auch für Hopfen war leider keine Abfrage in Hinblick auf die nutzbare Feldkapazität möglich, weil keine entsprechenden Modelle zur Verfügung stehen. Laut den Abfragen für die ackerbaulichen Kulturen (siehe Endbericht Verbundprojekt „Agrarrelevante Extremwetterlagen“) kann sich aber die Anzahl der Tage mit einer nutzbaren Feldkapazität ≤ 50 % pro Dekade beispielsweise auch im Raum „Hallertau“ um bis zu 4 d (letzte Julidekade) erhöhen, was auch im Hopfenbau die Ertragsbildung erheblich beeinflussen könnte. Von Juni bis August steigt die Wahrscheinlichkeit einer monatlichen Niederschlagssumme ≤ 30 mm nur im Juli im Vergleich zu den letzten 30 Jahren bis 2070 deutlich (+ 30%) an. Danach sinkt die Wahrscheinlichkeit bis 2098 wieder ab.

Eine starke Tendenz zu einem in Zukunft erhöhtem Risiko ergaben die Abfragen hinsichtlich der Überschreitung der Schwellenwerte für Hitzestress ($T_{\max} \geq 28$ °C; ≥ 30 °C) im Zeitraum Juni bis August (Tab. 22). Schon in den letzten 50 Jahren zeigte sich im Durchschnitt für Deutschland ein deutlicher Anstieg der Anzahl von Tagen, an denen diese überschritten wurden (+ 1-2 d). Für den Zeitraum Juni bis August geben die Modelle bis 2098 durchschnittlich über 20 d mit ≥ 28 °C und immerhin knapp zwei Wochen mit ≥ 30 °C an, was einer Zunahme von etwa 6 bis 7 d entspricht. Abbildung 25 verdeutlicht, dass der südliche Teil Deutschlands - in dem der überwiegende Teil der deutschen Hopfenstandorte liegt – besonders stark davon betroffen ist.

Auch das Risiko des Auftretens von Dürreperioden (Tagesniederschlag ≤ 1 mm + ≥ 30 °C) über eine Woche (Apr– Sep) kann sich stark erhöhen und im Mittel bis um das 7-Fache (von etwa 0,04 x auf etwa 0,32 x im Gesamtzeitraum) ansteigen.

Eine Zunahme der Gefahr des Auftretens schädigender Dauerregenphasen mit ≥ 100 mm innerhalb einer Woche ist im Zeitraum März bis September recht unwahrscheinlich (Tab. 22). Zumindest auf leichten Böden kann, wie im Endbericht zum Verbundprojekt „Agrarrelevante Extremwetterlagen“ für Wintergetreide zu erkennen, die Gefahr von Staunässe ($n_{FK} \geq 100\%$ über mind. 7 d) in den frühen Monaten des Jahres zunehmen. Auch im Hopfenbau könnte das zu Sauerstoffmangel, Stockausfällen und einer Verzögerung der Frühjahrsarbeiten führen.

Für Starkregen wurde die Anzahl Tage mit Tagesniederschlagssummen ≥ 25 mm für die Monate Mai bis September für die Vergangenheit und Zukunft abgefragt (Tab. 22). Diese Abfrage ergab im Deutschlandmittel für Mai und Juli bereits für die letzten 50 Jahre eine ansteigende Tendenz. Bis 2098 prognostizieren die Modelle ebenfalls überwiegend eine Zunahme der Starkregentage, wobei sich dies im Juli am stärksten zeigt (durchschnittlich + 25% auf über 0,4 Tage pro Monat). Starkregen ist in dieser Zeit besonders in Hinblick auf die Infektion mit Peronospora (Aufwirbeln der Bodensporen) als sehr ungünstig zu bewerten.

Die Abfragen der für den Hopfenbau definierten Schwellenwerte ergaben für Spät- ($T_{\min} \leq -5$ °C) und Winterfrost ($T_{\min} \leq -10$ °C, -15 °C und -20 °C) im Mittel Deutschlands abnehmende Risiken bis 2098 (Tab. 22), wobei besonders erwähnenswert ist, dass das Spätrostrisiko innerhalb der letzten 50 Jahre angestiegen ist und das Winterfrostrisiko

hingegen abgenommen hat. Eine Ausnahme zeigt sich hier nur für Winterfröste $\leq -10\text{ °C}$ im Januar. Von zuletzt durchschnittlich knapp 3 d an denen dieser Wert im Januar überschritten wurde, geben die Klimaprojektionen einen leichten Anstieg auf im Mittel etwa 3,5 d im Januar an, was allerdings den mittleren Werten von 1962 bis 1990 entspricht.

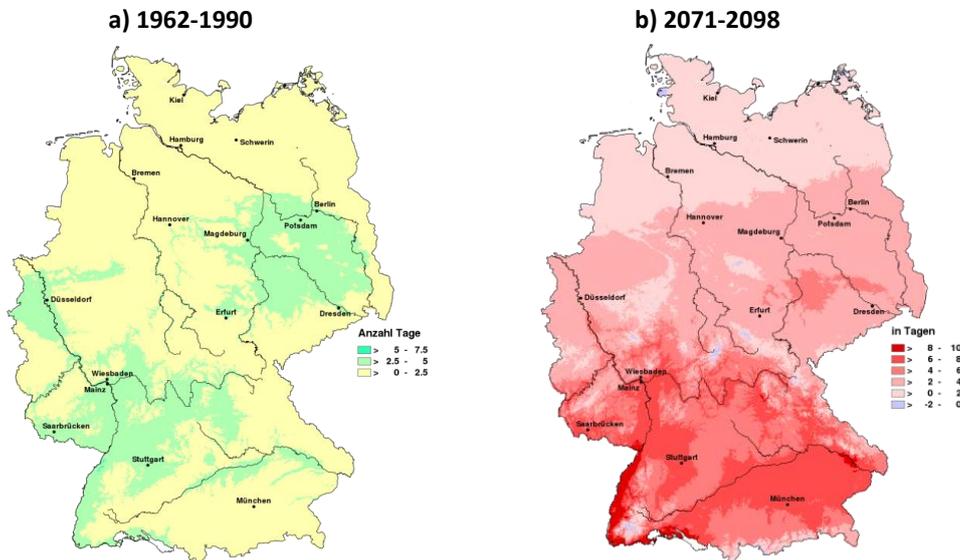


Abbildung 25 Anzahl Tage mit $T_{max} \geq 30\text{ °C}$ im Monat August in Vergangenheit (a) und Zukunft (b), Originaldaten für den Zeitraum 1962-90 (a) und 50. Perzentil der Modellaussagen zur Veränderungstendenz (2071-98 ggü. 1962-90) (b) (Quelle: DWD)

In Hinblick auf Sturm ($u \geq 10\text{ m/s}$) ergaben die Abfragen für die Hauptwachstumsphase im Sommer kein stark erhöhtes Risiko für die Zukunft (Tab. 22). Da Hopfen in der Regel im Winter keine überirdischen Vegetationsorgane besitzt, ist für die Pflanzen selbst die projizierte Zunahme der Anzahl Tage an denen kritische Werte überschritten werden (bis zu ca. 30% im November) in den Wintermonaten relativ unbedeutend. Anders hingegen ist dies in Hinblick auf mögliche Schäden an den Hochgerüstanlagen zu bewerten, die mit enormen monetären Schäden einhergehen können.

Das Auftreten unerwünschter Kältephasen in den Monaten April bis Juni wird laut Klimaprognosen bis 2098 sinken (Tab. 22). Die Gefahr von Wärmephase im April und Mai ($T_{mean} \geq 13\text{ °C}$), die das Schaderregerauftreten fördern können, kann hingegen ansteigen (von derzeit ca. 15,5 d im Mai auf bis zu 18 d bis 2098). Hiervon ist der südwestdeutsche und süddeutsche Raum wahrscheinlich stärker betroffen. Die Zunahme der Anzahl von Tagen mit Maximaltemperaturen $\geq 15\text{ °C}$ und $\geq 20\text{ °C}$ im Zeitraum März bis Mai wird sich in Norddeutschland stärker bemerkbar machen.

Tabelle 22 Auf Basis von Literaturrecherchen und Expertenbefragungen definierte Schwellenwerte, die entsprechende Indikatoreinheit, die sensitiven Zeiträume, der Trend Vergangenheit (1962-2010, Quelle: DWD) und der Trend Zukunft (Veränderungstendenz 2071-98 ggü. 1962-90 laut Abfragen Klimamodellprojektionen, Quelle: DWD) im Hopfenbau (rosa hinterlegt: Top 3 der relevantesten Extremwetterlagen)

Extremwetterlage	Schwellenwerte	Indikatoreinheit	Zeitraum	Trend Vergangenheit	Trend Zukunft
Dauerregen	≥ 100 mm Niederschlag/Woche	mm über ≥ 7 d	Mrz -Sep	→	→
Extreme Dürre	nFK ≤ 35% + Tmax ≥ 30 °C; ≤ 1mm Niederschlag (≥ 1 w - 2 w) nFK ≤ 50%	nFK (%) pro d über ≥ 7 d Tmax (°C) pro d über ≥ 7 d mm über ≥ 7 d nFK (%) pro d	Apr- Sep	→↗*	↗*
Hagel	ja/nein	Größe der Körner u. Dauer	Mai-Sep	Keine Prognosemodelle vorhanden	
Hitze	Tmax ≥ 28-30 °C (≥ 7 d)	° C (Tmax) über ≥ 7 d	Jun- Aug	↗	↗
Spätfrost	Tmin ≤ -5°C	° C (Tmin) pro d	Apr- Mai	↗	↘
Starkregen	≥ 25 mm Niederschlag/h (d)	mm pro h oder pro d	Mai -Sep	→↗	↗
Sturm	≥ 9 Bft	mittl. Windstärke (u) pro d***	Mai-Sep	u ≥ 10 m/s: ↘ (Jul-Sep) ↗ (Jun, Okt)	u ≥ 10 m/s: → (Jun-Aug, Okt) ↗ (Mai, Sep)
Trockenheit	≤ 30 mm Niederschlag/Monat < 1 mm Niederschlag/11 d	mm pro M mm über 11 d	Jun- Aug	→	↗
Staubnässe	nFK ≥ 100% (≥ 1 w)	nFK (%) über ≥ 7 d	Mrz-Sep	→↘ (Jan-Jul)** →↗ (Aug-Dez)**	↗ (Jan-Mai)**
Kahl-/Winterfrost	Tmin ≤ -20 °C, -15 °C, -10 °C	° C (Tmin) pro d	Jan-Apr	↘→	↘ → (- 10 °C Jan)
Kältephasen	Tmax ≤ 5 °C	° C (Tmax) pro d	Apr-Jun	↘	↘
Wärmephasen	Tmax ≥ 15 °C - 20 °C	° C (Tmax) pro d	Mrz-Mai (Pflanze)	↗	↗
	Tmean ≥ 13 °C (Mai)	° C (Tmean) pro d	Apr-Mai (Schaderreger)	↗	↗

* ≤ 1 mm Niederschlag und Tmax ≥ 30 °C, keine nFK für Hopfen verfügbar; ** Ergebnisse aus Abfragen für Ackerbaukulturen, da kein Modell (nFK) für Hopfen vorhanden, *** in Modellen nur Prognosewerte für mittlere Windstärke pro Tag (u) vorhanden

3.1.3.4 Gemüse

3.1.3.4.1 Spargel

Die für Spargel definierten Schwellenwerte und Ergebnisse Ihrer Abfragen in Klimadaten und -modellen sind in Tabelle 23 aufgeführt.

Die Abfrage der Schwellenwerte für Spätfrost im Spargel ($T_{\min} \leq -1 \text{ °C}$ bis -3 °C) ergab sowohl für die Vergangenheit als auch für die Zukunft einen abnehmenden Trend. Für den Zeitraum Ende Februar bis Mitte Mai werden sie bis 2098 an durchschnittlich nur noch 6 d (-1 °C) bzw. 3 d (-3 °C) erreicht. Das entspricht etwa einer Halbierung.

Die Abfragen der Grenzwerte für Schäden durch Staunässe/Dauerregen ($\geq 30 \text{ mm}$ Niederschlag pro d bzw. $\geq 150 \text{ mm}$ Niederschlag pro Monat) ergaben für die Vergangenheit keinen klaren Trend. In einigen Monaten stieg die Gefahr an, in anderen nahm sie ab oder stagnierte (Tab. 23). Im Juni ist die Wahrscheinlichkeit für Tagesniederschläge $\geq 30 \text{ mm}$ mit 0,25 d pro Monat, die Wahrscheinlichkeit einer Monatsniederschlagssumme $\geq 150 \text{ mm}$ im August (ca. 0,06) am höchsten. Für die Zukunft projizieren die Modelle in Hinblick auf den Grenzwert 30 mm/d im Deutschlandmittel eine mehr oder weniger starke Zunahme des Risikos in fast allen Monaten (außer Juli), die in einigen Monaten bis zu einem Drittel, im Monat November sogar deutlich mehr umfasst. Für die Monate Oktober bis Mai wird das Risiko für Monatsniederschläge $\geq 150 \text{ mm}$ deutlich ansteigen. Für die Monate Dezember und Januar zeigt sich dieser Trend am stärksten. Hier wird sich das Risiko mehr als verdoppeln. Als Grenzwert für Schäden durch Starkregen gaben die Experten Niederschlagsereignisse mit $\geq 20 \text{ mm pro h}$ an. Da in den Modellen keine Stundenwerte verfügbar sind, wurde dieser Wert als Tagesniederschlagssumme abgefragt. Hier zeigt sich erwartungsgemäß die gleiche Tendenz, wie bei der Abfrage des Wertes 30 mm pro d. Außer im Juli steigt die Gefahr des Überschreitens dieses Wertes innerhalb eines Tages in allen Monaten an.

Die Gefahr für Trockenstressperioden in den Monaten Juni bis September ist in den vergangenen 50 Jahren leicht zurückgegangen. Für die Zukunft (bis 2098) prognostizieren die Modelle hingegen einen leichten Anstieg der Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Trockenstress in diesem Zeitraum. Beispielsweise steigt die Gefahr, dass im Zeitraum Juni bis August weniger als 160 mm Niederschlag fallen, von derzeit etwa 0,6 auf etwa 0,75.

Wie bei allen Kulturen nahm in den vergangenen Jahren auch im Spargelanbau die Gefahr von Hitzestress zu ($T_{\max} \geq 30 \text{ °C}$). Dieser Trend wird sich noch stärker fortsetzen. Bis 2098 prognostizieren die Modelle, dass an durchschnittlich circa 16 d im Zeitraum März bis September die Tagesmaximumtemperaturen diesen Wert erreichen oder sogar übersteigen. Auch im Spargelanbau wurde für Sturm die Wahrscheinlichkeit einer mittleren Windstärke pro d $\geq 10 \text{ m/s}$ (ca. 6-7 Bft) abgefragt. Bei diesem Wert ist davon auszugehen, dass einzelne Böen deutlich über diesem Wert liegen und entsprechende Sturmschäden verursachen können.

Tabelle 23 Auf Basis von Litertaturrecherchen und Expertenbefragungen definierte Schwellenwerte, die entsprechende Indikatoreinheit, die sensitiven Zeiträume, der Trend Vergangenheit (1962-2010, Quelle: DWD) und der Trend Zukunft (Veränderungstendenz 2071-98 ggü. 1962-90 laut Abfragen Klimamodellprojektionen, Quelle: DWD) im Spargelanbau (rosa hinterlegt: Top 3 der relevantesten Extremwetterlagen)

Extremwetterlage	Schwellenwerte	Indikatoreinheit	Zeitraum	Trend Vergangenheit	Trend Zukunft
Hitze	Tmax ≥ 30 °C	° C (Tmax) pro d	Mrz-Sep	↗	↑
Trockenheit	≤ 160 mm Niederschlag (Jul-Aug) ≤ 200-260 mm (Jun-Sep) nFK ≤ 50-60 %**	mm mm nFK (%) pro d und w**	Feb-Sep	↘	↗
Dauerregen	≥ 30 mm Niederschlag/d ≥ 150 mm Niederschlag/Monat	mm pro d mm pro M	Jan-Dez	≥ 30 mm/d: ↗ (Jan, Mrz, Mai, Jul, Sep, Okt, Dez) ≥ 150 mm/M: ↗ (Jan, Mrz, Mai, Jul, aug, Sep, Okt)	≥ 30 mm/d: ↗ (außer Jul) ≥ 150 mm/M: ↗ (Okt-Mai) ↘ (Jun-Sep)
Starkregen	≥ 20 mm Niederschlag/h	mm pro d*	Jan-Dez	≥ 20 mm/d: ↗ (Jan, Mrz, Mai, Jul, Sep, Okt, Dez)	≥ 20 mm/d: ↗ (außer Jul)
Hagel	ja/nein	Größe der Körner u. Dauer (h/d)	Apr-Sep	Keine Prognosemodelle vorhanden	
Spätfrost	Tmin ≤ - 1 bis - 3 °C	° C (Tmin) pro d	Feb-Mai	→↘	↘
Sturm	≥ 60 km/h (ca. 7-8 Bft)	mittl. Windstärke (u) pro d***	Apr-Sep	u ≥ 10 m/s: ↘ (Apr, Jul-Sep) → (Feb, Mrz) ↗ (Jun)	u ≥ 10 m/s: → (Feb, Jun-Aug) ↗ (Mrz-Mai, Sep)

* keine Modelle für Stundenwerte vorhanden; ** keine Modelle für nFK in Spargel vorhanden, *** in Modellen nur Prognosewerte für mittlere Windstärke pro Tag (u) vorhanden

3.1.3.4.2 Speisezwiebel

Die für Speisezwiebel definierten Schwellenwerte und Ergebnisse ihrer Abfragen in Klimadaten und Prognosemodellen sind in Tabelle 24 aufgeführt.

Die Wahrscheinlichkeit für im Speisezwiebelanbau schädigenden Winterfrost ($T_{min} \leq -5 \text{ °C}$ bis -20 °C) im Zeitraum Januar bis März lag zwischen 1981 und 2010 im Mittel bei etwa 14 d (-5 °C) und knapp 0,2 d (-20 °C). Vor allem für den Wert -20 °C ist in Vergangenheit ein deutlicher, abnehmender Trend zu erkennen, der sich bis 2098 für beide Werte weiter fortsetzen wird. So wird die Wahrscheinlichkeit für Fröste mit $T_{min} \leq -5 \text{ °C}$ laut aktueller Modellaussagen in diesem Zeitraum um etwa zwei Drittel abnehmen.

Als Schwellenwert für Staunässe und Dauerregen konnten Niederschlagsmengen von $\geq 150 \text{ mm/Monat}$ im Juli und August festgelegt werden. In beiden Monaten zeigte sich für diesen dieser Wert in Vergangenheit ein zunehmender Trend. Im August wurde er im Zeitraum 1981-2010 etwa 0,06 Mal erreicht oder überschritten. Für die Zukunft prognostizieren die Modelle eine Abnahme innerhalb der nächsten 30 Jahre um etwa ein Viertel, danach stagniert die Wahrscheinlichkeit bei diesen Werten.

Spätfröste mit $T_{min} \leq -3 \text{ °C}$ bis -9 °C im Zeitraum Ende März bis Mitte Juni haben in den letzten 50 Jahren etwas zugenommen. Fröste mit $T_{min} \leq -3 \text{ °C}$ wurden zwischen 1981-2010 an etwa 1,8 d erreicht, Fröste mit $T_{min} \leq -9 \text{ °C}$ hingegen nur an etwa 0,02 d. Das Risiko für Spätfröste im Speisezwiebelanbau wird bis 2098 deutlich sinken.

Das Risiko für Trockenstressschäden im Zeitraum März bis Ende September hat in der Vergangenheit allenfalls leicht zugenommen, eher stagniert. Weniger als 400 mm Niederschlag sind innerhalb der Kulturzeit demnach in durchschnittlich jedem zweiten Jahr (0,5), weniger als 450 mm noch öfter (ca. 0,7) gefallen. Die Relevanz von Trockenstress mit diesen Grenzwerten wird sich laut aktueller Prognosen auch innerhalb der nächsten 80 bis 90 Jahre kaum verändern, wobei hier keine Aussage zur Verteilung der Niederschläge innerhalb dieses Zeitraumes getroffen werden können.

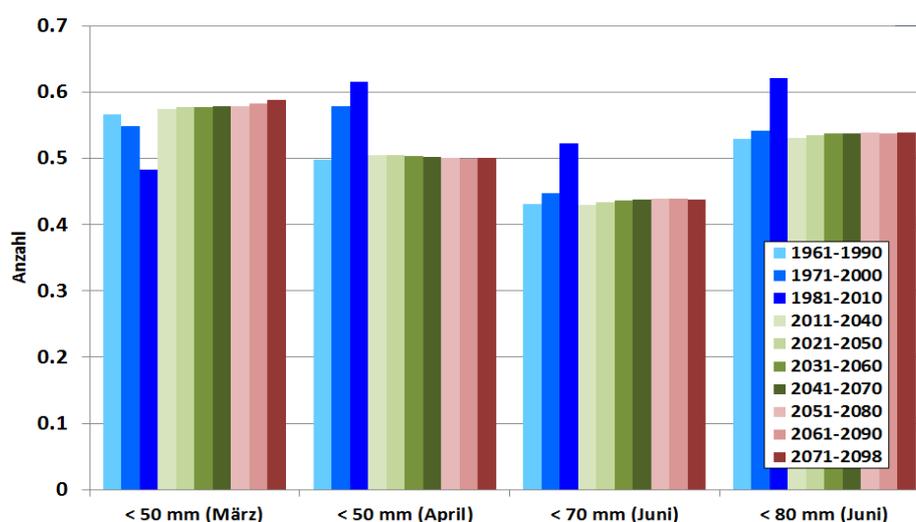


Abbildung 26 Mittlere (Deutschland) Wahrscheinlichkeit einer Monatsniederschlagssumme $< 50 \text{ mm}$ (März & April), $< 70 \text{ mm}$ (Juni) und $< 80 \text{ mm}$ (Juni), das heißt zunehmender Trockenstressgefahr in Speisezwiebeln, in Vergangenheit (Originaldaten) und Zukunft (Klimamodellprognosen) (Quelle: DWD)

Deshalb ist es Sinn, sich auch die Monatsniederschläge detaillierter zu betrachten. Wie Abbildung 26 verdeutlicht, ist das Risiko für ungenügend Niederschläge innerhalb der letzten 50 Jahre im März gesunken und in den Monaten April und Juni gestiegen. Für die Zukunft gehen die Modelle allerdings von einem Anstieg des Trockenstressrisikos im März und einer Abnahme und darauffolgenden Stagnation des Risikos im April und Juni aus.

Auch im Speisezwiebelanbau hat die Gefahr von Hitzestress zu in den letzten 50 Jahren zugenommen und wird weiter ansteigen. Bis 2098 prognostizieren die Modelle, dass an durchschnittlich circa 14 d im Zeitraum April bis Ende August die Tagesmaximumtemperaturen 30 °C erreichen oder übersteigen.

Frühfröste mit $T_{min} \leq -5$ traten im Zeitraum 1971-2000 doppelt so oft auf wie im Zeitraum 1981-2010. Trotzdem ist die Wahrscheinlichkeit mit 0,2 bzw. 0,1 d im Gesamtzeitraum sehr gering. Über Deutschland gemittelt traten Frühfröste mit ≤ 15 °C in den letzten 50 Jahren nicht auf. Hier ist zu erwähnen, dass nicht auszuschließen ist, dass diese Temperaturen an einzelnen Standorten durchaus erreicht worden sein können, sich das aber in den Daten nicht widerspiegelt. So verdeutlichen die Zahlen, dass Frühfröste dieser Stärke eine nur sehr geringere bzw. keine Relevanz besitzen.

Tabelle 24 Auf Basis von Literaturrecherchen und Expertenbefragungen definierte Schwellenwerte, die entsprechende Indikatoreinheit, die sensitiven Zeiträume, der Trend Vergangenheit (1962-2010, Quelle: DWD) und der Trend Zukunft (Veränderungstendenz 2071-98 ggü. 1962-90 laut Abfragen Klimamodellprojektionen, Quelle: DWD) im Speisezwiebelanbau (rosa hinterlegt: Top 3 der relevantesten Extremwetterlagen)

Extremwetterlage	Schwellenwerte	Indikatoreinheit	Zeitraum	Trend Vergangenheit	Trend Zukunft
Hitze	Tmax ≥ 30 °C	° C (Tmax) pro d	Apr-Aug	↗	↑
Trockenheit	nFK ≤ 40 - 50 % ** ≤ 400 bis 450 mm Niederschlag innerhalb Kulturzeit (Mrz-Sep) ≤ 50 mm Niederschlag/Monat (Mrz; Apr) ≤ 70-80 mm Niederschlag/Monat (Jun)	nFK (%)** mm pro M	Mrz-Sep	≤ 400-450 mm (Mrz-Sep): ↗ ≤ 50 mm (Mrz & Apr): ↘ (Mrz), ↗ (Apr) ≤ 70-80 mm (Jun): ↗	≤ 400-450 mm (Mrz-Sep): → ≤ 50 mm (Mrz, Apr): ↗ (Mrz), ↘ (Apr) ≤ 70-80 mm (Jun): ↗↘
Dauerregen	≥ 150 mm/Monat (Jul; Aug)	mm pro M	Jul, Aug	≥ 150 mm/M: ↗	≥ 150 mm/M: ↘ (bis 2040) → (2041-2098)
Staunässe	nFK ≥ 100% (1,5 w)**	nFK (%) über ≥ 10 d**	Jan-Dez	Keine Prognosemodelle vorhanden	
Starkregen	≥ 20 – 30 mm Niederschlag/Ereignis (Verschlammung) ≥ 50 mm Niederschlag/Ereignis (Erosion)	mm pro d*	Jan-Dez	≥ 20 mm/d: ↗ ≥ 30 mm/d: ↗↗ ≥ 50 mm/d: →	≥ 20 mm/d: ↗ (außer Jul) ≥ 30 mm/d: ↗ (außer Jul) ≥ 50 mm/d: ↗↗
Hagel	ja/nein	Größe der Körner u. Dauer (h/d)	Mrz-Sep	Keine Prognosemodelle vorhanden	
Spätfrost	Tmin ≤ -3 bis -9 °C (> 1 d)	° C (Tmin) pro d	Mrz-Jun	↗	↘
Winterfrost	Tmin ≤ -5 bis -20 °C	° C (Tmin) pro d	Dez-Feb	↘	↘
Frühfrost	Tmin ≤ -5 bis -15 °C	° C (Tmin) pro d	Sep-Okt	- 5 °C: ↘ (1971-2010) - 15 °C: →	- 5 °C: ↘ (1971-2010) - 15 °C: →

* keine Modelle für Stundenwerte vorhanden, ** keine Modelle für nFK in Speisezwiebel vorhanden

3.1.3.4.3 Möhren

Die Ergebnisse der Abfragen zur Relevanz von Extremwetterlagen und die entsprechenden Schwellenwerte sind in Tabelle 25 zusammenfassend dargestellt.

Die Relevanz von Winterfrösten mit $T_{min} \leq -10$ bis -20 °C im Zeitraum Anfang November bis Ende Februar hat in den vergangenen 50 Jahren für beide Werte abgenommen, wenn auch im Mittel für Deutschland die Anzahl Tage mit $T_{min} \leq -20$ °C mit circa 0,2 d sowieso sehr gering war. Im Januar und Februar besteht generell die höchste Gefahr. Die Relevanz von Frühfröste mit $T_{min} \leq -10$ °C wird sich bis 2098 etwa halbieren und, die Relevanz von Frühfrösten mit $T_{min} \leq -20$ °C bleibt laut aktueller Prognosen auf einem konstant geringen Level.

Auch Spätfröste mit $T_{min} \leq 0$ °C haben innerhalb der Vergangenheit an Bedeutung verloren. Für Spätfröste mit $T_{min} \leq -4$ °C ist in Vergangenheit ein leichter Anstieg der Relevanz zu erkennen. So treten Fröste mit $T_{min} \leq 0$ °C derzeit an knapp 5 d und Fröste mit $T_{min} \leq -4$ °C an etwa 0,4 d im Zeitraum Anfang April bis Ende Mai auf. Für beide Grenzwerte wird die Relevanz in Zukunft deutlich (0°C: -50 %, -4 °C: -75 %) sinken.

Die für Möhren definierten Schwellenwerte bzw. die durch Experten gemachten Angaben und Literaturangaben sind im Vergleich zu anderen Kulturen mit $T_{max} \geq 25$ bis 28 °C auffällig gering und bestätigen eine recht hohe Hitzestressempfindlichkeit dieser Kultur. Für beide Werte ergaben die Abfragen einen Anstieg der Relevanz innerhalb der letzten 50 Jahre. In den nächsten 30 Jahren soll diese Relevanz laut aktueller Prognosen im Deutschlandmittel leicht abfallen und danach bis 2098 deutlich ansteigen. Tagesmaximumtemperaturen von ≥ 25 °C werden derzeit an gut 40 d im Zeitraum Anfang Mai bis Ende August erreicht, Tagesmaximumtemperaturen von ≥ 28 °C an knapp 15 d. Der prognostizierte Anstieg bis 2098 liegt für beide Werte bei etwa ein Drittel.

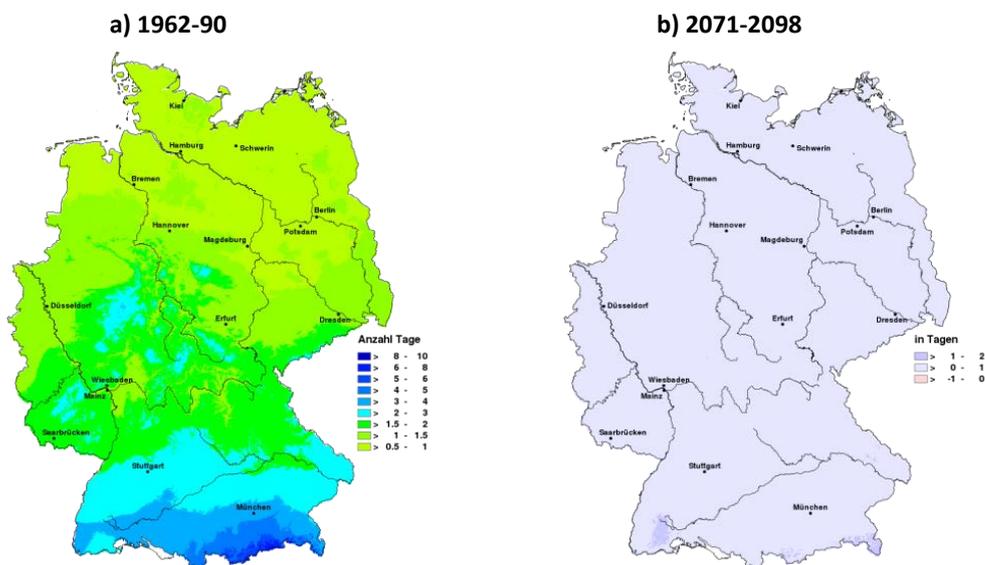


Abbildung 27 a, b Anzahl Tage mit einer Niederschlagssumme ≥ 20 mm im Zeitraum 21. Februar bis 20. Juli in Vergangenheit (a) und Zukunft (b), Originaldaten für den Zeitraum 1962-90 (a) und 50. Perzentil der Modellaussagen zur Veränderungstendenz (2071-98 ggü. 1962-90) (b) (Quelle: DWD)

Auch für Möhren konnte der Schwellenwert für Starkregen nur als Tagesniederschlagssumme abgefragt werden. Wie Abbildung 27 a zeigt, liegt die Gefahr für solche Starkregentage im Zeitraum Mitte/Ende Februar bis Ende Juli je nach Standort zwischen 0,5 und 10 d und nimmt von Norden nach Süden zu. In Abbildung 27 b sind die durch 50% der Klimamodelle prognostizierten Veränderungstendenzen bis 2098 dargestellt. Wie man erkennen kann, gehen die meisten Modelle von einem Anstieg zwischen bis etwa 1 d für ganz Deutschland aus.

Für Trockenheit und Staunässe bzw. Dauerregen lagen zum Zeitpunkt der Berichterstellung noch keine Abfrageergebnisse vor, deshalb wird an dieser Stelle auf den Endbericht zum gesamten Verbundprojekt „Agrarrelevante Extremwetterlagen“ verwiesen.

Tabelle 25 Auf Basis von Litertaturrecherchen und Expertenbefragungen definierte Schwellenwerte, die entsprechende Indikatoreinheit, die sensitiven Zeiträume, der Trend Vergangenheit (1962-2010, Quelle: DWD) und der Trend Zukunft (Veränderungstendenz 2071-98 ggü. 1962-90 laut Abfragen Klimamodellprojektionen, Quelle: DWD) im Möhrenanbau (rosa hinterlegt: Top 3 der relevantesten Extremwetterlagen)

Extremwetterlage	Schwellenwerte	Indikatoreinheit	Zeitraum	Trend Vergangenheit	Trend Zukunft
Hitze	Tmax ≥ 25 bis 28 °C	° C (Tmax) pro d	Mai-Aug	↗	↘ (bis 2050) ↗ (2050-2098)
Trockenheit	≤ 300 - 500 mm Niederschlag (Jul-Sep) 0 mm (≥ 3 w)	mm mm pro 3 w	Mrz-Aug	Siehe Endbericht Verbundprojekt „Agrarrelevante Extremwetterlagen“	
Staunässe	nfK ≥ 100% (≥ 1 w) nfK ≥ 70 % (Befahrbarkeit während Aussaat- und Erntephase)	nFK (%) über ≥ 7 d mm pro M	Feb-Nov (Jan-Dez)	Siehe Endbericht Verbundprojekt „Agrarrelevante Extremwetterlagen“	
Starkregen	≥ 20 mm Niederschlag/Ereignis	mm pro d*	Feb-Jul (Jan-Dez)	→↗	↗
Hagel	ja/nein	Größe der Körner u. Dauer (h/d)	Apr-Sep	Keine Prognosemodelle vorhanden	
Spätfrost	Tmin ≤ 0 bis - 4 °C	° C (Tmin) pro d	Apr-Mai	≤ 0 °C: ↘ - 4 °C: ↗	↘
Winterfrost	Tmin ≤ - 20 °C (mit Abdeckung) Tmin ≤ - 10 °C (dauerhaft)	° C (Tmin) pro d	Nov-Feb	≤ - 10 °C: ↘ ≤ - 20 °C: →↘	≤ - 10 °C: ↘ ≤ - 20 °C: →

* keine Modelle für Stundenwerte vorhanden

3.1.3.4.4 Weiß- und Rotkohl

Tabelle 26 führt die definierten Schwellenwerte und die Ergebnisse der Schwellenwertabfragen für Weiß- und Rotkohl auf.

Im Rahmen dieser Abfragen ergab sich, dass die Relevanz von Winterfrösten in den vergangenen 50 Jahren im Zeitraum Anfang November bis Ende Februar sowohl für den Wert $T_{\min} \leq -6 \text{ °C}$ als auch den $T_{\min} \leq -20 \text{ °C}$ abgenommen hat. Diese Tendenz wird sich laut Prognosen bis 2098 fortsetzen, so wird innerhalb des Gesamtzeitraumes bis 2098 im Mittel an nur noch circa 4 d eine $T_{\min} \leq -6 \text{ °C}$ und an nur noch 0,15 d eine $T_{\min} \leq -20 \text{ °C}$ erreicht.

Gemäß der Recherchen und Befragungen können Monatsniederschläge $\geq 120 \text{ mm}$ im Zeitraum April bis Mai bzw. $\geq 150 \text{ mm}$ im Zeitraum Juni bis September zu Schädigungen durch von Staunässe führen. Der Vergleich der Wetterdaten der Zeiträume 1962-1990 und 1971-2000 konnte im Deutschlandmittel ein abnehmendes Risiko gemessen werden, das im Zeitraum 1981-2010 wieder etwas zunahm. Monatsniederschläge $\geq 120 \text{ mm}$ werden im April und Mai bis 2098 etwa eine gleichbleibende Relevanz haben. Monatsniederschläge $\geq 150 \text{ mm}$ im Zeitraum Juni bis September werden innerhalb der nächsten 30 Jahre leicht an Bedeutung verlieren und danach bis 2098 ein konstantes Relevanzniveau halten.

Tage mit Spätfrösten mit $T_{\min} \leq 0 \text{ °C}$ im Zeitraum Mitte/Ende März bis Ende Mai werden derzeit an durchschnittlich 8 d erreicht. Innerhalb der letzten Jahrzehnte war dahingehend eine leicht Tendenz zu einer Abnahme des Risikos, also einer geringeren Anzahl Spätfrosttage, zu erkennen. Diese Tendenz wird sich bis 2098 fortsetzen, so dass gegen Ende dieses Jahrhunderts laut aktueller Prognose etwa nur noch 2,5 d solcher Spätfrosttage innerhalb dieses Zeitraumes zu verzeichnen sind. Spätfröste mit $T_{\min} \leq -12 \text{ °C}$ treten innerhalb dieses Zeitraumes höchst selten (im Durchschnitt 0,004 Mal) auf, wobei innerhalb der letzten Jahrzehnte eine leicht Zunahme der Anzahl dieser extremen Spätfrosttage gemessen werden konnte. Allerdings wird auch diese Gefahr in Zukunft deutlich abnehmen.

Als Grenzwerte für ertragsrelevanten Trockenstress konnten die in Tabelle 26 aufgeführten Werte festgelegt werden. Für alle drei Werte konnte in den entsprechenden Zeiträumen in Vergangenheit eine leichte Tendenz zu einer Zunahme des Risikos gemessen werden. Innerhalb des Zeitraumes Anfang Juni bis Ende August fallen in durchschnittlich 1,6 Monaten Niederschläge $\leq 70 \text{ mm}$. Generell kann man von einem konstant bleibendem Risiko des Erreichens der Trockenstressschwelle für den Anbau von Weiß- und Rotkohl bis 2098 ausgehen. Abbildung 28 a zeigt, dass der Osten und Südwesten Deutschlands deutlich stärker von der Gefahr durch Trockenstress gefährdet sind als beispielsweise Schleswig-Holstein und Bayern.

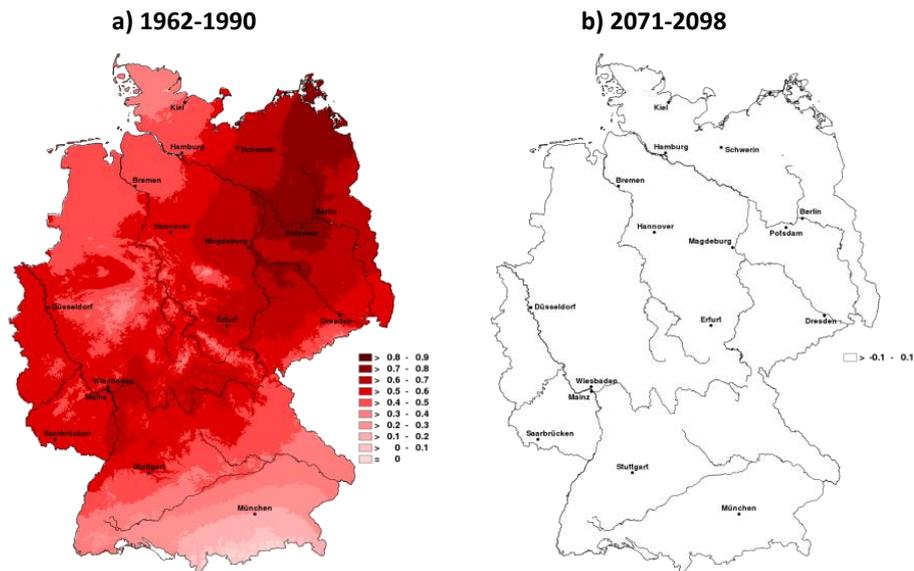


Abbildung 28 a, b Mittlere (Deutschland) Wahrscheinlichkeit einer Monatsniederschlagssumme ≤ 70 mm im August in Vergangenheit (a) und Zukunft (b), Originaldaten für den Zeitraum 1962-90 (a) und 50. Perzentil der Modellaussagen zur Veränderungstendenz (2071-98 ggü. 1962-90) (b) (Quelle: DWD)

Wie für alle zuvor behandelten Kulturen, nimmt auch im Weiß- und Rotkohlanbau die Gefahr für Hitzeschäden laut aktueller Prognosen deutlich zu.

Starkregentage mit Niederschlagsmengen ≥ 20 mm haben innerhalb der Vergangenheit leicht an Relevanz gewonnen. Derzeit wird diese Tagesniederschlagsmenge an durchschnittlich 2,5 d im Zeitraum Anfang März bis Ende August überschritten. Tage mit Niederschlägen ≥ 50 mm sind mit durchschnittlich etwa 0,12 d deutlich seltener. Ihre Relevanz hat sich in Vergangenheit kaum geändert. Für beide Grenzwerte wird aber eine Zunahme der Relevanz durch die Prognosemodelle vorhergesagt. Diese Tendenz fällt bei Tagesniederschlägen von 20 mm (durchschnittlich + 5% bis 2098) etwas geringer aus als bei 50 mm (durchschnittlich + 30% bis 2098).

Es ist keine klare Tendenz zu erkennen, ob ertrags- bzw. schadensrelevante Frühfröste im Weiß- und Rotkohlanbau in Vergangenheit an Relevanz gewonnen oder verloren haben. Laut aktueller Prognosedaten kann davon ausgegangen werden, dass die Wahrscheinlichkeit kritischer Frosttage im Zeitraum Ende September bis Mitte November abnimmt.

Die Relevanz von mittleren Tageswindgeschwindigkeit (u) ≥ 5 m/s im Zeitraum April bis August hat in den vergangenen 50 Jahren etwas abgenommen. Für die Zukunft geben die Modelle allerdings einen mehr oder weniger großen Anstieg der Wahrscheinlichkeit des Überschreitens dieses Grenzwertes in den Monaten April bis Juli an.

Tabelle 26 Auf Basis von Literaturrecherchen und Expertenbefragungen definierte Schwellenwerte, die entsprechende Indikatoreinheit, die sensitiven Zeiträume, der Trend Vergangenheit (1962-2010, Quelle: DWD) und der Trend Zukunft (Veränderungstendenz 2071-98 ggü. 1962-90 laut Abfragen Klimamodellprojektionen, Quelle: DWD) im Weiß- und Rotkohlanbau (rosa hinterlegt: Top 3 der relevantesten Extremwetterlagen)

Extremwetterlage	Schwellenwerte	Indikatoreinheit	Zeitraum	Trend Vergangenheit	Trend Zukunft
Hitze	Tmax ≥ 30 - 35 °C Nachttemperaturen Tmin ≥ 25 °C	° C (Tmax) pro d ° C (Tmin) pro d	Apr-Sep	↗	↑
Trockenheit	≤ 50 % nFK (4 w)** ≤ 50 mm/Monat (Apr-Mai) ≤ 70-80 mm/Monat (Jun-Aug)	nFK (%) pro M** mm pro M mm pro M	Apr-Nov	≤ 50 mm (Apr-Mai): ↗ ≤ 70-80 mm (Apr-Mai): ↔↗	≤ 50 mm (Apr-Mai): ↔ (Vgl. 1962-90) ≤ 70-80 mm (Apr-Mai): ↔
Staunässe	nFK ≥ 100% (1 w)**	nFK (%) pro w**	Jan-Dez	Keine Prognosemodelle vorhanden	
Dauerregen	≥ 120 mm/Monat (Apr-Mai) ≥ 150 mm/Monat (Jun-Sep)	mm pro M mm pro M	Jan-Dez	↘ (Vgl. 1962-90 vs. 1971-2000) ↗ (Vgl. 1971-2000 vs. 1981-2010)	≥ 120 mm/M: ↔ ≥ 150 mm/M: ↔↘
Starkregen	≥ 20 – 50 mm/Ereignis	mm pro d*	Mrz-Aug (Jan-Dez)	≥ 20 mm: ↔↗ ≥ 50 mm: ↔↘	↗
Hagel	Ja/nein (≥ 20 min)	Größe der Körner u. Dauer (h/d)	Apr-Sep	Keine Prognosemodelle vorhanden	
Sturm	≥ 4 Bft	mittl. Windstärke (u) pro d***	Apr-Aug	u ≥ 5 m/s: ↘	u ≥ 5 m/s: ↗↔ (Apr-Jul) ↘ (Aug)
Spätfrost	Tmin ≤ 0 bis - 12 °C	Tmin (°C) pro d	Mrz-Mai	≤ 0 °C: ↘ ≤ - 12 °C: ↗	↘
Winterfrost	Tmin ≤ - 6 bis - 20 °C	Tmin (°C) pro d	Nov-Feb	↘	↘
Frühfrost	Tmin ≤ - 2 bis - 6 °C	Tmin (°C) pro d	Sep-Nov	↔	↘
Nassschnee	≥ 5 cm	Höhe (cm) & Dauer	Apr-Mai	Keine Prognosemodelle vorhanden	

* keine Modelle für Stundenwerte vorhanden; ** keine Modell für nFK in Weiß- und Rotkohl vorhanden, *** in Modellen nur Prognosewerte für mittlere Windstärke pro Tag (u) vorhanden

3.1.3.5 Sonstige relevante Extremwetterlagen

3.1.3.5.1 Strahlungsintensität

Da für alle behandelten Kulturen die Strahlungsintensität mehr oder weniger wichtig ist, weil sie bei zu hohen Werten qualitäts- und ertragsmindernden Sonnenbrand an den Blättern oder dem Erntegut verursachen kann, wurde - obwohl nicht für alle Kulturen Schwellenwerte vorhanden sind – auch die vergangene und zukünftige Relevanz zu erhöhter Strahlungsintensitäten durch den Deutschen Wetterdienst abgefragt. Als Schwellenwert wurden $2500 \text{ J/m}^2 \text{ d}$ angenommen. Wie Abbildung 29 a und b verdeutlicht, wird dieser Wert in Süddeutschland im Juli derzeit an bis zu 10 d überschritten. In der nördlichen Hälfte Deutschland sind es derzeit im Durchschnitt 5 d weniger. Auch die Veränderungstendenz ist regional verschieden. Im äußersten Süden kann die Anzahl besonders strahlungsreicher Tage um bis zu 4 d zunehmen. Für den Norden gehen die meisten Modelle eher von keiner Veränderung aus.

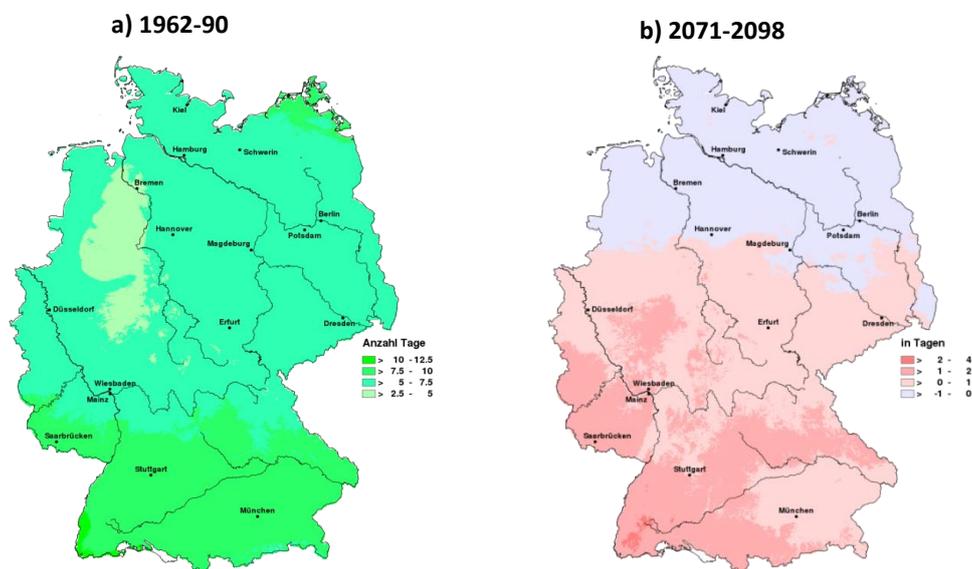


Abbildung 29 a, b Mittlere (Deutschland) Wahrscheinlichkeit einer Strahlungsintensität $> 2500 \text{ J/m}^2 \text{ d}$ für den Monat Juli in Vergangenheit (a) und Zukunft (b), Originaldaten für den Zeitraum 1962-90 (a) und 50. Perzentil der Modellaussagen zur Veränderungstendenz (2071-98 ggü. 1962-90) (b) (Quelle: DWD)

3.1.4 Auswertung vorhandener Daten

3.1.4.1 Apfel

Die Auswertung der jährlichen Ausführungen zum Verlauf des Obstjahres im Kernobstbau des OVR in Jork (Abb. 30 a,b) bestätigt die durch die Experten vergebene Rangfolge im Anbaugebiet „Niederelbe“. Hagel trat im Zeitraum 1983 bis 2013 am häufigsten (114) und knapp 4-mal pro Jahr auf, Spätfröste am zweithäufigsten (knapp 3,5 x pro Jahr) und zu hohe Niederschlagsmengen (Dauer- und Starkregen, Staunässe und Überschwemmung) im Durchschnitt knapp 2,5-mal pro Jahr. An dieser Stelle sei darauf verwiesen, dass dieser Übersicht nicht zu entnehmen ist, in welchem Umfang das Anbaugebiet betroffen war. Es kann also sein, dass die Ereignisse sehr regional begrenzt aufgetreten sind oder große Teile des Anbaugebietes betroffen waren. Keinesfalls traten in jedem Jahr alle Extremwetterlagen im gesamten Anbaugebiet auf. Dennoch geben die Grafiken einen guten Überblick, dass die

Experten beim Ranking der Extremwetterlagen mit dem wahrscheinlichen, tatsächlichen Auftreten übereinstimmen.

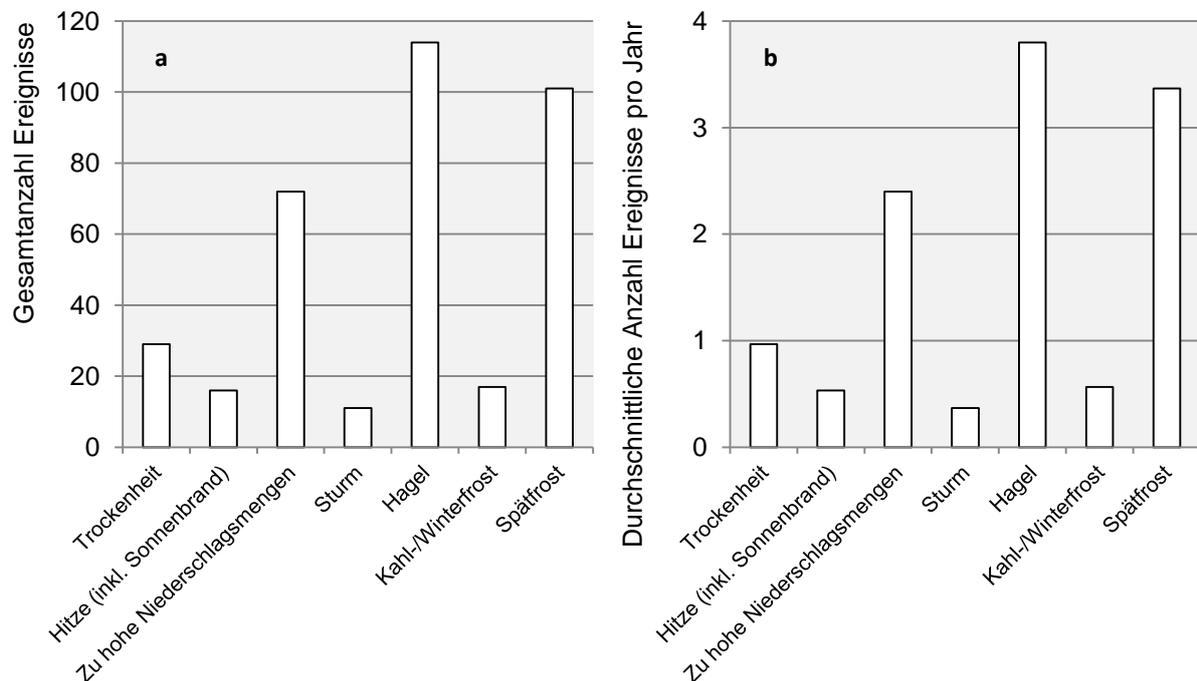


Abbildung 30 a, b Gesamtanzahl (a) und mittlere Anzahl pro Jahr (b) der Extremwetterereignisse an der „Niederelbe“ in den Jahren 1983 bis 2013, auf Basis einer Auswertung der „Jahresberichte zum Obstbaujahr“ (Mitteilungen OVR Jork) (Quelle: König 2014)

Für den Apfelanbau gelang es in Betrieben an der „Niederelbe“, Ertragsdaten von Flächen zu sammeln, um das Schadpotential von Spätfrost (in Bezug auf den Ertrag) zumindest grob zu quantifizieren. Eine besondere Schwierigkeit lag darin, Flächen zu finden, die nicht frostschtzbereignet sind, genügend lange Standzeiten (ab 4. Ertragsjahr) aufweisen und trotzdem in mindestens einem Jahr Spätfrostschäden erfahren haben. Hier muss noch einmal darauf hingewiesen werden, dass es derzeit keine Quellen gibt, in der entsprechende Daten regelmäßig erhoben werden, was ein erhebliches Defizit in Hinblick auf die Quantifizierbarkeit des Schadausmaßes von Extremwetterlagen darstellt. So wurden in Absprache mit Beratern des Obstbauversuchsrings in Jork für eine erste exemplarische Erhebung im Apfelanbau die Sorten „Elstar“ und „Jonagold“ ausgewählt, da sie in Hinblick auf den Anbauumfang an der „Niederelbe“ am bedeutendsten sind. Die Erträge in den Jahren „ohne Spätfrost“ wurden den Erträgen „mit Spätfrost“ relativ gegenübergestellt und dabei zusätzlich in Flächen unterschieden, die grundsätzlich stärker oder weniger stark spätfrostgefährdet sind. Die Schwankung der Erträge innerhalb der spätfrostfreien Jahre wurde als Alternanz aufgefasst und den Erträgen der Jahre „mit Spätfrost“ zugeordnet, um zu verdeutlichen, in welchem Rahmen die potentiellen Mindererträge schwanken könnten (Abb. 31 & 32).

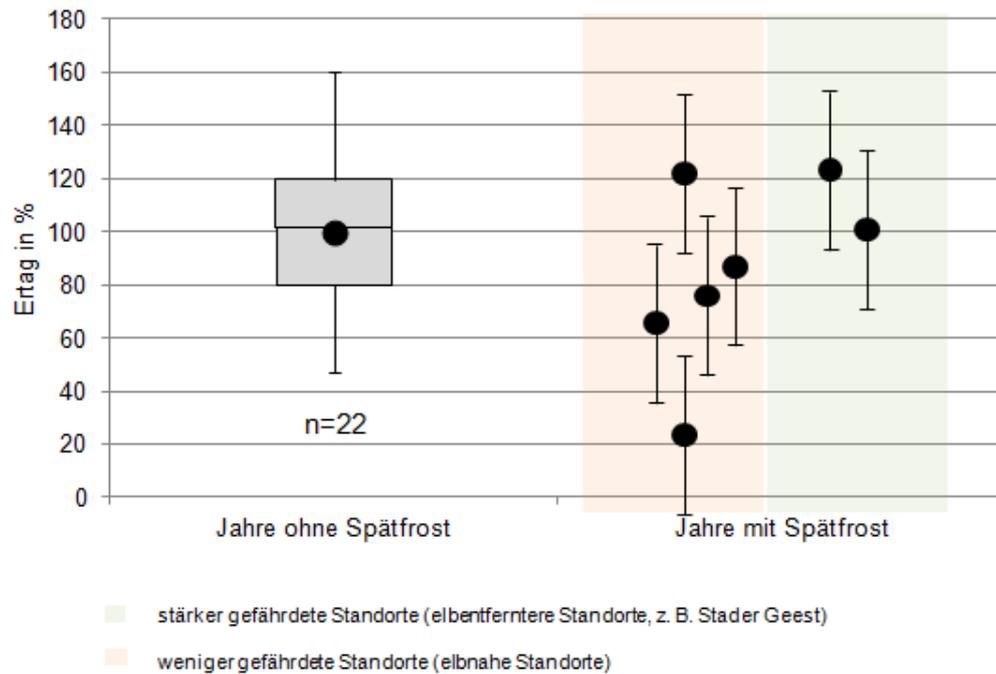


Abbildung 31 Ertragsverluste (in % vom Mittelwert der Jahre ohne Spätfrost) durch Spätfrost bei der Apfelsorte „Elstar“ im Anbaugebiet „Niederelbe“ in Abhängigkeit von der Spätfrostgefährdung des Standortes (Whisker=mittlere Standardabweichung in Jahren ohne Spätfrost/Alternanz) (Datenquelle: Obstbaubetriebe im Anbaugebiet „Niederelbe“)

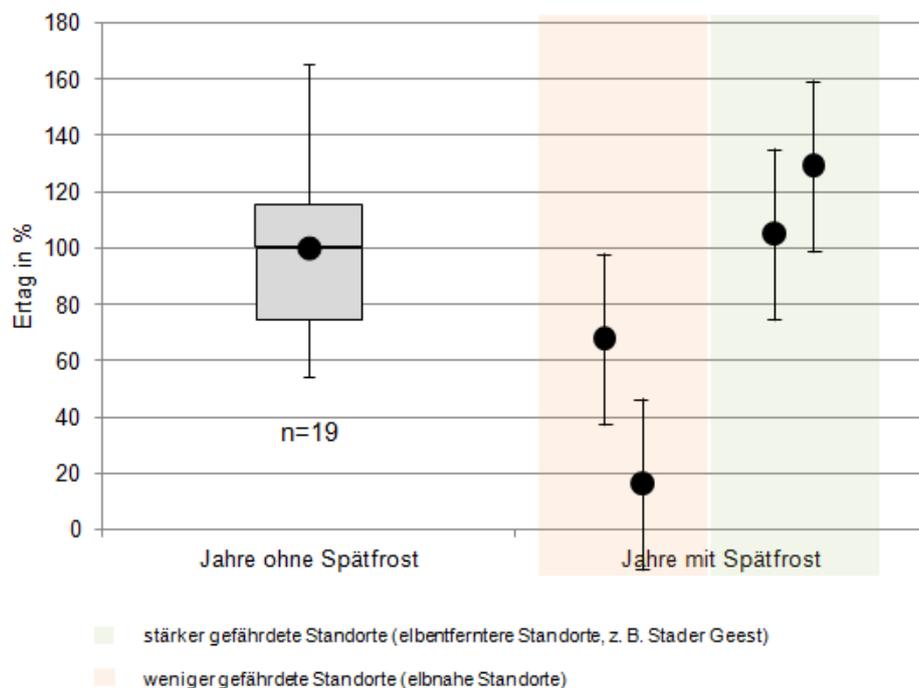


Abbildung 32 Ertragsverluste (in % vom Mittelwert der Jahre ohne Spätfrost) durch Spätfrost bei der Apfelsorte „Jonagold“ im Anbaugebiet „Niederelbe“ in Abhängigkeit von der Spätfrostgefährdung des Standortes (Whisker=mittlere Standardabweichung in Jahren ohne Spätfrost/Alternanz) (Datenquelle: Obstbaubetriebe im Anbaugebiet „Niederelbe“)

So ergaben sich für beide Sorten „Elstar“ (Abb. 31) und „Jonagold“ (Abb. 32), deren Erträge auf den betrachteten Flächen in spätfrostfreien Jahren (n=22 bzw. n=19 Einzelerträge) zwischen knapp 50 t/ha und bis zu 160 t/ha schwankten, in Spätfrostjahren und auf spätfrostgefährdeten Anlagen Mindererträge von bis zu fast - 80 % (Abb. 31). Setzt man zusätzlich noch die Schwankung der Erträge durch Alternanz an, kann ein Spätfrostschaden bis zum Totalausfall führen. Besonders gefährdet sind Knospen und Blüten von Bäumen, die im Vorjahr sehr hohe Erträge erzielt haben (physiologisch schwach). Auch wenn der Datenumfang recht klein war und keine statistischen Auswertverfahren zulässt, so zeigt sich doch bei Betrachtung der Erträge in Jahren „mit Spätfrost“, dass die nicht betroffenen (weniger gefährdete) Flächen einer geringeren Gefahr von Mindererträgen ausgesetzt sind und dort zum Teil sogar überdurchschnittliche Erträge erzielt werden könnten. Denkbar ist, dass durch eine geminderte Ertragsreduzierung auf den nicht betroffenen Flächen ein Ausgleich der Mindererträge betroffener Flächen angestrebt wurde. Allerdings könnte dies eine qualitative Beeinträchtigung nach sich ziehen. Da keine entsprechenden Qualitäts- oder Erlösdaten zur Verfügung standen, bleibt diese Annahme spekulativ und interessant für weitergehende Betrachtungen und umfassendere, statistische Datenanalysen.

3.1.4.2 Weinbau

Die Auswertung der durch die Weinbauberatung des DLR Rheinpfalz in Neustadt/Weinstr. erstellten jährlichen Übersichten zu den im Weinanbaugebiet „Pfalz“ gemeldeten Schäden durch Extremwetterlagen (Tab. 27) zeigt, dass Hagel in allen der betrachteten Jahre aufgetreten ist. In den Jahren 2006, 2008 und 2010 – was knapp einem Drittel der untersuchten Jahre entspricht - kam es in der „Pfalz“ durch Hagel zu besonders starken und großflächigen Schäden, die im Juni 2010 über 4000 ha (Oberhofer 2012) des Weinanbaugebietes betroffen haben. Diese Ergebnisse bestätigen die hohe Relevanz des Hagels in diesem Weinanbaugebiet, die schon aus den im Kapitel 3.1.2 vorgestellten Expertenbefragungen hervorging. Im Bereich der Mittelmosel kam es im August des Jahres 2011 zu enormen Hagelschäden, die laut Mitteilungen Nr. 20 des Rebschutzdienstes (DLR Mosel) auf bis zu 90% Schaden in den betroffenen Flächen beziffert wurden, was einem Totalausfall nah kommt. Die von den Experten als am zweit relevantesten eingeschätzte Extremwetterlage Spätfrost trat in 4 von 10 Jahren auf, wobei besonders starke Schäden im Jahr 2011 entstanden. In diesem Jahr waren nach Oberhofer (2012) in der „Pfalz“ 4000 bis 5000 ha betroffen, was mit einer geschätzten Schadenssumme von 30 – 40 Mio. Euro einherging. Betroffen davon waren in der Pfalz etwa 20% aller Lagen. Deutschlandweit waren in diesem Jahr etwa 15000 ha Wein durch Spätfrostschäden betroffen. Die geschätzte Schadenssumme betrug rund 100 Mio. Euro (Oberhofer 2012). Wie sich die Spätfrostschäden des Jahres 2011 auf die Erträge und Mostgewichte ausgewirkt haben, konnte anhand einer exemplarischen Datenauswertung gezeigt werden und wird im folgenden Abschnitt behandelt. Durch die von den befragten Experten in der „Pfalz“ auf Rang 3 gewertete Extremwetterlage „Kahl-/Winterfrost“ kam es in 4 von 10 Jahren zu Schäden. Dabei fällt auf, dass die Schäden vorrangig in den letzten Jahren, genauer 2009, 2010, 2011 und 2013, auftraten. Denkbar ist, dass dieses zeitnahe gehäufte Auftreten von „Kahl-/Winterfrost“ die Bewertung durch die Experten in gewissem Maße beeinflusst hat.

Trotzdem Sturmschäden relativ oft (in 8 von 10 Jahren) auftreten, kann hier festgehalten werden, dass die Schäden recht vereinzelt, z.B. in anfälligen Sorten wie Dornfelder oder in bestimmten Lagen, auftreten.

Tabelle 27 Überblick zu Extremwetterschäden und Schadausmaß im Weinanbaugebiet „Pfalz“ für den Zeitraum 2004 bis 2013 (Quelle: Schadensmeldungen, DLR Rheinpfalz)

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Frühfrost										
Hagel										
Hitze										
Kahl-/Winterfrost										
Spätfrost										
Starkregen/Abschwemmung/Erosion										
Staunässe										
Sturm										
Trockenstress										
Sonnenbrand										

	nein
	Ja, nur aber nur partielle Schäden
	ja, teilweise starke Schäden
	ja, besonders starke Schäden

Trotz des geringen Umfanges verfügbarer Daten, die für die Quantifizierung von Ertrags- und Qualitätseinbußen durch Extremwetterlagen geeignet sind, konnte eine exemplarische Analyse von Ertrags- und Mostgewichtsdaten der Jahre 2010 bis 2013 (n=200 pro Jahr) von jeweils n≥10 weißen und roten Rebsorten in Hinblick auf die Auswirkungen des Spätfrostereignisses im Jahr 2011 (Spätfrostereignis Anfang Mai, bis auf - 4 °C) erfolgen. Die anonym zur Verfügung gestellten Daten stammen aus dem Raum Pfalz und es kann davon ausgegangen werden, dass die Flächen ausschließlich im Jahr 2011 ertragsrelevant durch Spätfrost betroffen waren.

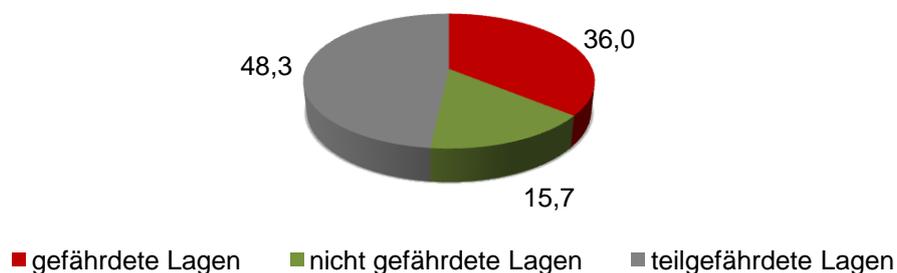


Abbildung 33 In die Auswertungen einbezogene Anteile der Gefährdungsklassen (Spätfrostisrisiko) an der Gesamtversuchsfläche (in %) im Mittel der Jahre 2010 bis 2013 (Datenquelle: anonym, Anbaugebiet „Pfalz“)

Die in die Untersuchungen einbezogene Gesamtflächen setzte sich in Hinblick auf die Spätfrostgefährdung aus circa 48% teilgefährdeten, 36% gefährdeten und knapp 16% nicht gefährdeten Lagen zusammen (Abb. 33). An dieser Stelle sei noch einmal ausdrücklich darauf hingewiesen, dass sich die Anteile in anderen Gebieten grundlegend anders

zusammensetzen können. Die Daten spiegeln eine Teilregion des Anbaugesbietes Pfalz wieder, die besonders von Spätfrost betroffen war. Im betrachteten Gebiet erfolgte der Austrieb im Jahr 2011, in Abhängigkeit der Rebsorten, im Mittel etwa ab dem 10./11. April, was einer Verfrühung um circa - 10 d gegenüber dem durchschnittlichen Austriebszeitpunkt entsprach. Diese Abweichung erhöhte sich in Bezug auf den Blühbeginn (im Mittel 22.-25.05.) nochmals auf circa - 18 d bis - 20 d. In den spätfrostfreien Jahren wurden die höchsten Erträge auf den gefährdeten Flächen erreicht.

Die Gegenüberstellung der Erträge der spätfrostfreien Jahre 2010, 2012 und 2013 mit den Erträgen im Spätfrostjahr 2011 ergaben auf gefährdeten Flächen für die Weißweinsorten durchschnittliche Mindererträge um 27%, in extremen Fällen um bis zu 75%, (Tab. 28 & Abb. 34). In den Rotweinsorten konnten auf den gefährdeten Flächen durchschnittliche Mindererträge um 44%, in extremen Fällen um bis zu 80%, gemessen werden (Tab. 29 & Abb. 35). Auf den nicht gefährdeten Flächen wurden hingegen im Spätfrostjahr 2011 überdurchschnittlich hohe Erträge (im Mittel + 50%) (Tab. 28 & Abb. 34), aber im Vergleich zum Durchschnitt etwas geringere Mostgewichte erzielt (Tab. 29 & Abb. 35). Die teilgefährdeten Lagen zeigten in diesem Jahr keine auffällige Ertragsbeeinflussung, allenfalls eine leichte Tendenz zu höheren Erträgen. Zu welchem Grad die Ertragssteigerung der nicht betroffenen Flächen des Jahres 2011 dem generell hohen Ertragsniveau dieses Jahres und bewusst geminderten Ertragsreduzierungsmaßnahmen zugerechnet werden kann, ist an dieser Stelle nicht eindeutig zu klären. Allerdings ist in Anbetracht des hohen Ertragsniveaus des Jahres 2011 anzunehmen, dass die Einbußen deutlich über den durchschnittlichen Werten von 27 und 44% lagen (Expertenbefragung DLR 2014). Fakt ist, dass in ertragsstarken Jahren Extremwetterschäden in der Regel noch größere Verluste hervorrufen können als in ertragsschwachen.

Ein Ausgleich der Mindererträge der betroffenen Flächen durch die Mehrerträge der nicht betroffenen Flächen ist auch aufgrund ihres unterschiedlichen Anteils an der Gesamtfläche (36 vs. 16 %) nicht möglich gewesen. Im Zuge erweiterter Datensammlungen wäre die Betrachtung, wie sich diese Zusammenhänge ökonomisch bewerten lassen, von großem Wert. So könnten die Auswirkungen von Spätfrost im Weinbau auch monetär quantifiziert werden.

Tabelle 28 a, b Mittlere Erträge (Mean, kg/ha); mittlere Standardabweichung (SD) und Anzahl Flächen (n) der weißen (a) und roten (b) Rebsorten in den Jahren 2010 bis 2013 (Datenquelle: anonym, Anbaugebiet „Pfalz“)

a	gefährdete Lagen				nicht gefährdete Lagen				teilgefährdete Lagen			
	2010	2011*	2012	2013	2010	2011*	2012	2013	2010	2011*	2012	2013
Mean	9766	8303	11971	12532	9579	15757	11257	10665	9278	11520	9822	12526
SD	3240	5255	6358	5162	4508	7124	4306	4393	3988	5266	3816	4506
n	27	25	27	27	38	38	38	44	34	34	36	42
P ≤ 0,5**		a A		B	A	b B		A				

b	gefährdete Lagen				nicht gefährdete Lagen				teilgefährdete Lagen			
	2010	2011*	2012	2013	2010	2011*	2012	2013	2010	2011*	2012	2013
Mean	10452	7147	12680	15721	8950	16936	9521	11395	11442	13174	10364	12884
SD	3273	3726	5602	5870	2715	5455	5592	5432	4967	7300	4940	4456
n	24	27	29	28	26	24	26	25	33	30	30	31
P ≤ 0,5**		a A	B	B	A	b B	A			b		

* mit Spätfrost, ** multiple Mittelwertvergleiche, mittels One Way ANOVA und anschließendem Dunn-Test (unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, a,b - innerhalb Jahr zwischen Gefährdungsklassen, A, B - innerhalb Gefährdungsklasse zwischen Jahren)

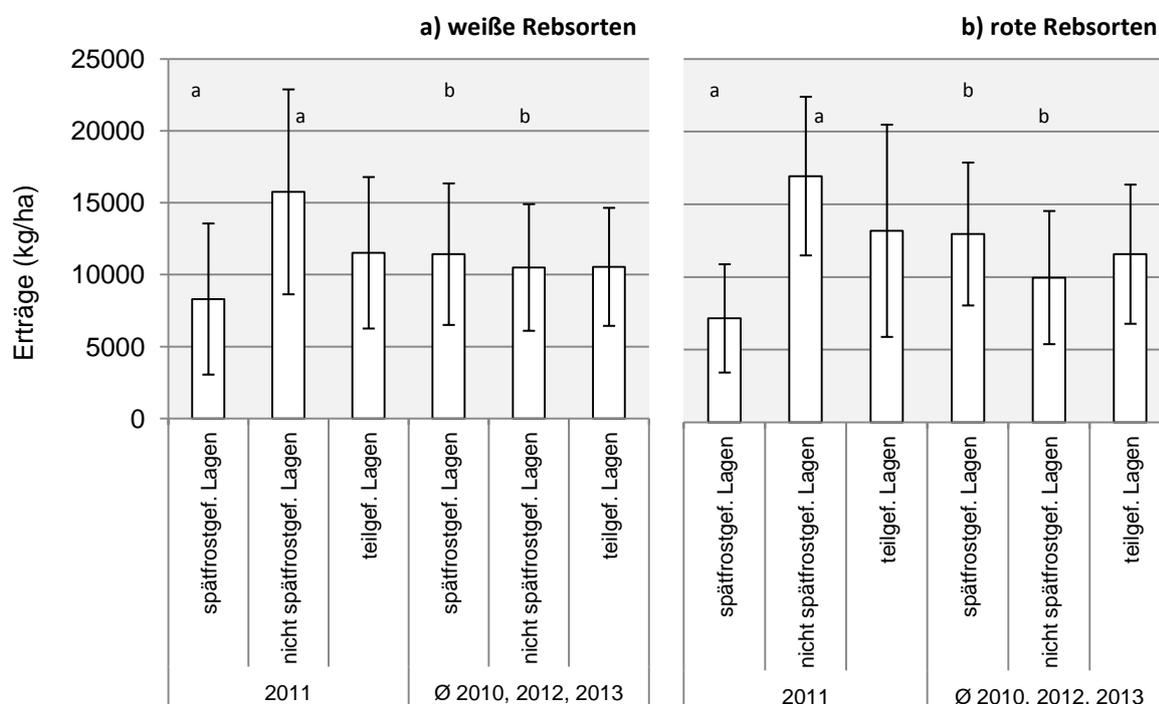


Abbildung 34 a, b Vergleich der mittleren Erträge (kg/ha) der weißen (a) und roten (b) Rebsorten im Spätfrostjahr 2011 mit den mittleren Erträgen der Jahre 2010, 2012, 2013 (ohne Spätfrost) (Datenquelle: anonym, Anbaugebiet „Pfalz“) (paarweise Vgl. mittels t-Test, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede)

Tabelle 29 a, b Mittlere Mostgewichte (Mean, °Oe); mittlere Standardabweichung (SD) und Anzahl Flächen (n) der weißen (a) und roten (b) Rebsorten in den Jahren 2010 bis 2013 (Datenquelle: anonym, Anbaugebiet „Pfalz“)

a	gefährdete Lagen				nicht gefährdete Lagen				teilgefährdete Lagen			
	2010	2011*	2012	2013	2010	2011*	2012	2013	2010	2011*	2012	2013
Mean	79,67	82,26	82,39	80,04	83,50	81,85	87,08	84,41	80,95	80,30	84,76	79,65
SD	7,43	7,75	7,21	9,98	6,37	7,15	7,61	6,93	7,22	6,74	8,52	9,20
n	27	25	27	27	38	38	38	44	34	34	36	42
P ≤ 0,5**												

b	gefährdete Lagen				nicht gefährdete Lagen				teilgefährdete Lagen			
	2010	2011*	2012	2013	2010	2011*	2012	2013	2010	2011*	2012	2013
Mean	80,42	82,50	82,47	76,60	80,73	80,68	87,18	79,22	78,97	78,96	85,62	78,27
SD	7,55	8,31	10,68	7,85	7,64	12,03	10,43	8,55	6,42	9,47	9,23	8,25
n	24	27	29	28	26	24	26	25	33	30	30	31
P ≤ 0,5**												

* mit Spätfrost, ** multiple Mittelwertvergleiche, mittels One Way ANOVA und anschließendem Dunn-Test (unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, a,b - innerhalb Jahr zwischen Gefährdungsklassen, A, B – innerhalb Gefährdungsklasse zwischen Jahren)

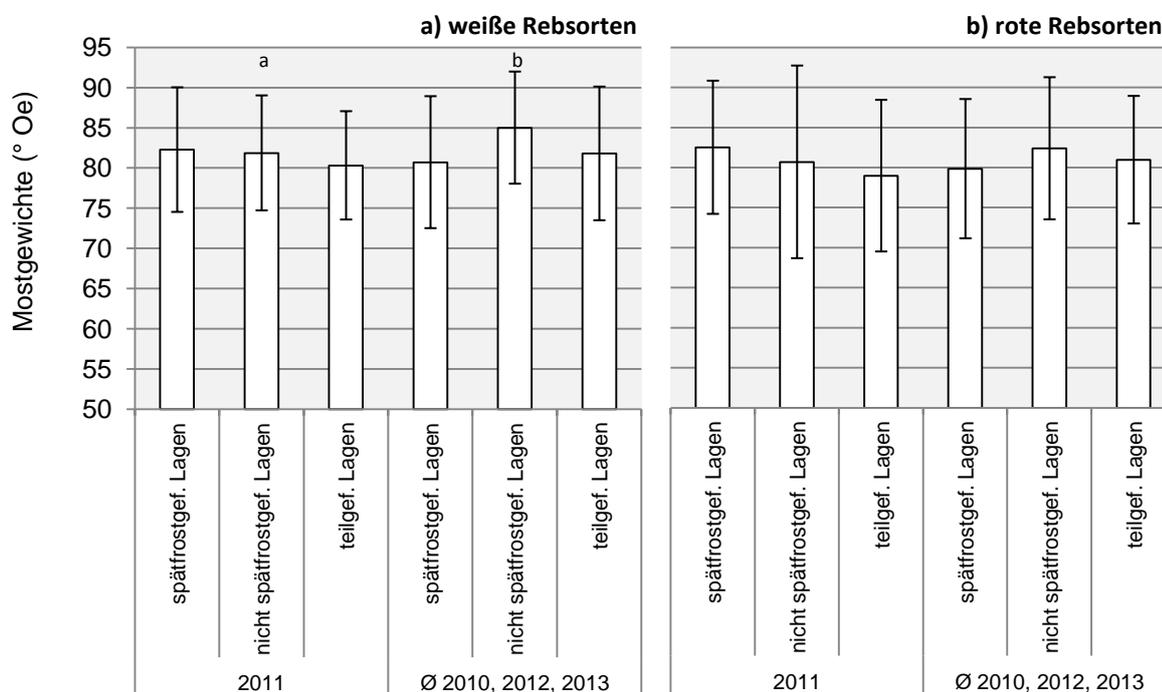


Abbildung 35 a, b Vergleich der mittleren Mostgewichte (°Oe) der weißen (a) und roten (b) Rebsorten im Spätfrostjahr 2011 mit den mittleren Mostgewichten der Jahre 2010, 2012, 2013 (ohne Spätfrost) (Datenquelle: anonym, Anbaugebiet „Pfalz“) (paarweise Vgl. mittels t-Test, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede)

Neben der Spätfrostgefährdung durch die Lage kann auch der sortenspezifische Austriebszeitpunkt Einfluss auf den Grad potentieller Spätfrostschäden haben. Dabei ist die Hypothese, dass ein früherer Austrieb die Spätfrostgefährdung erhöht. So wurden die Sorten, wie in Kapitel 2.4.2 beschrieben, in früh, früh-mittel, mittel, mittel-spät und spät austreibenden Sorten kategorisiert und der Einfluss dieser Eigenschaft auf den Grad der Spätfrostschäden analysiert. Dabei wurde zusätzlich betrachtet, in welchem Ausmaß die Spätfrostgefährdung der Lagen diese Schäden beeinflusst.

In Abbildung 36 wird ersichtlich, dass früh bis mittel austreibende weiße Rebsorten auf gefährdeten Lagen die größten Spätfrostschäden erfahren können und im Mittel 30 bis 40% Ertragsverluste gegenüber dem mittleren Ertrag aufweisen, was deutlich über dem durchschnittlichen Ertragsverlust aller Austriebsklassen der Weißweinsorten (- 27%) liegt. Auch hier sei noch einmal darauf hingewiesen, dass das hohe Ertragsniveau des Jahres 2011 zu noch höheren Verlusten geführt haben kann. Allerdings verdeutlicht die Abbildung 36 auch, dass früh, früh-mittel und mittel-spät austreibende weiße Rebsorten in nur geringem Umfang, spät austreibende gar nicht, angebaut werden. So sind die gewonnenen Ergebnisse nur in der Lage, erste Hinweise zu liefern. Ein größerer Stichprobenumfang ist unabdingbar, um aussagefähige, statistische Analysen durchzuführen. Im Jahr 2011 war der Austrieb Anfang April sehr früh, so dass bis zum Auftreten des Frostereignisses am 4. Mai alle Sorten ausgetrieben hatten. In einem Jahr mit späteren Austrieb ist tendenziell mit größeren Unterschieden zwischen den Sorten zu rechnen.

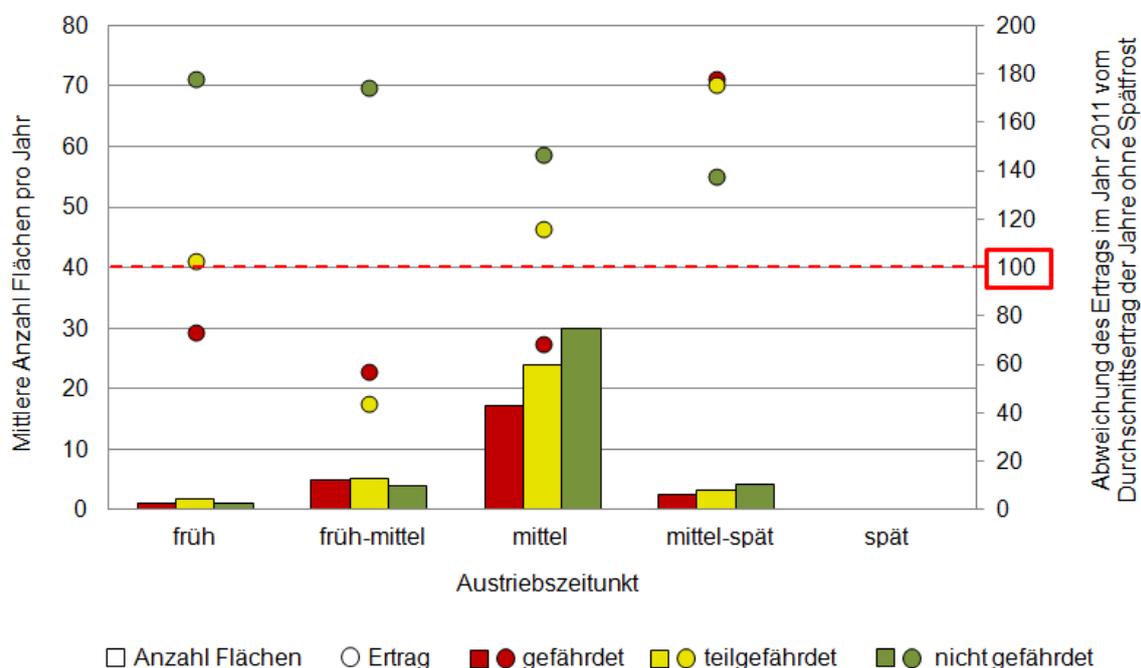


Abbildung 36 Einfluss des Austriebszeitpunktes und des Spätfrosttrisikos der Lagen auf das Ausmaß der Ertragseinbußen durch Spätfrost im April 2011 in weißen Rebsorten (Datenquelle: anonym, Anbaugebiet „Pfalz“)

Die gleiche Auswertung erfolgte für die roten Rebsorten (Abb. 37). Das angebaute Sortenspektrum des betrachteten Anbaugebietes umfasste keine früh austreibenden roten Rebsorten. Früh-mittel und mittel austreibende rote Sorten dominierten den Anbau in dem

betrachteten Gebiet. Für die roten Rebsorten zeigte sich, dass der Anbau auf gefährdeten Lagen - unabhängig von der Austriebsklasse - immer zu deutlichen Mindererträgen durch den Spätfrost führte. Es ist allenfalls eine leichte Tendenz für geringere Schäden bei später austreibenden Rebsorten zu erkennen. Auch hier können die Analysen auf Grund des zum Teil geringen Stichprobenumfanges nur erste Hinweise und vor allem eine Anregung für weitere Analysen geben. Eine größere Datenmenge und statistische Auswertverfahren würden zeigen, ob diese Tendenz bestätigt werden kann und um wie viel das Schadpotential in Abhängigkeit der Sorteneigenschaften schwankt. In Anhang xy sind die Ergebnisse dieses Auswertverfahrens für die Mostgewichte dargestellt. Hier spiegeln sich die Ergebnisse der allgemeinen Mostgewichtsanalysen wieder. Klare Einflüsse des Austriebszeitpunktes auf die Mostgewichte sind von der verfügbaren Datenbasis nicht ableitbar.

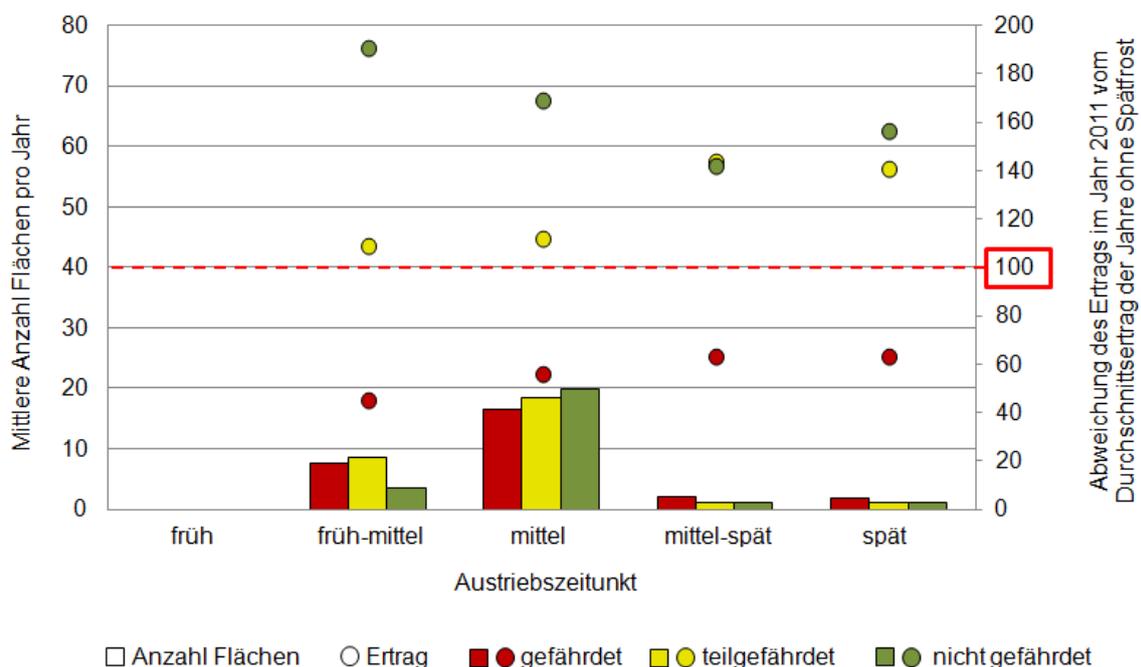


Abbildung 37 Einfluss des Austriebszeitpunktes und des Spätfrosttrisikos der Lagen auf das Ausmaß der Ertragseinbußen durch Spätfrost im April 2011 in roten Rebsorten (Datenquelle: anonym, Anbaugebiet „Pfalz“)

3.1.4.3 Hopfenbau

Die Auswertung der durch den Hopfenring e.V. zur Verfügung gestellten Ertragsdaten für das Anbaugebiet „Hallertau“ der Jahre 2006 bis 2013 erfolgte exemplarisch anhand der vier dort bedeutendsten Hopfensorten „Hallertauer Magnum“, „Hallertauer Tradition“, „Perle“ und „Hallertauer Mittelfröh“ (Abb. 38). Dabei ist zu erwähnen, dass pro Sorte und Jahr jeweils ein Durchschnittswert pro Herkunftsbezirk (insgesamt n=14 Herkunftsbezirke) zur Verfügung stand und so leider keine statistische Auswertung in Hinblick auf jahresspezifische Unterschiede in den Erträgen innerhalb eines Herkunftsbezirkes möglich war. Die Auswertung der Erträge dieser vier Sorten in den 14 Herkunftsbezirken (Abb. 38) zeigte dennoch, insbesondere in den Jahren 2006, 2009 und 2013, eine starke, negative Abweichung vom mittleren Ertrag der Sorten.

In 2006 waren davon vor allem die Sorten „Hallertauer Tradition“ und „Perle“ in den Herkunftsbezirken „Hersbruck“, „Pfeffenhausen“ und Au i.d. Hallertau“ betroffen. Eine

Recherche in den Jahresberichten Hopfen der LfL Bayern, genauer der Rückschau auf den Witterungsverlauf des Jahres 2006, ergab, dass in diesem Jahr zunächst ein feuchtes Frühjahr Pflanzenschutzmaßnahmen behinderte. In den Monaten März bis Juni fielen jeweils > 100mm Niederschlag pro m² und Monat, was das bis zu doppelte der langjährigen Niederschlagsmengen darstellte. Im Juli wurden Rekordtemperaturen (T_{mean} ca. + 4 °C, T_{max} + 6 °C vgl. langjähriges Mittel) und ausgesprochen hohe Trockenheit (ca. - 50% vgl. langjähriges Mittel) festgestellt, was zu bis zu 40%igen Ertragsausfällen führte (LfL Bayern Hopfenjahresbericht 2006). Hinzu kam im August großflächiger Hagel und erzeugte partiell weitere Verluste. In 2009 zeigten sich über alle Sorten bis zu 85%ige Ertragseinbußen. Besonders betroffen waren in diesem Jahr die Herkunftsbezirke „Au i.d. Hallertau“, „Nandlstadt“ und „Pfaffenhofen“. Laut LfL Jahresberichten für 2009 war starker Hagel Ende Mai dafür ursächlich. Im Juni folgten darauf hohe Niederschläge (ca. + 10 – 20% vgl. langjähriges Mittel), woraus ein besonders hoher Peronosporabefall resultierte, der durch die vorherigen Hagelschädigungen besonders gefördert wurde (LfL Bayern 2009). Das dritte Jahr mit auffälligen Mindererträgen war 2013. Außer „Hallertauer Magnum“ zeigte alle betrachteten Sorten in fast allen Herkunftsbezirken Mindererträge teilweise über 40%. In 2013 führte ein langer Winter zu einem späten Austrieb und eine kurze Periode Zeit für die notwendigen Frühjahrsarbeiten. Im Mai und Juni sorgten hohe Regenmengen (ca. + 50 – 70% vgl. langjähriges Mittel) für Wachstumsverzögerungen, vernässte Böden und Überschwemmungen in Tallagen (LfL Bayern 2013). Gegen Mitte bis Ende Juni kam es zu zusätzlichen Hagelschäden. Dieses Jahr war somit ein gutes Beispiel für das Aufsummieren mehrerer, in sich schädigender, Extremwetterlagen. Am häufigsten zeigten sich im betrachteten Zeitraum von 2006 bis 2013 in den Herkunftsbezirken „Hersbruck“ und „Pfeffenhausen“ unterdurchschnittliche Erträge.

Eine exemplarische Analyse einiger standortspezifischer Charakteristika auf den Hopfenflächen dieser beiden Gemeinden „Pfeffenhausen“ und „Hersbruck“ (Abb. 39) zeigt, dass die dominierenden Bodenarten in diesen deutlich von den mittleren Bodenartenanteilen des restlichen Anbaugebietes „Hallertau“ abweichen (Abb. 39 und Tab. 30). Bodenarten zeichnen sich zum Beispiel durch zum Teil sehr unterschiedliche Wasserhaltevermögen oder eine unterschiedliche Verfügbarkeit von Nährstoffen, zum Beispiel beeinflusst durch den Anteil von Tonmineralen, aus. In Tabelle 31 zeigt sich des Weiteren, dass in den beiden Gemeinden auch die mittlere Hangneigung der Hopfenflächen unterdurchschnittlich ist. Auch das könnte einen Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit von Schäden durch Extremwetterlagen haben. Auf ebeneren Flächen kann zum Beispiel die Gefahr von Staunässe erhöht sein oder die Erwärmung und Abtrocknung verlangsamt, was sich in Hinblick auf mikroklimatische Verhältnisse und damit das Potential pilzlicher Infektionen negativ auswirken kann. Genauere, statistische Analysen – basierend auf genügend Daten - könnten zeigen, ob und wie standortspezifische Charakteristika einen Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit von Mindererträgen durch Extremwetterlagen haben.

In Abbildung 40 sind die in den Jahren 2000 bis 2012 erreichten durchschnittlichen Alphasäuregehalte der vier oben genannten Sorten für die „Hallertau“ dargestellt (Quelle: LfL Bayern). Leider kann auf Basis dieser Übersicht nur den oben ausgewerteten, ertragsschwachen Jahren 2006 und 2009 der durchschnittliche Alphasäuregehalt zugeordnet werden. Trotz teilweise starker Ertragsverluste sind diese Jahre in Hinblick auf

die Qualität (Gehalt Alphasäuren) nicht auffällig und zeigen keine starke Abweichung vom sortentypischen Mittelwert. Bei Betrachtung der Abbildung 39 fällt aber das Jahr 2003 mit unterdurchschnittlichen Alphasäuregehalten ins Auge. Laut LfL Bayern Hopfenjahresbericht für das Jahr 2003, lagen in den Monaten März bis August die Niederschläge deutlich unter und die Durchschnittstemperaturen deutlich über dem 10-jährigen Durchschnitt von 1993-2002. Bei der Betrachtung dieser Monate sticht besonders der Juni heraus, hier lagen die Temperaturen des Jahres 2003 im Durchschnitt um + 5,4 °C über und die Niederschläge um über 60 mm unter dem 10-jährigen Mittel (LfL Bayern 2003).

Abschließend kann festgehalten werden, dass das Ausmaß der Ertragseinbußen stark sorten- und standortabhängig war bzw. ist und dass die endgültigen Ertragseinbußen oft die Folge mehrerer Extreme zu sein scheinen. Des Weiteren scheinen die Schäden in vielen Fällen eine Kombination aus direkten abiotischen Schäden und biotischen Folgeschäden zu sein. Auf Basis der vorliegenden Daten ist die Zuordnung des extremwetterlagenspezifischen Ertragseinflusses bzw. die Quantifizierung des Einflusses der biotischen Folgeinfektionen schwierig bis unmöglich. Dazu fehlen Einzeldaten auf Flächenebene, die derzeit nicht vorliegen. Nur so lassen sich statistische Zusammenhänge ableiten.

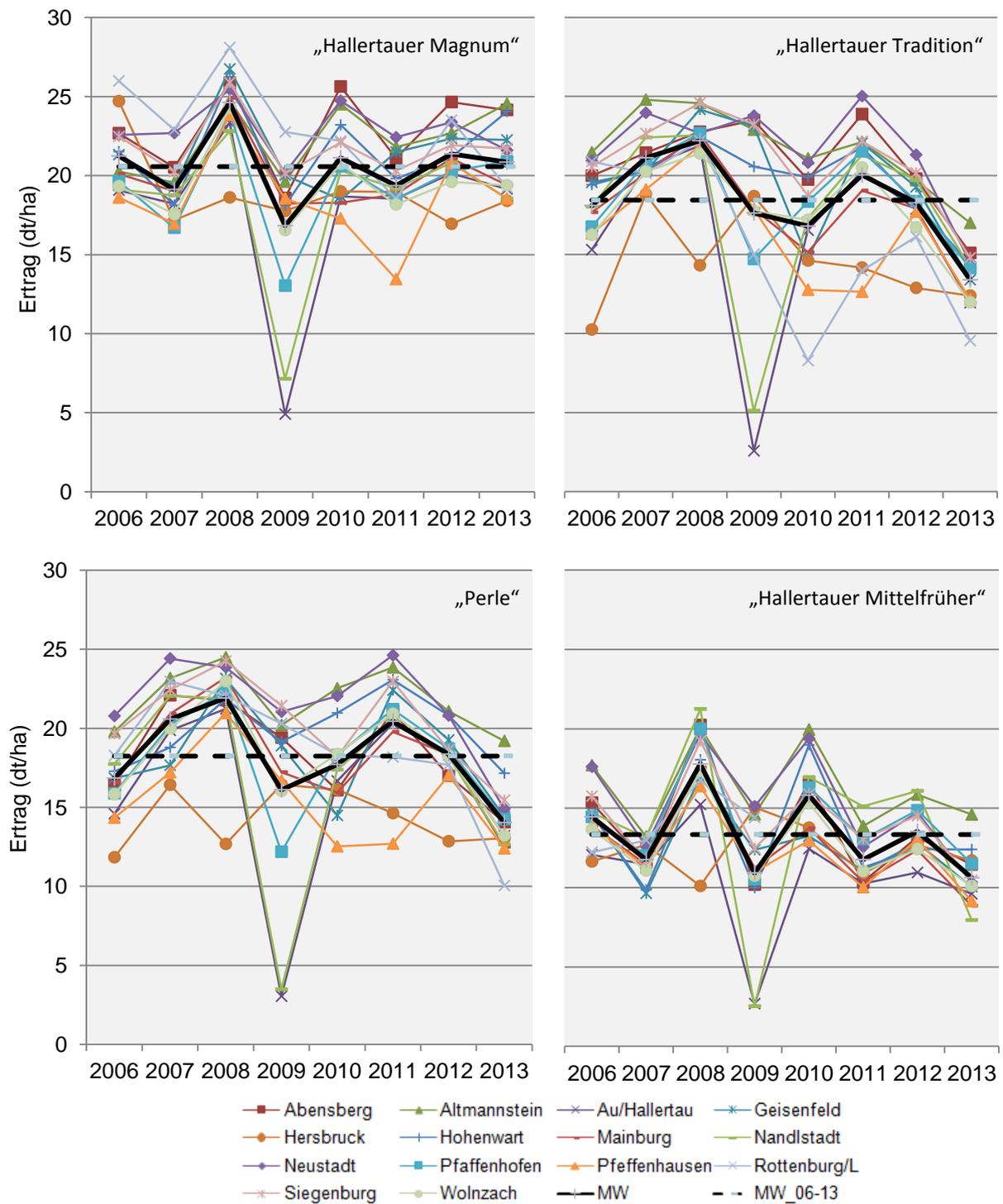


Abbildung 38 Erträge (dt/ha) der Hopfensorten „Hallertauer Magnum“, „Hallertauer Tradition“, „Perle“ und „Hallertauer Mittelfrüh“ in den Jahren 2006 bis 2013 in den 14 Herkunftsbezirken des Anbaugebietes „Hallertau“ (Datenquelle: Hopfenring e.V., Anbaugebiet „Hallertau“)

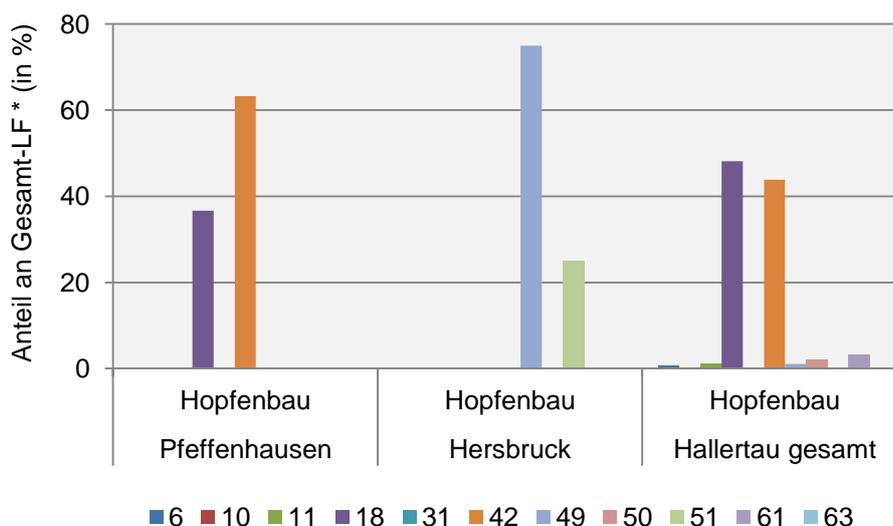


Abbildung 39 Bodenartenanteile (Codierung siehe Tab. 30) auf Hopfenflächen der Gemeinden „Pfeffenhausen“ und „Hersbruck“ im Vergleich zu den Hopfenflächen des restlichen Anbaugebietes „Hallertau“ (Datenquelle: ATKIS Basis DLM 2004, Bundesamt für Kartographie und Geodäsie)

Tabelle 30 Codierung der in Abbildung 41 aufgeführten Bodenarten (Datenquelle: BÜK1000, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe)

Bodenart Nr.	Beschreibung
6	Niedermoorboden
10	Auenboden/Gley aus sandigen bis lehmigen Flußsedimenten
11	Auenboden/Gley aus sandigen bis tonigen Flußsedimenten in kleinflächigem Wechsel
18	Braunerde/Parabraunerde / Pararendzina aus lößvermischten Tertiärablagerungen
31	Braunerde-Podsol/Podsol-Braunerde aus trockenen, nährstoffarmen Sanden
42	Parabraunerde Fahlerd/Pseudogley aus Löß oder Lößlehm über verschiedenen Gesteinen
49	Rendzina/Braunerde-Rendzina/Pararendzina aus Hangschutt über Kalk-,Mergel- und Dolomitgesteinen
50	Braunerde/Terra fusca aus Umlagerungsprodukten der Kalk-,Mergel- und Dolomitstein-Verwitterung
51	Pelosol-Braunerde/Pelosol-Pseudogley aus Verwitterungsprodukten von Mergel- und Tongesteinen
61	Podsolige Braunerde aus basenarmen quarzitischen Sandsteinen und Konglomeraten
63	Braunerde-Podsol / Podsol aus basenarmen Sandsteinen und Quarziten

Tabelle 31 Mittlere (Mean), minimale (Min), maximale (Max) Hangneigung (%) und Standardabweichung (SD) auf Hopfenflächen der Gemeinden „Pfeffenhausen“ und „Hersbruck“ im Vergleich zu den Hopfenflächen des restlichen Anbaugebietes „Hallertau“ (Datenquelle: DGM2, Bundesamt für Kartographie und Geodäsie)

	Pfeffenhausen	Hersbruck	Hallertau gesamt
Mean	4,8	5,4	30,7
Min	0,0	2,4	6,0
Max	14,7	10,0	63,0
SD	2,8	3,6	13,5

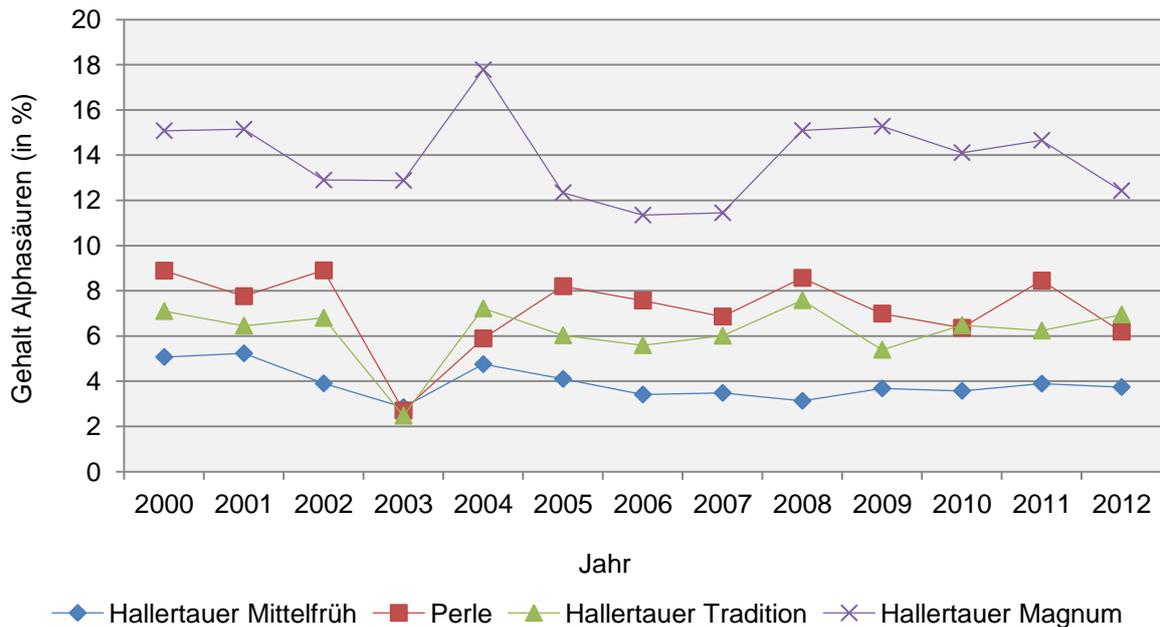


Abbildung 40 Durchschnittlicher Alphasäuregehalt (%) der Hopfensorten „Hallertauer Mittelfrüh“, „Perle“, „Hallertauer Tradition“ und „Hallertauer Magnum“ in den Jahren 2000 bis 2012 am Standort Hüll (Anbaugebiet Hallertau) (Datenquelle: LfL Bayern, Hüll)

Den in Kapitel 3.1.1.1 (Abb. 8) ersichtlichen Trend zu einem verzögerten Erreichen der Entwicklungsstadien der Sorte „Hall. Tradition“ am Standort Hüll (Hallertau) sehen die Experten der LfL Bayern darin begründet, dass der Juni in den letzten Jahren zumeist kalt und regnerisch war. Dadurch werden das Wachstum und die Blüte zumeist eingebremst. Auch bei „Perle“ lässt sich dieser Trend hin zu einer Entwicklungsverzögerung erkennen. Anders ist es dagegen bei „Hall. Mittelfrüh“ und „Hall. Magnum“. Diese beiden Sorten neigen zu Frühblüte. Dadurch kommt der „Junieffekt“ nicht so zum Tragen wie bei „Hall. Tradition“ oder „Perle“. Diese Verzögerung hat eine längere Entwicklungsdauer zur Folge und führt zu einer späteren Ernte, was sich positiv auf den Ertrag und die Alphasäuregehalte auswirkt. Durch die spätere Ernte ist auch der Trend zu steigenden Erträgen und Alphasäuregehalten, wie in Abbildung 41 für die Sorte „Hall. Tradition“ zu erkennen, im Verlauf der letzten Jahre erklärbar.

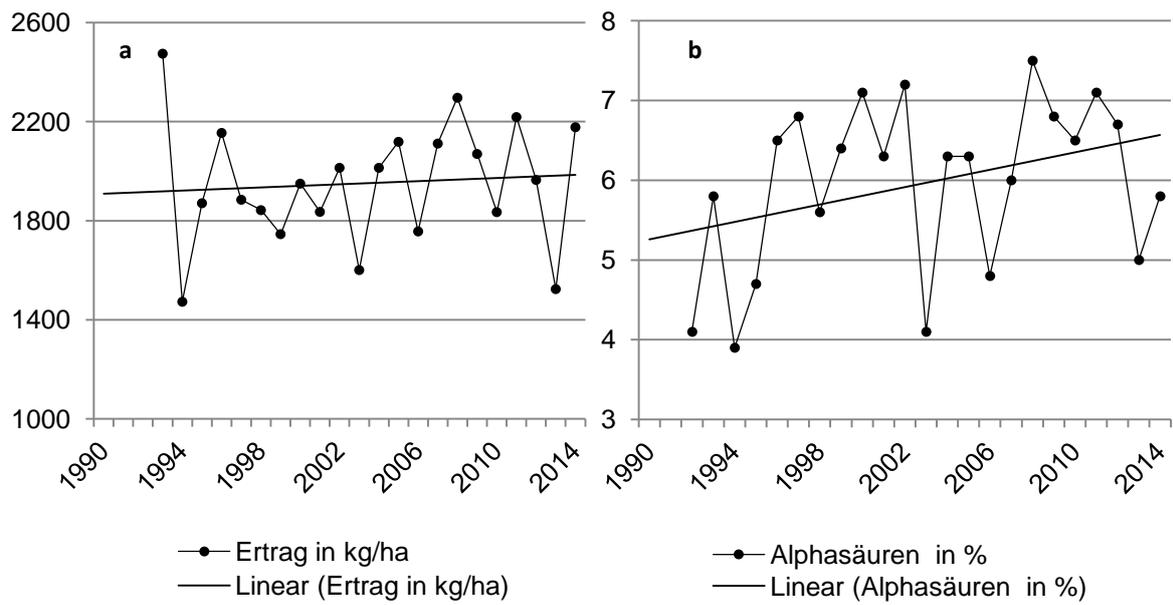


Abbildung 41 a, b Mittlere Erträge (kg/ha) (a), Alphasäuregehalte (%) (b) und Trend (linear) der Sorte „Hallertauer Tradition“ in der „Hallertau“ in den Jahren 1992 bis 2014 (Quelle: Ertragsschätzungen LfL Bayern)

3.1.5 Anpassungsoptionen

3.1.5.1 Dauerkulturen

In der nachfolgenden Tabelle 32 sind Maßnahmen zur direkten und indirekten Vorbeugung und Abwehr von Extremwetterschädigungen bzw. der Minimierung der finanziellen Verluste im Dauerkulturanbau sowie deren Vor- und Nachteile (Pro & Contra) zusammengetragen.

Tabelle 32 Maßnahmen zur Vorbeugung und Abwehr von Extremwetterschäden bzw. Minimierung der finanziellen Verluste im Dauerkulturanbau und deren Vor- (Pro) und Nachteile (Contra)

Maßnahmen zur Vorbeugung und Abwehr von Hagelschäden				
	Erläuterungen	Pro	Contra	Quellen
1. Hagelversicherung	<ul style="list-style-type: none"> - Versicherung zahlt die Minderung der Ernte durch den Hagelschlag - per Gutachten wird das Schadausmaß bestimmt - Höhe der Versicherungsprämien regional verschieden 	<ul style="list-style-type: none"> - kein zusätzlicher Arbeitsaufwand - universell „einsetzbar“ - Ausgleich Erlöseinbußen (Höhe je nach Prämie und Schadausmaß) 	<ul style="list-style-type: none"> - kostenintensiv - keine Minderung bzw. Verhinderung der direkten Schäden und Verluste → negative Folgen hinsichtlich Kundenbindung und Folgeschäden an den Pflanzen möglich 	3-6, 19
2. Hagelnetze	<ul style="list-style-type: none"> - direkte Hagelabwehr durch das Anbringen von Hagelnetzen über dem Kulturpflanzenbestand 	<ul style="list-style-type: none"> - hoher Wirkungsgrad - Zusatznutzen durch Vogelabwehr - direktes Schadensreduktionspotential bis zu 100 % (je nach Größe und Intensität der Hagelereignisse) 	<ul style="list-style-type: none"> - kostenintensiv (ca. 14000-20000 EUR/ha) - herabgesetzte Lichtdurchlässigkeit kann Ausfärbung bzw. Ausreife der Früchte negativ beeinflussen - negative Veränderung hinsichtlich des Mikroklimas möglich - kaum flächendeckender Einsatz möglich - negative ökologische Auswirkungen (z.B. auf Biodiversität) möglich 	1, 3-6, 14

Maßnahmen zur Vorbeugung und Abwehr von Hagelschäden				
	Erläuterungen	Pro	Contra	Quellen
3. Hagelflieger	<ul style="list-style-type: none"> - „Beimpfen“ der Wolken mit Silberjodid - Einbringen zusätzlicher Kristallisationskeime - Bildung von mehr aber kleineren Hagelkörnern, die bis zum Auftreffen am Boden geschmolzen sind oder geringe Schäden verursachen - meist gemeinschaftliche Organisation und Kostenübernahmen in Form von Vereinen (z.B. Hagelabwehr im Rems-Murr-Kreis gibt seit 1980; Verein zur Hagelabwehr Vorder- und Südpfalz) 	<ul style="list-style-type: none"> - gute Kosten-Nutzen-Relation (Vereine) - keine maschinengebundenen Fixkosten (bis auf Mitgliedsbeiträge) - direktes Schadensreduktionspotential 40 bis 60 % 	<ul style="list-style-type: none"> - Wirksamkeit umstritten - Verschiebung des Hagels auf Nachbargebiete möglich/fraglich - genaue Wetterbeobachtungen unumgänglich, um gezielten Einsatz zu planen - Abhängigkeit von „Dritten“ (Pilot, Verein, Anbieter, Behörden) 	1, 3-6, 8, 14
4. Kultur-technische Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> - Laubwandgestaltung (mehr Laub als Schutz) - Rückschnitt geschädigten Materials (Vermeidung Folgeinfektionen) - gestaffelte Lese im Weinbau - spätere Ernte im Hopfenbau - Umerziehung nicht geschädigter Seitentriebe zu Leittrieben - angepasste Pflanzenschutzstrategien zur Minderung von Folgeinfektionen 	<ul style="list-style-type: none"> - Maßnahmen relativ flexibel einsetzbar - guter Wirkungsgrad insbesondere in Hinblick auf die Minimierung von Folgeinfektionen 	<ul style="list-style-type: none"> - Qualitätseinbußen möglich - zusätzlicher Arbeitsaufwand und -kosten - je nach Sorte und Produktionsziel Verfahren unterschiedlich gut geeignet - hoher Managementanspruch 	1, 3-6, 8, 10, 12, 16, 14
5. Standort – und Sortenwahl, Anlagengestaltung	<ul style="list-style-type: none"> - Zeilenausrichtung (nicht quer zur Hauptwindrichtung) - Wahl robusterer Erziehungsvarianten (z.B. extensivere Verfahren wie Minimalschnitt im Weinbau) 	<ul style="list-style-type: none"> - bei extensiven Verfahren (z.B. Minimalschnitt) zusätzlich verringerte Lohn- und Betriebsmittelkosten 	<ul style="list-style-type: none"> - Qualitätseinbußen möglich - Zeilenausrichtung von Standortbedingungen und Bewirtschaftbarkeit abhängig - je nach Sorte und Produktionsziel Verfahren unterschiedlich gut geeignet 	1, 3-6, 8, 12, 14, 16

Maßnahmen zur Vorbeugung und Abwehr von Spätfrostschäden				
	Erläuterungen	Pro	Contra	Quellen
1. Standort – und Sortenwahl, Anlagengestaltung	<ul style="list-style-type: none"> - Meidung von Frostlagen (z.B. Tallagen, Senken) - an den Standort angepasste Sortenwahl (Austriebs- und Blütezeitpunkt, Winterfestigkeit) - Entfernung von Hindernissen die die Kaltluftabfluss verhindern können - bergseitige Schutzpflanzungen - Wahl weniger frostgefährdeter Erziehungsformen (z.B. Hochstämme) 	<ul style="list-style-type: none"> - guter Wirkungsgrad - zum Teil ohne hohe zusätzliche Investitionskosten (z.B. Anschaffung spezieller Geräte) realisierbar 	<ul style="list-style-type: none"> - Erträge und Qualitäten können unter der Wahl angepasster Sorten und Anlagengestaltung leiden - Flexibilität in der Auswahl einer Lage oder Sorte nicht immer gegeben - zum Teil hoher Arbeitsaufwand in Verbindung mit entsprechend hohen Kosten 	1, 3-6, 8, 9, 12, 13, 16, 18
2. Frostberegnung	<ul style="list-style-type: none"> - Nutzung der Erstarrungswärme bei Umwandlung von Wasser zu Eis - Abwehr von Frösten bis - 6 °C - Totalbedeckungs- oder Reihenbewässerungssystem 	<ul style="list-style-type: none"> - guter Wirkungsgrad - zusätzliche Nutzung zur Bewässerung möglich 	<ul style="list-style-type: none"> - hoher Wasser- und Energieverbrauch (ca. 100000 L/Nacht und ha, ca. 900 EUR/ha und Jahr) - Bereitstellung Wasservorrat nötig - hohe Wartungskosten - Abknicken langer Triebe oder ganzer Zeilen möglich (Eislast) - Gefahr der Vernässung von Böden 	1, 3-6, 8, 12, 16, 18
3. Durchmischung kalter und warmer Luftschichten (Windräder- und maschinen, Helikopter)	<p>Windräder/-maschinen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - warme Luft wird aus Höhe nach unten gewirbelt und kalte Luft aus Senken heraus gewirbelt (z.B. Wasser- und Bodenverband Duttweiler, Pfalz) - Abdeckung: 5 ha pro Windrad - ca. 30000 EUR pro Windrad - ca. 750 EUR pro Jahr und ha (20 a) <p>Helikopter:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Durchmischung von Luftschichten (Temperatenausgleich) - Abdeckung von 10 – 20 ha pro Helikopter 	<ul style="list-style-type: none"> - flexibel einsetzbar - zeitgenaue Bereitstellung (Helikopter nur bedingt, da Genehmigung Nachtflug nötig) - guter Wirkungsgrad 	<ul style="list-style-type: none"> - hoher Investitionsbedarf, Kraftstoffverbrauch (insbesondere Windmaschinen) und hohe Fixkosten - genehmigungspflichtig (z.B. Nachtflug) - Lärmbelästigung möglich - Wirkungsgrad stark vom Standort beeinflusst (z.B. Windmaschinen in Senken geringerer Wirkungsgrad) 	1, 3-6, 8, 9, 12, 15, 16, 18

Maßnahmen zur Vorbeugung und Abwehr von Spätfrostschäden				
	Erläuterungen	Pro	Contra	Quellen
4. Kultur-technische Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> - Boden nicht kurz vor Eisheiligen lockern (Wärmenachschub) - Unkraut und Begrünung beseitigen (Bewuchs erhöht Frostgefahr) - in Übergangslagen extensive, weniger empfindliche Erziehungssysteme (z.B. Minimalschnitt Weinbau) - Biegen erst nach Eisheiligen (Weinbau) - Frostreserven (-triebe, -ruten) belassen - Austriebsverzögerung (z.B. durch „double pruning“ im Weinbau) oder Öle bzw. eine helle Abdeckung des Bodens, der die Wärme rückstrahlt 	<ul style="list-style-type: none"> - extensivere Erziehungssysteme (z.B. Minimalschnitt) gehen mit geringeren Lohn- und Betriebsmittelkosten einher und sind auch ggü. anderen Extremwetterlagen von Vorteil (z.B. Hagel) Double pruning: <ul style="list-style-type: none"> - kann den Austrieb um bis zu 30 d verzögern Pflanzenöle: <ul style="list-style-type: none"> - einfache und günstige Möglichkeit - Austriebverzögerung in Versuchen um bis zu 20 d 	<ul style="list-style-type: none"> - qualitative Einbußen möglich - zusätzliche Arbeitsgänge und -kosten - hoher Managementanspruch Double pruning: <ul style="list-style-type: none"> - noch nicht praxistauglich, da die Reifeverzögerung zu stark Pflanzenöle: <ul style="list-style-type: none"> - Methode muss noch weiter erforscht und optimiert werden 	1, 3-6, 7, 8, 9, 12, 13, 16, 17, 18
5. Direkte Lufterwärmung (Frostkerzen, Heizdrähte, Frostbuster)	<p>Frostkerzen (Stoppel):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Abbrennen von 200-350 Paraffinkerzen pro ha erwärmt die Luft (nicht überall zugelassen) <p>Heizdrähte:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Heizdrähten werden um den Stamm und/oder den Kordon/die Bogebe gewickelt - Wärme wird durch Oberflächenkontakt auf die Rebe übertragen und per Saftstrom in Triebe und Blätter geleitet - Frostschutz bis zu – 6 °C <p>Frostbuster:</p> <ul style="list-style-type: none"> - fahrbare Gasturbine erhitzt Luft - alle 10 min muss selbe Stelle „behandelt“ werden 	<ul style="list-style-type: none"> - guter Wirkungsgrad 	<ul style="list-style-type: none"> - sehr hohe Kosten (Frostkerzen bis 2400 EUR pro ha und Frostnacht) - für Heizdrähte muss eine elektrische Anschlussleistung von circa 90 kW/ha gewährleistet werden (v.a. auf ortsnahen Lagen realisierbar) - hoher Arbeitsaufwand und zusätzliche Lohnkosten (Frostkerzen ausbringen und Frostbuster durch den Bestand fahren) - Frostkerzen nicht überall zugelassen - geringer Abdeckungsgrad (nur auf kleineren Flächen praktikabel) 	3, 4, 6, 15, 17

Maßnahmen zur Vorbeugung und Abwehr von Spätfrostschäden				
	Erläuterungen	Pro	Contra	Quellen
6. Frostversicherung (Weinbau)	- Absicherung finanzieller Verluste durch Fröste (Starkfröste) die nach dem 1. Mai Blütenschäden hervorrufen können	- kein zusätzlicher Arbeitsaufwand - universell „einsetzbar“ - Ausgleich Erlöseinbußen (Höhe je nach Prämie und Schadausmaß)	- kostenintensiv - keine Minderung bzw. Verhinderung der direkten Schäden und Verluste → negative Folgen hinsichtlich Kundenbindung und Folgeschäden an den Pflanzen möglich	15, 19

Maßnahmen zur Vorbeugung und Abwehr von Trocken –, Dürre-, Strahlungs- und Hitzeschäden				
	Erläuterungen	Pro	Contra	Quellen
1. Bewässerung (Trocken- und Hitzestress)	<ul style="list-style-type: none"> - Ausgleich Wasserdefizite bei Trockenstress - Nutzung Kühlungseffekt bei Hitzestress <p>Kurzfristig:</p> <ul style="list-style-type: none"> - flexible (Tropf-) Bewässerung <p>Langfristig:</p> <ul style="list-style-type: none"> - stationäre Bewässerungsanlagen mit Tropfschläuchen 	<ul style="list-style-type: none"> - hoher Wirkungsgrad - zusätzliche Nutzung zur Frostberegnung möglich - ständige Verfügbarkeit (wenn Bereitstellung Wasser gesichert) 	<ul style="list-style-type: none"> - hohe Investitions- und Betriebskosten - Verfügbarkeit hoher Wassermengen notwendig - Erosion und Förderung von Pilzkrankheiten möglich - Gefahr der Versalzung der Böden - gesetzliche Beschränkungen 	2, 3-6
2a. Kulturtechnische Maßnahmen (Trockenstress, Hitze)	<p>Kurzfristig:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Erträge und Blattfläche reduzieren (Assimilationsleistung senken) - Blattdüngung (Nährstoffzufuhr gewährleisten) - flache Bodenbearbeitung - Begrünung kurzhalten (Wasserkonkurrenz minimieren) - Bodenbedeckung (z.B. Stroh) <p>Langfristig:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tiefenlockerung (Durchwurzelbarkeit erhöhen) - Verbesserung Bodenstruktur (Humus, Kalk) - standortangepasstes Bodenpflegesystem (Offenhaltung, Begrünungsmanagement, Mulchsaat, Zwischenfrüchte) 	<ul style="list-style-type: none"> - guter Wirkungsgrad - relativ flexibel einsetzbar 	<ul style="list-style-type: none"> - qualitative Einbußen möglich - zusätzliche Arbeitsgänge und -kosten - hoher Managementanspruch 	2, 3-6, 8, 11, 14

Maßnahmen zur Vorbeugung und Abwehr von Trocken-, Dürre-, Strahlungs- und Hitzeschäden				
	Erläuterungen	Pro	Contra	Quellen
2b. kulturtechnische Maßnahmen (Strahlung)	Schutz vor Sonnenbrand (Strahlung): - Härtung der Beerenhaut durch frühzeitiges Entblättern der Traubenzone - Nur sonnenabgewandte Seite entblättern - Sortenwahl - mehr Decklaub stehen lassen (z.B. auch Minimalschnitt) - Zeilenausrichtung nach Nord/Süd	siehe 2a	siehe 2a	siehe 2a
3. Standort – und Sortenwahl, Anlagengestaltung (Trockenstress)	- Wahl von Standorten mit genügendem Wasserhaltevermögen - Wahl von Standorten mit Bewässerungsmöglichkeiten - Standraum reduzieren, um tiefere Durchwurzelung zu erzielen - Wahl trockenoleranter Unterlagen und Sorten	- guter Wirkungsgrad - zum Teil ohne hohe, zusätzliche Investitionskosten (z.B. Anschaffung spezieller Geräte) realisierbar	- Erträge und Qualitäten können unter der Wahl angepasster Sorten und Anbauverfahren leiden - Flexibilität in der Auswahl einer Lage oder Sorte nicht immer gegeben - zum Teil hoher Arbeitsaufwand in Verbindung mit entsprechend hohen Kosten	2,3-6, 8, 11

Maßnahmen zur Vorbeugung und Abwehr von Nässeschäden (Dauer- und Starkregen, Staunässe)				
	Erläuterungen	Pro	Contra	Quellen
1. Standort – und Sortenwahl, Anlagengestaltung	<ul style="list-style-type: none"> - Meidung von Standorten mit stauenden Bodenschichten (z.B. Lehmschichten) - zur Erosionsvermeidung Anlage der Reihen quer zum Hang bzw. Unterbrechung z.B. mit Grünstreifen - Wahl wenig empfindlicher Sorten- und Unterlagen (staunässeempfindliche oder krankheitsanfällige Sorten vermeiden) - Anlegen von Drainagesystemen 	<ul style="list-style-type: none"> - guter Wirkungsgrad - zum Teil ohne hohe, zusätzliche Investitionskosten durch z.B. die Anschaffung spezieller Geräte (z.B. Sortenwahl) realisierbar 	<ul style="list-style-type: none"> - Erträge und Qualitäten können unter der Wahl angepasster Sorten und Anbauverfahren leiden - Flexibilität in der Auswahl einer Lage oder Sorte nicht immer gegeben (Vermarktungsfähigkeit) - zum Teil hoher Arbeitsaufwand in Verbindung mit entsprechend hohen Kosten - zum Teil nur auf kleinen oder Teilflächen praktikabel (z.B. Drainage) 	1, 3-6, 8, 12
2. Kulturtechnische Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> - Bodenabdeckung bzw. Begrünung (v.a. in Steillagen) zur Minderung des Erosionsrisikos - Wasserinfiltration erhöhen (z.B. durch angepasste Bodenbearbeitung, Verdichtung minimieren) - Schaffung eines guten Mikroklimas (Senkung Infektionswahrscheinlichkeit z.B. ausreichende Belüftung durch Entblätterung und Erziehungsform) 	<ul style="list-style-type: none"> - guter Wirkungsgrad - relativ flexibel einsetzbar 	<ul style="list-style-type: none"> - qualitative Einbußen möglich - zusätzliche Arbeitsgänge - hoher Managementanspruch 	3-6, 8
3. Versicherung (Kernobst)	<ul style="list-style-type: none"> - Versicherung zahlt die Minderung der Ernte durch Starkregen - Höhe der Versicherungsprämien regional verschieden 	<ul style="list-style-type: none"> - kein zusätzlicher Arbeitsaufwand - universell „einsetzbar“ - Ausgleich Erlöseinbußen (Höhe je nach Prämie und Schadausmaß) 	<ul style="list-style-type: none"> - kostenintensiv - keine Minderung bzw. Verhinderung der direkten Schäden und Verluste → negative Folgen hinsichtlich Kundenbindung und Folgeschäden an den Pflanzen möglich 	19

Maßnahmen zur Vorbeugung und Abwehr von Winterfrostschäden				
	Erläuterungen	Pro	Contra	Quellen
1. Lagen- und Sortenwahl, Anlagengestaltung	<ul style="list-style-type: none"> - Frostlagen meiden - Sortenwahl (winterfrostunempfindliche Sorten wählen) - keine Hochstämme in Winterfrostlagen - Flächenplanie (Auffüllung von Senken und Vermeidung Kaltluftstaulagen) 	<ul style="list-style-type: none"> - guter Wirkungsgrad - zum Teil ohne hohe zusätzliche Investitionskosten durch z.B. die Anschaffung spezieller Geräte (z.B. Sortenwahl) realisierbar 	<ul style="list-style-type: none"> - Erträge und Qualitäten können unter der Wahl angepasster Sorten und Anbauverfahren leiden - Flexibilität in der Auswahl einer Lage oder Sorte nicht immer gegeben (Vermarktungsfähigkeit) - zum Teil hoher Arbeitsaufwand in Verbindung mit entsprechend hohen Kosten 	1, 3-6, 18
2. Kulturtechnische Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> - Holzreife fördern (ausreichende Nährstoffversorgung mit Kalium und Magnesium, Vermeidung von Übererträgen) - Bodenbearbeitung und -management (Wärmenachschub) - Weißen von Stämmen (Reflektion Sonnenlicht und Minimierung Temperaturunterschiede im Stamm) - im Herbst Anhäufeln der Reben in Junganlagen (Weinbau) - Aufdecken und Strunkschneiden nicht im Herbst durchführen (Hopfen) - direkte Winterfrostabwehr aus technischen und wirtschaftlichen Gründen kaum durchgeführt (Einsatz von Windrädern wird geprüft) 	<ul style="list-style-type: none"> - guter Wirkungsgrad - relativ flexibel einsetzbar 	<ul style="list-style-type: none"> - qualitative Einbußen möglich - zusätzliche Arbeitsgänge - hoher Managementanspruch 	1, 3-6, 18

Maßnahmen zur Vorbeugung und Abwehr von Sturmschäden				
	Erläuterungen	Pro	Contra	Quellen
1. Kultur-technische Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> - Rückschnitt und Absammeln geschädigten Materials (Vermeidung Folgeinfektionen) - neues Anheften oder Anleiten der Triebe (Hopfen und Wein) - „Laubärmere“ Erziehungsvarianten wählen (Angriffsfläche Wind minimieren) - frühe Heft-/Anleitarbeiten (Hopfen und Wein) (- Hagelschutznetze) 	<ul style="list-style-type: none"> - relativ flexibel einsetzbar - guter Wirkungsgrad insbesondere in Hinblick auf die Minimierung von Folgeinfektionen 	<ul style="list-style-type: none"> - qualitative Einbußen möglich - zusätzliche Arbeitsgänge - hoher Managementanspruch - vor allem als Ergänzungsmaßnahme auf besonders gefährdeten Teilflächen sinnvoll 	3-6, 12
2. Lagen- und Sortenwahl, Anlagengestaltung	<ul style="list-style-type: none"> - Zeilen-/Reihenausrichtung (nicht quer zur Hauptwindrichtung) - Windschutzhecken oder Streifen pflanzen - Stabilität Unterstützungsmaterial/Anlagen verstärken: Erhöhung der Abspannungen an den Ecken, Winkel der Abspannungen flacher wählen, Betonmasten an Ecken verwenden, Betonerdanker verwenden, Seildurchmesser für Abspannseile erhöhen 	<ul style="list-style-type: none"> - guter Wirkungsgrad 	<ul style="list-style-type: none"> - kostenintensiv - qualitative Einbußen möglich - abhängig von Standort und Produktionsziel 	3-6, 12, 17
3. Versicherung (vor allem Kernobst)	<ul style="list-style-type: none"> - Absicherung finanzieller Verluste durch Sturm - Höhe der Versicherungsprämien regional verschieden 	<ul style="list-style-type: none"> - kein zusätzlicher Arbeitsaufwand - universell „einsetzbar“ - Ausgleich Erlöseinbußen (Höhe je nach Prämie und Schadausmaß) 	<ul style="list-style-type: none"> - sehr hohen Prämien, in meisten Gebieten unwirtschaftlich 	5, 19

1. Bauer et al. (2008); 2. DLR Weinbau Information „Trockenstress“ (2008); 3. Expertenbefragungen DLR (2014); 4. Expertenbefragungen KOB (2014); 5. Expertenbefragungen LfL Bayern (2014); 6. Expertenbefragungen OVR (2014); 7. Hopfenbau-Ringfax Nr. 21 (2011); 8. Hoppmann (2010); 9. Landwirtschaftliches Wochenblatt (2013); 10. LfL Bayern (2013); 11. Michel (2014); 12. Müller et al. (2008); 13. Müller & Schwappach (2014); 14. Oberhofer (2011); 15. Oberhofer (2012); 16. Vogt & Schruft (2000); 17. www.lfl.bayern.de (2014); 18. Rebschutzdienst (2014); 19. Vereinigte Hagel (2014)

3.1.5.2 Gemüse

Im Gemüsebau können nicht alle der in Tab. 32 für Dauerkulturen aufgeführten Maßnahmen zur Vorbeugung und Abwehr von Schäden durch Extremwetterlagen umgesetzt werden. Das liegt hauptsächlich daran, dass viele Gemüsekulturen einjährig sind bzw. sogar mehrere Sätze innerhalb einer Vegetationsperiode gesät oder gepflanzt werden. Dementsprechend unterscheidet sich auch die Kulturführung maßgeblich von der im Dauerkulturanbau, wie eingangs in den Kapitel 3.1.1.2 dargestellt. Spargel nimmt als mehrjährige Gemüsekultur eine Sonderstellung ein. Im Folgenden (Tab. 33) sind einige wichtige und im Gemüsebau umsetzbare Maßnahmen zur Vorbeugung und Abwehr von Extremwetterschädigungen zusammengefasst (u.a. Vogel 1996; Krug et al. 2003; Wonneberger & Keller 2004; Expertenbefragungen DLR 2014; Hortipendium 2014). In einigen Punkten überschneiden sich die Möglichkeiten aber mit denen im Dauerkulturanbau. Grundsätzlich ist auch im Gemüseanbau zwischen Maßnahmen zur direkten Abwehr, wie Hagelnetze und Beregnung, kulturtechnischen Maßnahmen, der Standortwahl und Anlagengestaltung und indirekten Maßnahmen, wie Versicherungslösungen, zu unterscheiden. Die Vor- und Nachteile gestalten sich alles in allem entsprechend denen im Dauerkulturanbau und sind aus diesem Grund nicht gesondert aufgeführt.

Tabelle 33 Maßnahmen zur Vorbeugung und Abwehr von Extremwetterschäden bzw. Minimierung der finanziellen Verluste im Gemüsebau (nach Vogel 1996; Krug et al. 2003; Wonneberger & Keller 2004; Expertenbefragungen DLR 2014; Hortipendium 2014)

Extremwetterlage	Maßnahmen zur Vorbeugung und Abwehr von Schäden
Trockenheit/Dürre	Beregnung → Ausgleich fehlender Niederschlagsmengen; stationäre und mobile Systeme verfügbar
	Kulturtechnische Maßnahmen → Wasserhaltekapazität, -verfügbarkeit und -nutzungseffizienz erhöhen <ul style="list-style-type: none"> • angepasste Bodenbearbeitung (Infiltration verbessern, kapillaren Wasseraufstieg unterbrechen) • Fruchtfolge (z.B. Durchwurzelbarkeit und Humusgehalt) • Sortenwahl (Trockenheitstoleranz und Krankheitsresistenz) • Bestandesdichte; Saattiefe & -zeitpunkt • angepasste Düngestrategie (z.B. Kalium verbessert Wassernutzungseffizienz) • Winterdämme flacher anlegen (v.a. auf Flächen mit fehlenden Winterniederschlägen) • Flachbeetanbau auf trockenstressgefährdeten, sandigen Böden • humussteigernde Maßnahmen (z.B. Fruchtfolge, Zwischenfruchtanbau, organische Düngung)
Hitze	Angepasstes Folienmanagement → Abnehmen bzw. Drehen der Folien auf Weiß
	Beregnung → Nutzung Kühlungseffekt und Ausgleich des durch höhere Verdunstungsraten entstandenen Wasserdefizits
	Sortenwahl → Auswahl hitzetoleranter Sorten
Staunässe (Dauerregen & Überschwemmung)	Standortwahl und Anlage <ul style="list-style-type: none"> • eingeschlossene Lagen (schlechtere Abtrocknung durch Wind) und Senken meiden • Bodenart (Wasseraufnahme- und Infiltrationsvermögen beachten) • Dämme anlegen (Abstand Wurzel Grundwasser erhöhen, Verbesserung Abtrocknung durch Schaffung größerer Oberfläche) • Flachbeetanbau (Vermeidung von Verschlammung in der Wurzelzone durch stauende Niederschläge)

Extremwetterlage	Maßnahmen zur Vorbeugung und Abwehr von Schäden
	<ul style="list-style-type: none"> • Reihenausrichtung (Abfluss) • Dammhöhe (Abstand Wurzel Grundwasser erhöhen)
	<p>Kulturtechnische Maßnahmen → Verbesserung Drainagefähigkeit, Infiltration und Minderung Verschlammung sowie Erosion</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bodenbearbeitung (Direkt- und Mulchsaatverfahren, Verdichtungen minimieren, Versickerungsfähigkeit steigern) • Begrünungsmanagement (Durchwurzelung) • Einebnen der Dämme bei schweren Böden (geringere Gefahr Verschlammung im Wurzelbereich) • Drainagen und Entwässerungsgräben • Abdeckung mit Folien, Vliesen und Folientunneln → Vorbeugung von Krankheiten • Sortenwahl (Näsetoleranz und Krankheitsresistenz) • Abdecken mit Folie • Beizung, Pflanzenschutz • angepasstes Erntemanagement
	Änderung der Vermarktungsform → z.B. Verarbeitung statt Frischware
Starkregen	<p>Anlagengestaltung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ausrichtung der Reihen quer zu möglichem Gefälle einer Fläche, um Wassererosion zu mindern • Verkürzung der erosiven Hanglage (Unterteilung der Flächen und unterschiedliche Bewirtschaftung, z.B. Winterung und Sommerung) <p>Kulturtechnische Maßnahmen → Erosionsminderung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bodenbearbeitung (Direkt- und Mulchsaatverfahren, Verdichtungen minimieren, Versickerungsfähigkeit steigern) • Begrünung zwischen den Dämmen, Untersaaten • Einebnen der Dämme nach Ernteperiode (s. Dauerregen) • Abdeckung mit Folien, Vliesen und Folientunneln • Sortenwahl (Näsetoleranz und Krankheitsresistenz)
	Änderung der Vermarktungsform → z.B. Verarbeitung statt Frischware
Hagel	<p>Hagelversicherung</p> <p>Abdeckung → z.B. mit Hagelschutznetzen ggf. Folien</p> <p>Hagelflieger → Einbringen von Silberjodid in Gewitterwolken</p> <p>Änderung der Vermarktungsform → z.B. Verarbeitung statt Frischware</p>
Sturm	<p>Beregnung → Minderung Bodenabtrag durch Winderosion</p> <p>Sortenwahl → standfestere Sorten z.B. mit kürzeren Internodien</p> <p>Anlagengestaltung und kulturtechnische Maßnahmen → Erosionsminderung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Windschutzpflanzungen (z.B. Knicks) • Begrünung, Unter- und Zwischensaaten • Direkt-, Strip Till- oder Mulchsaatverfahren (nicht-wendende Bodenbearbeitung) <p>Änderung der Vermarktungsform → z.B. Verarbeitung statt Frischware</p>
Spät-, Früh- und Winterfrost	<p>Standortwahl → Frostlagen und Kaltluftstaulagen meiden</p> <p>Kulturtechnische Maßnahmen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Saat- bzw. Pflanztermine und –tiefe • Kalidüngung (Erhöhung Frosttoleranz) • Sortenwahl (teilweise sortenspezifische Frosttoleranz) • angepasstes Erntemanagement (z.B. Spargel bei Spätfrostgefahr auch abends ernten) • Optimierung Reservestoffeinlagerung • direkte Frostbekämpfungsmaßnahmen (z.B. Frostberegnung, Gebläse, Rotoren)

3.2 Voraussichtlicher Nutzen und Verwendbarkeit der Ergebnisse

Mit Hilfe der durchgeführten Analysen konnten in Apfel, Wein, Hopfen Spargel, Speisezwiebel, Möhre sowie Weiß- und Rotkohl

- relevante Extremwetterlagen identifiziert werden,
- ihre möglichen Auswirkungen umfangreich beschrieben werden,
- eine Quantifizierung von Ursache-Wirkungs-Beziehungen anhand von Fallbeispielen durchgeführt werden,
- Trends zu der möglichen zukünftigen Relevanz verschiedener Extremwetterlagen für die betrachteten Kulturen abgeleitet werden.

Die gewonnenen Erkenntnisse können für die Ableitung von Anpassungsmaßnahmen auf betrieblicher und politischer Ebene bzw. der Identifizierung weiterer dafür notwendiger Forschungsschwerpunkte genutzt werden. Darüber hinaus konnten mit Hilfe der Untersuchungen bestehende Wissenslücken und Defizite, wie z.B. vor allem ein erheblicher Datenmangel, aufgezeigt werden, was alle Beteiligten – Wissenschaftler, Berater, Praktiker und Politik – dafür sensibilisieren soll, dass weitere Arbeiten dringend notwendig sind.

4. Zusammenfassung der Ergebnisse

Das vorliegende Projekt konnte - in weiten Teilen erstmalig – den „Status quo“ hinsichtlich der Relevanz von Extremwetterlagen im Sonderkulturanbau und möglicher zukünftiger Herausforderungen zusammenfassend darstellen. Aufgrund der kurzen Laufzeit des Projektes und des hohen Umfanges betrachteter Kulturen mussten für Obst und Gemüse Leitkulturen ausgewählt werden. Kriterium war dabei der Anbauumfang und die Bedeutung der Kulturen. Auch der Umfang durchführbarer Expertenbefragungen war aufgrund der kurzen Projektlaufzeit begrenzt. In Hinblick auf die regionale Betrachtung mussten sich die Analysen auf bestimmte Anbaugelände beschränken oder es musste, wie im Gemüsebau, auf eine regionalisierte Betrachtung verzichtet werden.

Die durchgeführten Datenanalysen zur Abschätzung der Relevanz und der Auswirkungen von Extremwetterlagen in Sonderkulturen geben erste Hinweise zu möglichen Zusammenhängen und Trends. Generell ist die Verfügbarkeit von verwendbaren Daten für solche Analysen (flächenbezogene Erträge, Qualitäten, Aufzeichnungen zur Betroffenheit und Wetterdaten) im Bereich der Sonderkulturen jedoch derzeit sehr lückenhaft. **Eine der wichtigsten Aufgaben für die Zukunft muss es deshalb sein, umfassendere Daten zu sammeln, um konkretere Aussagen über das Schadpotential und die Relevanz von Extremwetterlagen im Sonderkulturanbau ableiten zu können.** Diese Erkenntnisse sind für die Planung und Abwägung sowohl einzelbetrieblicher als auch großräumiger und politischer kurz- und langfristiger Anpassungsmaßnahmen von immenser Bedeutung.

Denkbar wäre zum Beispiel ein Onlineportal zur Erfassung von Extremwetterschäden und notwendiger Metadaten in landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Kulturen, über welches umfangreiche Daten für wissenschaftliche Analysen gewonnen werden könnten. Im Projekt konnte des Weiteren ein umfänglicher Überblick der derzeit verfügbaren Maßnahmen zur Vorbeugung und Abwehr von Extremwetterschädigungen in Sonderkulturen zusammengestellt werden. Dazu zählen beispielsweise Maßnahmen wie die Verwendung von Hagelnetzen, Beregnung, verschiedene kulturtechnische Maßnahmen sowie

Standortwahl und Anlagengestaltung. Die Bewertung der jeweiligen Vor- und Nachteile zeigt, dass viele Verfahren zwar wirksam, aber oft nicht wirtschaftlich sind, mit enormem Arbeitsaufwand einhergehen können oder z.B. nicht mit qualitativen Zielstellungen vereinbar sind. Auch hier zeigt sich somit weiterer Forschungsbedarf, um praktikable, also funktionale als auch wirtschaftliche Anpassungsmaßnahmen zu entwickeln bzw. bestehende Verfahren weiter zu entwickeln.

Versicherungen nehmen in gewissem Sinne eine Sonderstellung ein. Sie können zwar die durch die Extremwetterschäden entstehenden finanziellen Verluste der betroffenen Betriebe mindern, sind aber nicht in der Lage, den realen Schaden zu verhindern. Eine breitere Daten- und Wissensbasis, z.B. zu möglichen Verlusten und der Anzahl betroffener Betriebe, würde auch in Hinblick auf die Bewertung verfügbarer Versicherungslösungen einen großen Beitrag leisten.

4.1 Apfel

Die vorliegende Studie zur Relevanz von Extremwetterlagen wurde für den Apfelanbau exemplarisch in den beiden Anbaugebieten „Niederelbe“ und „Bodensee“ in enger Kooperation mit dem Esteburg Obstbauzentrum in Jork und dem KOB in Bavendorf durchgeführt. Mittels Expertenbefragungen und Literaturrecherchen ergab sich folgende, unterschiedliche Rangfolge (Top 5) in Hinblick auf die Relevanz von Extremwetterlagen: „Niederelbe“ (n=18) 1. Hagel, 2. Spätfrost, 3. Überschwemmung/Staunässe, 4. Dauerregen, 5. Kahl-/Winterfrost und „Bodensee“ (n=26) 1. Hagel, 2. Trockenheit, 3. Spätfrost, 4. Hitze, 5. Dauerregen. Starke Risikopotentiale vergaben die Experten im Apfelanbau für Kahl-/Winterfröste, Spätfrost, Hagel, Hitze, extreme Dürre und Dauerregen. Exemplarische Auswertungen von Jahresberichten bestätigten, dass die Einschätzung der befragten Experten an der „Niederelbe“ mit der realen Häufigkeit und dem Schadpotential der Extremwetterlagen in diesem Anbaugebiet übereinstimmt. Eine Abfrage der im Rahmen von Recherchen und Befragungen definierten Schwellenwerte in Klimamodellen durch den DWD ergab, dass im Apfelanbau insbesondere das Risiko für Hitze (April-September), Dauerregen (März-April), Starkregen (März-Oktober) und deutlich erhöhter Abendtemperaturen (Mai-September) steigen kann. Für Hagel bieten die Klimamodelle derzeit noch keine Projektionen an. Vor allem in Bezug auf Hitze wird der östliche und südliche Teil Deutschlands stärker betroffen sein. Laut Klimaprognosen könnte das Risiko für Spätfrost hingegen abnehmen. Auswertungen phänologischer Daten zeigten allerdings die hohe Komplexität hinsichtlich der Interpretation auf und untermauern den weiteren Forschungsbedarf. Bereits heute ist ein deutlich früheres Eintreten der phänologischen Phasen im Apfelanbau um bis zu 3 Wochen messbar. Das kann das eigentlich aus meteorologischer Sicht sinkende Spätfrostisiko deutlich mindern oder sogar aufheben. Leider liegen derzeit nicht genügend verwendbare Daten vor, um diese Zusammenhänge näher zu beleuchten. Die zukünftige Sammlung entsprechender Daten ist auch in Hinblick auf die Abschätzung der Auswirkungen anderer Extremwetterlagen, wie Hagel und zu hohe Niederschlagsmengen, dringend notwendig. Laut Expertenaussagen entstehen durch Hagel im Apfelanbau regelmäßig Ertragsschäden zwischen 30 bis 90% oder sogar Totalausfälle. Genauere Daten, die statistische Analysen zulassen, waren auch hier leider nicht verfügbar. Eine exemplarische Auswertung zum Einfluss von Spätfrost auf Erträge in den beiden Apfelsorten „Elstar“ und „Jonagold“ an der

„Niederlebe“ konnte aufzeigen, dass es durch Spätfröste zu Verlusten bis zu 80%, in ertragsschwachen Jahren und solchen mit einer schlechten Prädisposition, zum Beispiel in Jahren, die auf besonders ertragreiche Jahre folgen, sogar zum Totalausfall kommen kann.

4.2 Wein

Stellvertretend für den Weinanbau in Deutschland wurden im Rahmen der vorliegenden Studie in den Weinanbaugebieten „Pfalz“, „Rheinhessen“, „Franken“, „Nahe“ und „Rheingau“ Expertenbefragungen durchgeführt. Für die „Pfalz“ (n=6), „Rheinhessen“ (n=7), „Franken“ (n=6) konnten so Ranglisten zur Relevanz von Extremwetterlagen generiert werden. Dabei zeigten sich zum Teil deutliche Unterschiede. In der „Pfalz“ und in „Rheinhessen“ wurde Hagel als relevanteste, Spätfröste als zweitrelevanteste und Kahl-/Winterfröste als drittrelevanteste Extremwetterlage gewertet. In „Franken“ hingegen vergaben die befragten Experten Rang 1 an Trockenheit und Spätfröste, Rang 2 an Dauerregen/Staunässe und Rang 3 an Starkregen. Hier zeigten sich also klare regionale Unterschiede. Es ist jedoch zu beachten, dass die Experteneinschätzung sicherlich stark von den Extremwetterereignissen der letzten Jahre in ihrem Gebiet beeinflusst waren. Über alle Expertenbewertungen gemittelt geht ein starkes Schadpotential von Spätfrösten, Hagel und Trockenheit aus. Für das Weinanbaugebiet „Pfalz“ konnte des Weiteren eine exemplarische Auswertung von Schadensmeldungen erfolgen. Dabei bestätigte sich die hohe Relevanz von Hagel, für den zwischen 2004 und 2013 in jedem Jahr, wenn auch zuweilen in geringem räumlichen Ausmaß, in der „Pfalz“ Schäden gemeldet wurden. Im Jahr 2010 wurden etwa 5000 ha in der Pfalz bis hin zum Totalausfall geschädigt. Spätfröstschäden sind in der „Pfalz“ in vier von zehn Jahren (2004-2013) aufgetreten, wobei insbesondere im Jahr 2011 zum Teil immense Schäden auf einer Fläche von etwa 4000-5000 ha verzeichnet wurden. Schädigende Winterfröste traten vermehrt in der zweiten Hälfte des betrachteten Zeitraumes (2009-2013) auf. Die Abfragen zur zukünftigen Häufigkeit des Überschreitens der im Projekt definierten, im Weinbau geltenden Schwellenwerte durch den Deutschen Wetterdienst ergaben für Hitze von Mai bis September, für Starkregen im April, Mai, September und Oktober, für Trockenheit im Juli und September sowie für zu hohe Herbsttemperaturen und zu hohe Wintertemperaturen (Eisweinproduktion) ein zunehmendes Risiko. Vor allem das laut Klimaprognosen abnehmende Risiko für Spätfröste kann auf Grund der bereits in den letzten Jahren messbaren Verfrühung in der Rebenentwicklung – wie im Apfelanbau – noch nicht hinreichend eingeschätzt werden. Es fehlen dazu derzeit noch entsprechende Daten, um die genaueren Zusammenhänge zu quantifizieren. Auch Stock et al. (2007) geben an, dass aufgrund der kompensatorischen Effekte der mit einer Erwärmung einhergehenden Austriebsverfrühung die zukünftige Relevanz von Spätfrösten noch nicht klar abschätzbar ist. Für Hagel bieten die Klimamodelle derzeit leider noch keine Prognosedaten an. Exemplarische Datenanalysen konnten zum Einfluss von Spätfrösten auf Erträge und Mostgewichte in weißen und roten Rebsorten auf einem Einzugsgebiet einer pfälzischen Winzergenossenschaft durchgeführt werden. Dabei zeigte sich, dass die Erträge im Spätfröstjahr 2011 auf gefährdeten Standorten in weißen Rebsorten im Durchschnitt um 27%, in extremen Fällen um bis zu 75%, und in roten Rebsorten im Durchschnitt um 44%, in extremen Fällen um bis zu 80%, geringer waren als die durchschnittlichen Erträge der Jahre ohne Spätfröste. Auf nicht gefährdeten Flächen konnten diese Erträge in dem sonst

ertragsstarken Jahr 2011 zwar mengenmäßig zum Teil ausgeglichen werden, aber mit verminderten Mostgewichten. Da auf der betrachteten Gesamtfläche zusätzlich der Anteil gefährdeter Flächen mit fast 36% deutlich über dem nicht gefährdeter Flächen ($\approx 16\%$) lag, ist von erheblichen Einbußen durch den Spätfröste im Jahr 2011 auszugehen. Eine beispielhafte Auswertung dieses Datensatzes in Bezug auf den Einfluss des sortentypischen Austriebzeitpunktes konnte erste Hinweise liefern, dass zumindest in weißen Rebsorten die Wahl später austreibender Sorten das Risiko für Schäden in frostgefährdeten Lagen mindern könnte. Allerdings war der Datenumfang für repräsentative Aussagen zu gering.

4.3 Hopfen

Das Hopfenanbaugebiet „Hallertau“ ist das weltweit größte seiner Art und diente im Rahmen dieses Projektes als Beispiel für die Untersuchung des Einflusses von Extremwetterlagen auf den Hopfenbau, wobei eng mit der LfL Bayern kooperiert werden konnte. Obwohl Hopfen zu den Dauerkulturen gehört, unterscheidet er sich doch wesentlich von den beiden anderen im Projekt behandelten Dauerkulturen Wein und Apfel, da er über den Winter kaum oberirdische Pflanzenteile besitzt und in jedem Frühjahr komplett von neuem aus dem Wurzelstock austreibt. Wie für Apfel und Wein wurden auch in der „Hallertau“ Experten ($n=34$) hinsichtlich ihrer Einschätzung zur Relevanz verschiedener Extremwetterlagen befragt. Für den Hopfenanbau in der „Hallertau“ ist Extreme Dürre am bedeutendsten, gefolgt von Hagel auf Rang 2, Trockenheit auf Rang 3, Hitze auf Rang 4 und Sturm auf Rang 5 (TOP 5). Die Auswertung der Expertenbewertungen zeigt sich, dass die 34 Befragten mit acht Extremwetterlagen für deutlich mehr Extremwetterlagen hohe Risikopotentiale angegeben haben als bei den anderen Kulturen. Die stärksten Risikopotentiale (nur Stärke und Dauer des Risikos bewertet, nicht die Häufigkeit) gehen von Überschwemmung/Staunässe und Hagel aus. Im Vergleich zu Apfel und Wein sind Frostschäden in jeglicher Form im Hopfenanbau nur von geringer Bedeutung (Ränge 9-11 von 12). Exemplarische Analysen von Ertragsdaten der Jahre 2006 bis 2013 konnten in den Jahren 2006, 2009 und 2013 erhebliche Mindererträge aufzeigen, die zwischen den Sorten und Standorten sehr verschieden ausfielen. Im Jahr 2009 wurden in einigen Gebieten bis zu 85%ige Ertragsverluste gemessen. Witterungsberichte dieser drei Jahre zeigten, dass in den meisten Fällen wohl eine Kombination des Auftretens verschiedener Extreme für diese Verluste gesorgt hat. Das waren unter anderem sehr regenreiche Bedingungen, die zu verzögerten kulturtechnischen Maßnahmen und erhöhtem Infektionsdruck geführt haben, Hagelereignisse, die in sich schon Schäden verursachten aber auch Folgeinfektionen nach sich zogen oder auch zu trockene Bedingungen. Allerdings zeigt sich, dass diese Bedingungen nicht zwangsläufig schlechtere Qualitäten (Alphasäuregehalte) nach sich ziehen. Nur die äußerst trockenen Bedingungen im Jahr 2003 führten zu deutlich geringen Alphasäuregehalten. Des Weiteren zeigte sich ein gehäuftes Auftreten von Mindererträgen in den beiden Herkunftsbezirken „Pfeffenhausen“ und „Hersbruck“. Beispielhaft wurden für diese beiden Gemeinden die auf den Hopfenflächen dominierenden Bodenarten und die Hangneigung ausgewertet. Konkrete Zusammenhänge lassen sich zwar auch hier nur auf Basis einer exakteren Datenlage ableiten, allerdings deuten die Ergebnisse darauf hin, dass die Bodenartenanteile (z.B. Wasserhaltevermögen und Nährstoffverfügbarkeit) und auch die Hangneigung (z.B. Erwärmung, Gefahr Staunässe) dieser beiden Gemeinden von den

Hopfenflächen der restlichen Hallertau abweichen und somit einen Einfluss auf das Schadpotential der Extremwetterlagen zu vermuten ist.

4.4 Gemüsebau

Für den Bereich des Gemüsebaus wurden zu Beginn des Projektes Spargel (Bleichspargel), Speisezwiebel, Möhre sowie Weiß- und Rotkohl aufgrund Ihrer hohen Bedeutung (Anbauumfang) in der deutschen Gemüseproduktion als Leitkulturen festgelegt. Einige andere Kulturen sind stärker durch Extremwetterlagen gefährdet als die hier betrachteten, weisen aber einem deutlich geringeren Anbauumfang auf. So weisen Fink et al. (2009) und Expertenbefragungen DLR (2014) beispielsweise auf die besonders hohe Empfindlichkeit von Kopfsalat gegenüber Hitze und Hagel hin. Intensive Literaturrecherchen und Expertenbefragungen konnten zeigen, dass auch der Gemüsebau erheblich durch Extremwetterlagen bedroht ist und im schlimmsten Falle Totalverluste verursachen. Die Expertenbefragungen fanden zum großen Teil postalisch und bundesweit statt. So konnten zur Relevanz von Extremwetterlagen in Spargel n=12, in Speisezwiebeln n=13, in Möhre n=11 sowie in Weiß- und Rotkohl n=11 Experten befragt werden. Das Ranking der Extremwetterlagen ergab, dass im Gemüsebau Trockenheit, Hagel, Staunässe (Dauerregen), Starkregen und Hitze als besonders relevant einzuschätzen sind. Die durch den Deutschen Wetterdienst (DWD) durchgeführte Abfrage der Schwellenwerte zur vergangenen und zukünftigen Relevanz von Extremwetterlagen ergab, dass im Spargelanbau Hitze, Trockenheit, Dauer- und Starkregen (außer im Juli) sowie Sturm von März bis Mai und September an Bedeutung gewinnen können. Im Speisezwiebelanbau gilt das für Hitze, Trockenheit im März und Starkregen. In Hinblick auf die für den Möhrenanbau definierten ertragsrelevanten Schwellenwerte ergaben die Abfragen ein in Zukunft steigendes Risiko für Hitze, vor allem im Zeitraum 2050 bis 2098, und Starkregen. Für den Anbau von Weiß- und Rotkohl könnten in Zukunft ebenfalls ein steigendes Hitzestress- und Starkregen-Risiko die Produktion beeinflussen.

Wie bereits eingangs erwähnt, konnten aufgrund des vorherrschenden Datenmangels keine exemplarischen Analysen zu Ursache-Wirkungsbeziehungen im Gemüsebau erfolgen. Die Gewinnung geeigneter Daten wird aber als dringend notwendig erachtet, um die Zusammenhänge zwischen Extremwetterlagen und möglichen Verlusten im Gemüsebau zu quantifizieren und darauf aufbauend Anpassungskonzepte entwickeln zu können.

5. Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen, ggf. mit Hinweisen auf weiterführende Fragestellungen

Ziel des vorliegenden Projektes war es, für den Anbau von Apfel, Wein, Hopfen, Spargel, Speisezwiebel, Möhre sowie Weiß- und Rotkohl folgenden Fragestellungen zu beantworten:

- Welche Extremwetterlagen sind in den jeweiligen Kulturen relevant?
- Gibt es regionale Unterschiede in deren Relevanz und worin bestehen diese?
- Welche Auswirkungen können die Extremwetterlagen auf die Kulturen haben?
- Können Auswirkungen auf Erträge und Qualitäten quantifiziert werden?
- Gibt es ertragsrelevante Schwellenwerte? Wenn ja, wo liegen diese?
- Wie oft wurden diese Schwellenwerte in der Vergangenheit überschritten?

- Wird es laut aktueller Klimaprognosen zu Veränderungen in der Relevanz dieser Extremwetterlagen kommen?

Durch umfangreiche persönliche und postalische Expertenbefragungen konnten für verschiedene Anbaugebiete für alle Kulturen relevante Extremwetterlagen und regionale Unterschiede identifiziert werden. Innerhalb der kurzen Projektlaufzeit konnten aber nicht alle Anbaugebiete in die Befragungen einbezogen werden. Um die Repräsentativität der Ergebnisse sicherzustellen, wurden die Befragungen deshalb vorzugsweise in den bedeutendsten Anbaugebieten bzw. im Gemüsebau bundesweit durchgeführt. Die möglichen Auswirkungen der Extremwetterlagen und weitere wichtige kulturspezifische Informationen konnten mittels intensiver Literaturrecherchen und Expertenbefragungen zusammengetragen und umfangreich dargelegt werden. Für die meisten der relevanten Extremwetterlagen wurden, ebenfalls mit Hilfe von Literaturrecherchen und Expertenbefragungen, Schwellenwerte definiert. Diese sind allerdings als Richtwerte anzusehen, da sie aufgrund eines erheblichen Datenmangels nicht auf statistischen Berechnungen und in einigen Fällen, zuweilen subjektiven, Expertenangaben beruhen. Mit Hilfe der Abfrage dieser Schwellenwerte für die Vergangenheit (Klimadaten) und die Zukunft (Klimamodellprognosen) konnten - wie geplant - Aussagen zur vergangenen und zukünftigen Relevanz der Extremwetterlagen gewonnen werden. Um mögliche Auswirkungen auf Erträge und Qualitäten zu quantifizieren und Ursache-Wirkungs-Beziehungen zu beschreiben, waren exemplarische Datenanalysen geplant. Wie bereits dargestellt, war die Verfügbarkeit von verwendbaren Daten sehr schlecht. Zu Hagel konnten aufgrund fehlender Daten im Bereich der Sonderkulturen keine kulturspezifischen Analysen durchgeführt werden. Durch eine Versicherungsgesellschaft wurden dem Verbundprojekt „Agrarrelevante Extremwetterlagen“ allgemeine Daten zu Hagelschäden der letzten Jahre zur Verfügung gestellt. Die Auswertung dieser Daten ist dem Gesamtbericht zum Verbundprojekt „Agrarrelevante Extremwetterlagen“ zu entnehmen. Für den Anbau von Apfel und Wein konnten exemplarische Analysen zum Einfluss von Spätfrösten auf Erträge und Qualitäten durchgeführt werden. Im Hopfenanbau erfolgten ebenfalls exemplarische Auswertungen von Ertrags- und Qualitätsdaten. Im Gemüsebau waren keine auswertbaren Daten verfügbar.

Entsprechende Daten zu sammeln, um konkretere Aussagen über Schwellenwerte und das Schadpotential von Extremwetterlagen im Sonderkulturanbau ableiten zu können, wird als eine der wichtigsten Aufgabe für die Zukunft angesehen. Diese Erkenntnisse sind für die Planung und Abwägung sowohl einzelbetrieblicher als auch großräumiger und politischer kurz- und langfristiger Anpassungsmaßnahmen von immenser Bedeutung. Denkbar wäre ein Netzwerk, z.B. mit angeschlossenem Onlineportal, zur Erfassung von Extremwetterschäden und notwendigen Metadaten in landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Kulturen. So könnten umfangreiche Daten für weitergehende und dringend notwendige wissenschaftliche Analysen gewonnen werden.

6. Literaturverzeichnis

- Ambrosi, H. & Becker, H. (1978): Der deutsche Wein. Gräfe & Unzer, München, 363 S.
- Backhaus, G.-F. (2005): Zwiebelanbau, Handbuch für Praxis und Wissenschaft. Fachverband Deutsche Speisezwiebel, Agrimedia, Bergen/Dumme, 282 S.
- Bauer, K.; Regner, F. & Schildberger, B. (2008): Weinbau, 8. überarbeitete Auflage. Österreichischer Agrarverlag, Wien, 464 S.
- Biendl, M.; Engelhard, B.; Forster, A.; Gahr, A.; Lutz, A.; Mitter, W.; Schmidt, R. & Schöneberger, C. (2012): Hopfen: vom Anbau bis zum Bier. Fachverlag Hans Carl GmbH, Nürnberg, 320 S.
- Bundessortenamt (2008): Beschreibende Sortenliste Weinreben. http://www.bundessortenamt.de/internet30/fileadmin/Files/PDF/bsl_rebe_2008.pdf, Bundessortenamt, Hannover.
- Crüger, G. (1991): Pflanzenschutz im Gemüsebau, 3. Auflage. Ulmer, Stuttgart, 344 S.
- Crüger, G.; Backhaus, G.-F.; Hommes, M.; Smolka, S.; Vetten, H.-J. (2002): Pflanzenschutz im Gemüsebau, 4. Auflage. Ulmer, Stuttgart, 320 S.
- Davis, R. M.; Raid, R. N. (2002): Compendium of Umbelliferous Crop Diseases. American Phytopathological Society, St. Paul, USA, 110 S.
- DLR (2008): Weinbau – Information DLR „Möglichkeiten zur Minderung von Trockenstress“. Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinpfalz, Neustadt/Weinstr.
- Expertenbefragungen DLR (2014): Expertenbefragungen am Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinpfalz in Neustadt/Weinstr. und Rheinhessen-Nahe-Hunsrück in Bad Kreuznach.
- Expertenbefragungen KOB (2014): Expertenbefragungen am Kompetenzzentrum Obstbau-Bodensee in Bavendorf.
- Expertenbefragungen LfL Bayern (2014): Expertenbefragungen der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau, Arbeitsbereich Hopfen.
- Expertenbefragung OVR (2014): Expertenbefragungen am Obstbauversuchsring des Alten Landes e.V. in Jork.
- Feller, C. (2013): Bewässerung im Freilandgemüsebau, Vortrag bei der Veranstaltung „Feldbewässerung unter dem Aspekt von Klimawandel und Wirtschaftlichkeit, Görlitz 27.06.2013, http://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/03_Bewaesserung_Gartenbau_Feller.pdf.
- Fink, M; Kläring, H.-P & George, E. (2009): Gartenbau und Klimawandel in Deutschland. Wasser im Gartenbau, Tagungsband zum Statusseminar am 9. und 10. Februar 2009 im Forum des vTI in Braunschweig. Organisiert im Auftrag des BMELV, Landbauforschung Sonderhefte 328, http://www.ti.bund.de/media/publikationen/landbauforschung-sonderhefte/lbf_sh328.pdf, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig.
- Fischer, M. (2002): Apfelanbau – integriert und biologisch. Ulmer, Stuttgart, 224 S.
- Freier, B.; Sellmann, J.; Schwarz, J.; Klocke, B.; Moll, E.; Gutsche, V. Zornbach, W. (2012): Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz – Jahresbericht 2011 – Analyse der Ergebnisse der Jahre 2007 bis 2011. Berichte aus dem Julius Kühn-Institut 166, 104 S.
- Friedrich, G. (1993): Handbuch des Obstbaus. Neumann Verlag, Radebeul, 621 S.
- Ellinger, W (2008): The market for fruit. Agrarwirtschaft 57 (1): 59-68.

- Ellinger, W.; Hentschel, G. (1988): Der Spargelmarkt Europa. *Gemüse* 24, S. 220-225.
- Hintermeier, P. (1993): Die Blüte des Hopfens. In *Hopfen-Rundschau* 7/1993.
- Hopfenbau-Ringfax Nr. 21/2011: http://www.hopfenring.de/fr_aktuell.htm, Hopfenring e.V.
- Hoppmann, D. (2010): *Terroir – Wetter, Klima, Boden*, 1. Auflage, Ulmer, 224 S.
- Hortipendium (2014): Hortipendium – Das Grüne Lexikon, <http://www.hortipendium.de/Portal:Pflanzenschutz>.
- Klein, Wolfram (2011) Mitteilungen des Obstbauversuchsrings, Der Verlauf des Jahres 2009-2010 beim Kernobst an der Niederelbe: 8-13.
- König, S. (2014): Bedeutung von Extremwetterlagen für den Obstanbau an der „Niederelbe“, Hochschule Osnabrück.
- Krug, H.; Liebig, H.-P.; Stützel, H. (2003): *Gemüseproduktion*, Ulmer, Stuttgart.
- Landwirtschaftliches Wochenblatt (2013): Windräder zum Frostschutz, *Landwirtschaftliches Wochenblatt, der Landbote für Rheinhessen und die Pfalz* 40/2013.
- KTBL (2007): *Weinbau und Kellerwirtschaft*. KTBL-Datensammlung, 13. Auflage. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), Darmstadt.
- LfL Bayern (2009): *Hopfen, Krankheiten – Schädlinge, Nichtparasitäre Schadbilder*. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), http://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ipz/dateien/p_33873.pdf.
- LfL Bayern (2012): *Grünes Heft Hopfen 2012, Empfehlungen zu Anbau, Sorten, Düngung, Pflanzenschutz und Ernte*. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau, Arbeitsbereich Hopfen, Wolnzach (Hrsg.), LfL.
- LfL Bayern (2013): *Grünes Heft Hopfen 2013, Empfehlungen zu Anbau, Sorten, Düngung, Pflanzenschutz und Ernte*. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau, Arbeitsbereich Hopfen, Wolnzach (Hrsg.), LfL.
- LfL Bayern (2014): *Grünes Heft Hopfen 2014, Empfehlungen zu Anbau, Sorten, Düngung, Pflanzenschutz und Ernte*. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau, Arbeitsbereich Hopfen, Wolnzach (Hrsg.), LfL.
- Link, H. (2002): *Lucas' Anleitung zum Obstbau*, 448 S.
- Lutz, A.; Kneidl, J.; Seigner, E. & Kammhuber K. (2009): Hopfenqualität - Ernte zum richtigen Zeitpunkt. In: *LfL-Information*, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.).
- Meehl, G. A; Stocker, T. F.; Collins, W. D.; Friedlingstein, P. & al. (2007): Global climate projections. In: Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Chen, Z. & al. (Hrsg.): *Climate change, The physical science basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK: 749–844.
- Meyer, G. (2004): Der Verlauf des Jahres 2003/2004 beim Kernobst an der Niederelbe. *Mitteilungen des Obstbauversuchsrings*: 469 ff.
- Michel, S. (2014): *Neue Strategien im Weinbau durch Klimawandel?* Stefanie Michel, Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (Vortrag), http://www.lwg.bayern.de/weinbau/rebenanbau_qualitaetsmanagement/16939/Klimawandel_Michel_neu.pdf.
- Müller, E.; Lipps, H.-P. & Walg, O. (2008): *Der Winzer*, 3. überarbeitete Auflage, Ulmer, Stuttgart, 567 S.

- Müller, M. & Schwappach, P. (2014): Damit sich die Reben nix abfrieren. *Rebe & Wein*, 4/2014: 22-24.
- Niedermeier, E. (2011): Witterung 2011. In Jahresbericht 2011, Sonderkultur Hopfen, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft(Hrsg.), Wolnzach-Hüll: 32.
- Oberhofer, J. (2011): Hagelschäden im Weinbau – Nur Prävention verspricht Erfolg. Tagungsband 64. Pfälzische Weinbautage: 27-29.
- Oberhofer, J. (2012): Strategien zur Verminderung von Spätfrostschäden. Tagungsband 65. Pfälzische Weinbautage: 62 – 65.
- Olymbios, C. M.; Schwabe, W. W. (1977): Effects of aeration and soil compaction on growth of the carrot, *Daucus carota* L. *The Journal of the American Society for Horticultural Science* 52: 485–500.
- OVA (2013): Arbeitstagebuch für das Obstjahr 2013. Obstbauversuchsanstalt Altes Land e.V., Jork.
- Portner, J. (2009): Versuch zur Hopfenpflege nach dem Hagelsturm vom 26.05.2009. In: Jahresbericht 2009, Sonderkultur Hopfen, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.): 65-68.
- Quast, P. (1986): Düngung, Bewässerung und Bodenpflege im Obstbau: 181.
- Racca, P.; Richerzhagen, D.; Kuhn, C.; Kleinhenz, B. & Hau, B. (2012): Einfluss des Klimawandels auf die Ontogenese und die Blattkrankheiten Mehltau (*Blumeria graminis*), Braunrost (*Puccinia triticina*) und DTR (*Drechslera tritici-repentis*) (Vortrag)". Zusammenfassung der Vorträge zu 58. Deutschen Pflanzenschutztagung in Braunschweig: 135-136.
- Rebschutzdienst (2014): http://www.rebschutzdienst.at/index.php?option=com_content&view=article&id=144&Itemid=127.
- Rimmer, S. R.; Shattuck, V. I. & Buchwalddt, L. (2007): Compendium of Brassica Diseases, American Phytopathological Society, St. Paul, USA, 117 S.
- Schwartz, H. F. & Mohan, S. K. (2008): Compendium of onion and garlic diseases and pests, 2nd Edition. American Phytopathological Society, St. Paul, USA, 127 S.
- Seidel, P. (2014): Extremwetterlagen und Schaderreger – extreme Wissenslücken, 2. Apfel, Spargel, Wein und Hopfen. *Gesunde Pflanzen* 66: 93-101.
- Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K. B.; Tignor, M. & Miller, H. L. (2007): Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Ziegler, J. (2010): Anbau- und Sortenempfehlungen zu Spargel. Neustadter Hefte, Anbau- und Sortenhinweise für den Gemüsebau 2009/2010, DLR Rheinpfalz, Neustadt/Weinstr.
- Statistischen Bundesamtes (2014) Wachstum und Ernte - Feldfrüchte - August/September - Ausgabe 09. Fachserie 3 Reihe 3.2.1. <https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/LandForstwirtschaft/ErnteFeldfruechte/FeldfruechteAugustSeptember.html>
- Statistisches Bundesamt (2015): <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/LandForstwirtschaftFischerei/LandForstwirtschaft.html;jsessionid=CB0AFE4A5578546968A5CD297905C8AC.cae1>.

- Steffens, M. (2013): Rückblick auf die Sonnenbrandsituation in 2012 - Bericht aus Sicht der Beratung. Mitteilungen des Obstbauversuchsrings Jork e.V.: 119-121.
- Stock, M.; Badeck, F.; Gerstengarbe, Hoppmann, D.; F.-W.; Kartschall, T.; Österle, H.; Werner, P. & Wodinski, M. (2007): Perspektiven der Klimaänderung bis 2050 für den Weinbau in Deutschland (Klima 2050). Schlussbericht zum FDW-Vorhaben Klima 2050. PIK Report No. 106. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, Potsdam.
- Tiedemann (2013): Stress und Abiotische Schadfaktoren, Temperatur – Hitze, Kälte, Frost: 41 ff. In: Lehrbuch der Phytomedizin, Poehling, H.-M. & Vereet, A.-J. (Hrsg.), Ulmer, Stuttgart, 600 S.
- Van Oort, P. A.J.; Timmermans, B. G. H.; Meinke, H. & Van Ittersum, M. K. (2012): Key weather extremes affecting potato production in The Netherlands. European Journal of Agronomy 37: 11-22.
- Verband Deutscher Hopfenpflanzer e.V. (2014): <http://www.deutscher-hopfen.de/contentserv/hopfenpflanzerverband.de/index.php?StoryID=2116>, 29.01.2015.
- Vogel, G. (1996): Handbuch des speziellen Gemüsebaues, Ulmer, Stuttgart, 1127 S.
- Vereinigte Hagel (2014): <http://www.vereinigte-hagel.net/wissenswertes.html>.
- Vitipendium (2014): www.vitipendium.de.
- Vogt, E. & Schruft, G. (2000): Weinbau, 8. überarbeitete Auflage, Ulmer, 453 S.
- Wonneberger, C.; Keller, F. (2004): Gemüsebau, Ulmer, Stuttgart, 384 S.

7. Danksagung

Unser Dank gilt allen an diesem Projekt beteiligten Personen, ohne deren fachliche Unterstützung das vorliegende Projekt nicht realisierbar gewesen wäre. Mit der Bereitstellung ihrer Expertise, ihres Wissens und entsprechender Daten haben sie einen wesentlichen Anteil am Gelingen des Projektes.

Insbesondere möchten wir den Apfel-, Wein-, Hopfen- und Gemüsebaubetrieben danken, die sich bereit erklärt haben, an den Befragungen und Interviews teilzunehmen und Daten für die vorliegenden Auswertungen bereit zu stellen. Daneben gilt unser Dank auch allen befragten und interviewten Wissenschaftlern und Beratern am DLR Rheinpfalz in Neustadt/Weinstr., am DLR Rheinhessen-Nahe-Hunsrück in Bad-Kreuznach, am Kompetenzzentrum Obstbau-Bodensee in Bavendorf, am Esteburg Obstbauzentrum in Jork, an der Landesanstalt für Landwirtschaft Bayern in Hüll und allen anderen Einrichtungen für Ihre Unterstützung, hilfreichen Informationen und Hinweise. Neben Expertenbefragungen und -interviews war es von zentraler Bedeutung, Daten für die durchgeführten Analysen zu gewinnen. Deshalb danken wir an dieser Stelle noch einmal gesondert allen Einrichtungen, Institutionen und Betrieben, die uns ihre in mühevoller Arbeit zusammengetragenen Ertrags- und Qualitätsdaten, Phänologiedaten, Daten zu Schadensmeldungen und alle sonstigen relevanten Sachverhalte zur Verfügung gestellt haben.

Abschließend danken wir dem BMEL und der BLE für die finanzielle Unterstützung des Projektes (FKZ 2813HS002).

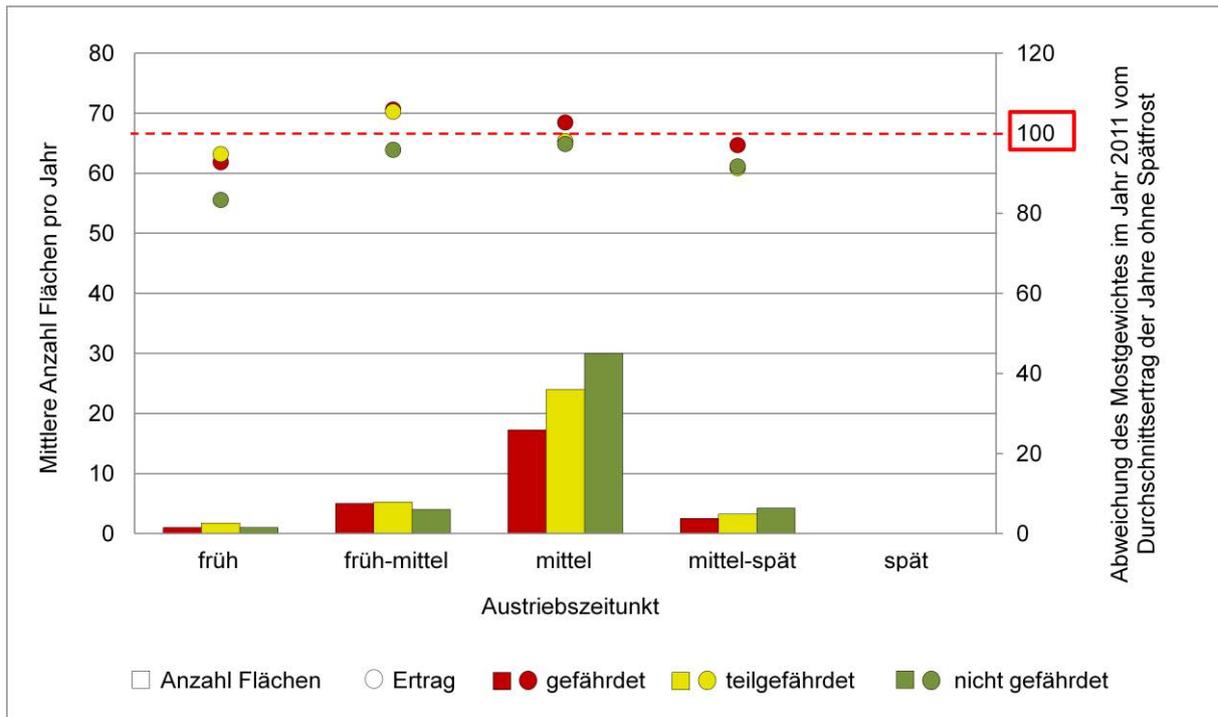


Abbildung 46 Einfluss des Austriebszeitpunktes und des Spätfrostrisikos der Lagen auf das Ausmaß der Mostgewichtseinbußen durch Spätfrost im April 2011 in weißen Rebsorten (Datenquelle: anonym, Anbaugebiet „Pfalz“)

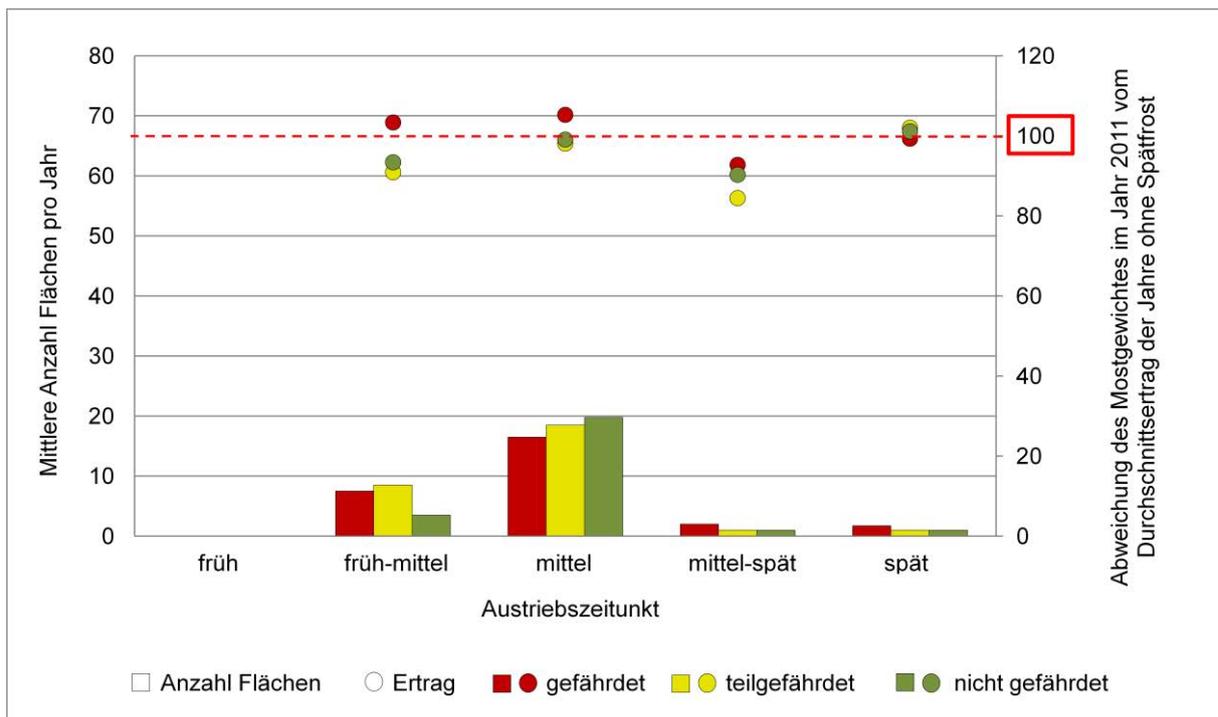


Abbildung 47 Einfluss des Austriebszeitpunktes und des Spätfrostrisikos der Lagen auf das Ausmaß der Mostgewichtseinbußen durch Spätfrost im April 2011 in roten Rebsorten (Datenquelle: anonym, Anbaugebiet „Pfalz“)