

Jürgen RAUH, Würzburg
Heiko PAETH, Würzburg

Anthropogener Klimawandel und Weinwirtschaft – Wahrnehmung und Anpassungsmaßnahmen fränkischer Winzer auf den Wandel klimatischer Bedingungen¹

Summary

The identification of climate change signals in agriculture is generally difficult, because the agrarian production is governed by many other, non-climatic factors (HAFNER 2003) like management methods, technological innovations, market conditions and political decisions. Anyhow, some implications of man-made climate change appear to affect the wine economy. Complex interconnections between climate and viticulture implicate opportunities as well as threats caused by climate change.

The paper deals with the dimension of climate change which can be observed from station time series and deduced from regional climate model projections adapted to the study area of the Franconian wine-growing region (Germany). A second emphasis lies on the effects of climate change on viticulture as currently seen by their actors.

Besides climate measurements and model applications, empirical surveys (interviews and questionnaire) with actors in the wine economy have been carried out in order to gather perceptions, appraisals and adjustment strategies to the effects of climate change. As a result the actors can be described as highly sensitive to and aware of the issue, but their openness and capability to adopt differ very much. Some easy to realize measures especially in the vineyards and partly in vine-producing techniques have already been implemented.

1 Einführung: Klimawandel und Weinwirtschaft

Der durch den Menschen verursachte Klimawandel stellt eine der großen Herausforderungen unserer Gesellschaft im 21. Jahrhundert und darüber hinaus dar (IPCC

¹ Die in dieser Studie vorgestellten Ergebnisse basieren maßgeblich auf Befragungen, die von 20 Studierenden in einem Projektseminar im Wintersemester 2007/2008 und Sommersemester 2008 am Institut für Geographie der Universität Würzburg ausgearbeitet und durchgeführt wurden. Die Aufbereitung und Auswertung der Beobachtungsdaten erfolgte durch Stefan MAURER im Rahmen seiner Zulassungsarbeit. Die Untersuchungen zur Bodenerosion in Weinbergslagen waren Gegenstand der Diplomarbeit von Katharina MEIK. Wir danken dem Deutschen Wetterdienst, dem Landesamt für Landwirtschaft sowie der Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau für die Bereitstellung der täglichen Niederschlags- und Temperaturdaten für Unterfranken sowie dem Umweltbundesamt für die Weitergabe der REMO-Daten, die am Max-Planck-Institut für Meteorologie erstellt wurden. Weiterhin sei den Winzergenossenschaften und Winzern in Thüingersheim, Sommerach, Hammelburg und Klingenberg für ihre Unterstützung bei der Durchführung der Befragungen gedankt.

2007a). Aktuelle Beobachtungsdaten und Klimamodellsimulationen belegen, dass die rezent beobachtete Erwärmung mit einer Wahrscheinlichkeit von über 90% auf die anthropogenen Emissionen von Treibhausgasen und Aerosolen zurückzuführen ist (IPCC 2007b). Mit der globalen Erwärmung gehen weitere Veränderungen der klimatischen Randbedingungen einher, die sich regional sehr unterschiedlich ausdrücken werden. Dabei besitzen vor allem die Niederschlagsänderungen sowie die Häufigkeit und Intensität von Extremereignissen große Relevanz (EASTERLING et al. 2000). Auch wenn hinsichtlich der Veränderung dieser Klimavariablen und Prozesse gerade auf der regionalen Maßstabsebene noch Unsicherheiten bestehen, zeichnet sich doch in vielen Großräumen bereits eine Verschiebung der klimatischen Randbedingungen ab, die Auswirkungen auf die landwirtschaftliche Produktion, das Gesundheitswesen und die Infrastruktur haben (IPCC 2007a). Zur Abwendung der negativen Implikationen des Klimawandels stehen der Gesellschaft zwei grundlegende Instrumente zur Verfügung (IPCC 2007c): der Emissionsschutz, der im Wesentlichen nur durch politische Vorgaben und Vereinbarungen auf internationaler Ebene wirksam gestaltet werden kann, und die Anpassung unserer Nutzungssysteme und Lebensweisen an die veränderten Bedingungen, was Maßnahmen bis hinunter auf die Ebene individueller Entscheidungsträger impliziert. Ein Paradigma für die Notwendigkeit zur Anpassung ist der Agrarsektor in praktisch allen Regionen der Erde (STERN 2006; IPCC 2007a). Dabei reicht das Spektrum von existentiellen Maßnahmen zur Erhaltung der Ernährungssicherheit – z.B. in der Sahelzone – bis hin zu verbessertem Management und Technologieeinsatz bei gewinnträchtigen Sonderkulturen in den Industrieländern. In diesem Zusammenhang adressiert der vorliegende Beitrag den Weinanbau in Unterfranken als ein regionales Beispiel für bereits getätigte und in Zukunft notwendige Anpassungen an den Klimawandel.

Die Identifikation von Klimasignalen in der Landwirtschaft ist allgemein schwierig, da die Agrarproduktion durch viele weitere, nichtklimatische Faktoren geprägt wird (HAFNER 2003). Hierzu zählen Managementpraktiken und technologische Neuerungen ebenso wie Marktbedingungen und schließlich die Politik. Dennoch zeichnen sich in der Weinwirtschaft bereits einige Einflüsse des Klimawandels ab. Aufgrund des komplexen Wirkungszusammenhangs zwischen Klima und Weinbau stehen sich dabei Chancen und Risiken durch den Klimawandel gegenüber (HOPPMANN u. SCHMITT 2001). Ein vordringliches Merkmal des Klimawandels ist der beobachtete Temperaturanstieg während der Wachstumsperiode in allen Weinanbauregionen Europas und den USA (NEMANI et al. 2001; JONES 2005). DUCHÈNE und SCHNEIDER (2005) stellten beispielsweise für das Elsass fest, dass die Anzahl der für die Weinaktivität relevanten Tage mit einer Durchschnittstemperatur von über 10°C im Zeitfenster 1970–2000 von 170 auf 210 zugenommen hat. Dadurch kam es vor allem beim Riesling zu einer Erhöhung des Alkoholgehaltes um bis zu 2 Volumenprozent. Nach SEGUIN et al. (2004) ist der heliothermische Index nach Huglin in allen französischen Weinbaugebieten deutlich angestiegen, was bereits zu einer Verschiebung im Rebsortenspektrum geführt hat (KENNY 1993). Gleichzeitig hat sich die interannuelle Variabilität bei Klima und Weinqualität verringert. Auch in Deutschland hat sich der Lesebeginn erheblich verfrüht, z.B. um bis zu 4 Wochen im Rheingau (STAAB et al. 2001). In Würzburg

hat sich der Reifebeginn beim Riesling von Anfang September auf Mitte August vorverlegt, eine weitere Vorverlegung bis Anfang August wird bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts erwartet. Gleichzeitig könnte sich klimabedingt das Rebsortenspektrum von Müller-Thurgau und Riesling hin zu Merlot und Cabernet Sauvignon verschieben. Auch wenn sich die Weinqualität durch die globale Erwärmung allgemein verbessert hat (JONES 2005), ist der Zusammenhang zwischen Temperatur und Weinqualität nicht linear. So deuten WHITE et al. (2006) auf den negativen Einfluss extremer Hitze auf die Produktion von Premiumweinen in den USA hin. Heiße Sommer mit ausreichend Niederschlag können ferner zu einem erhöhten Schädlingsbefall im Bestand führen (PETGEN 2007). Die Verschiebung des phänologischen Zyklus mit einer Vorverlegung der Blüte um bis zu 12 Tage seit 1970 verstärkt zudem die Exposition der Reben gegenüber Spätfrösten (BECKER 2003). Höhere Temperaturen implizieren auch eine Veränderung der Inhaltsstoffe in der Traube, die nicht zwangsläufig mit einer Verbesserung der Qualität verbunden ist (BECKER 2003). Eine weitere mutmaßliche Konsequenz des Klimawandels besteht in der verstärkten UV-Strahlung, die zu Sonnenbrand auf den Trauben führen kann (SCHULTZ 2005). Dies gilt vordringlich auch für traditionelle fränkische Rebsorten wie den Bacchus. Zwar profitiert die Weinrebe als so genannte C3-Pflanze vom erhöhten atmosphärischen CO₂-Gehalt, allerdings betrifft dies vor allem das vegetative statt generative Wachstum, d.h. die Blattflächen- statt Traubenentwicklung (SCHULTZ 2005). Nach STELLMACH (2006) besteht jedoch die größte Bedrohung für den Weinanbau in der Zunahme des sommerlichen Trockenstress, was in Zukunft zu einem erhöhten Bewässerungsbedarf vor allem in heute strahlungsbegünstigten Steillagen führen wird (BÄCKER et al. 2006; JAGOUTZ 2006). Neben der Verringerung des sommerlichen Wasserangebots ist zu befürchten, dass Starkregen in Zukunft häufiger und intensiver auftreten. Dadurch würde die ohnehin hohe Vulnerabilität von Rebflächen bzgl. der Bodenerosion weiter ansteigen (BAKKER et al. 2008; BRENOT et al. 2008; QUIQUEREZ et al. 2008). Am Beispiel der kanadischen Weinwirtschaft haben BELLIVEAU et al. (2006) aufgezeigt, dass schließlich auch ökonomisch motivierte Entscheidungen der Winzer zu neuen Rebsorten führen können, die dann eine erhöhte Sensitivität gegenüber den regionalen klimatischen Gegebenheiten besitzen.

Die Wahrnehmung, der Umgang und die Anpassung bzgl. des Klimawandels durch die Winzer und Kellermeister sind jedoch sehr unterschiedlich. Eine vom Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V. initiierte Befragung unter 255 Winzern in Frankreich, Italien und Deutschland zeigte, dass zwar die Mehrheit der befragten Winzer bereits Klimaveränderungen wahrgenommen und auch Auswirkungen auf Erträge, Qualität und Rebkrankheiten registriert hat (STOCK 2005, 38). Allerdings wird am ehesten bei den befragten deutschen Winzern die Bereitschaft erkennbar, mit anderen oder neuen Rebsorten als Strategie gegen den Klimawandel zu arbeiten, während französische und italienische Winzer eher konservativ und weniger experimentierfreudig reagieren (STOCK 2005, 40f.).

Im Hinblick auf den zukünftigen Klimawandel sind bislang nur wenige regionale Studien durchgeführt worden. So prognostizieren STOCK et al. (2003) anhand von drei mitteleuropäischen Weinanbauregionen bis zum Jahr 2050 eine Verschiebung des Huglin-Index hin zu wärmeliebenden Rotweinsorten wie Syrah und Cabernet.

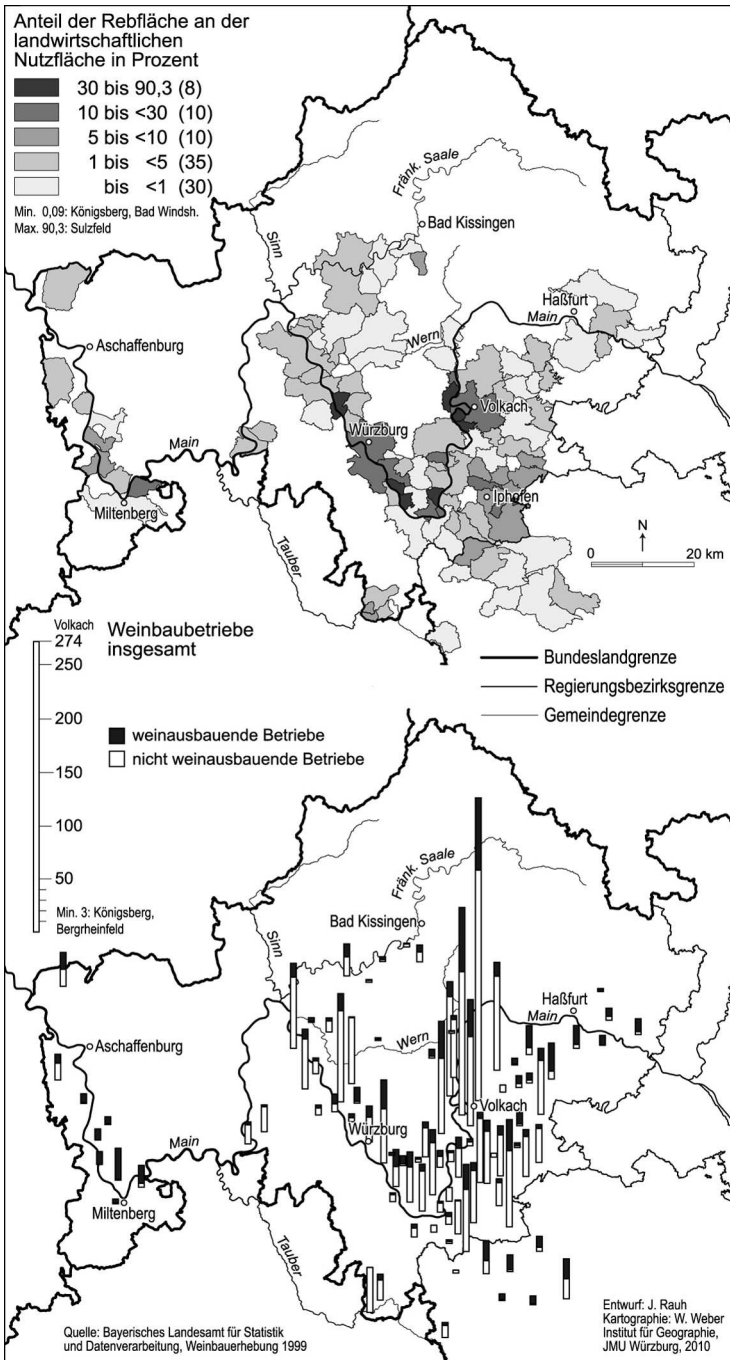


Abb. 1: Weinbaugebiet Franken (ohne Tauberfranken)

Für die Weinwirtschaft in Unterfranken werden in der vorliegenden Studie die beobachteten und für die Zukunft simulierten Entwicklungen einiger für den Weinbau relevanten Klimaparameter erfasst und statistisch getestet, um die sich ändernden klimatischen Randbedingungen und die daraus erwachsenden Anpassungserfordernisse für die Winzer zu beleuchten (s. Kap. 3). Anschließend sollen die klimabeeinflussten Erfahrungen und Erwartungen der fränkischen Weinbauakteure auf der Basis qualitativer und quantitativer empirischer Erhebungen behandelt werden (s. Kap. 4). Doch zunächst soll das Weinland Franken in seiner Entwicklung und seiner heutigen Struktur kurz vorgestellt werden.

2 Weinland Franken

Das heutige Kerngebiet des fränkischen Weinlandes erstreckt sich von Aschaffenburg im Westen bis in die Nähe von Bamberg im Osten (ca. 100 km) und von Hammelburg im Norden bis Röttingen im Süden (ca. 70 km) (Abb. 1). Die Höhenlage des fränkischen Weinbaus variiert zwischen 125 m ü. NN (Klingenberg) und 410 m ü. NN (nördlicher Steigerwald). Die Weinberge säumen das Maintal, den Westabfall des Steigerwalds und die Täler verschiedener Nebenflüsse wie Fränkische Saale, Wern und Tauber. Die geologischen Hauptformationen der fränkischen Trias mit Bundsandstein, Muschelkalk und Keuper bilden eine wichtige Voraussetzung für die vielfältigen Weine.

Der Weinbau in Franken blickt auf eine lange, wechselhafte Tradition zurück (SCHENK 1994). Seit den 1960er Jahren begann ein erfolgreicher Wiederaufbau, der sich in einer Flächenausdehnung des fränkischen Weinbaus bemerkbar macht. Begünstigt bzw. ermöglicht wurde diese Entwicklung durch eine Grundsatzentscheidung zum Qualitätsweinbau, eine neue Qualitätsinitiative mit vielschichtigen Marketingprogrammen und -maßnahmen, die Gründung und Förderung von Erzeuger- und Vermarktungsgemeinschaften, den Einsatz moderner Produktionsmittel (Technik, Düngung, Rebschutz, Pfropfrebe) sowie neuer Rebsorten, Neuordnungen im Flurbereinigungsverfahren, Maßnahmen der Dorferneuerung und der Weindörferentwicklung (vgl. STRUCK 2000) sowie neue Dienstleistungen rund um den Wein (Tourismus, Gastronomie, Neugestaltung von Weinfesten und -events, ...). Insbesondere den Genossenschaften, allen voran der mit heute 2.538 Mitgliedern und 1.433 ha Rebfläche großen Gebiets-Winzergenossenschaft Franken (GWF), werden eindeutige positive wirtschaftliche und raumstrukturelle Erfolge für den ländlichen Raum Unterfrankens sowie für den Erhalt und die Ausweitung des Weinbaus zugeschrieben (SCHENK 1993). Seit Anfang der 1990er Jahre hat sich die Gesamtrebfläche in Franken bei gut 6.000 ha konsolidiert. 2009 lag sie bei 6.250 ha, wovon über 5.900 ha im Ertrag stehen (LWG 2009a).

Die Entwicklung der Anzahl der Weinbaubetriebe verlief jedoch zur Rebflächenentwicklung der letzten Jahre nicht parallel. Auch im fränkischen Weinbau ist die Konzentrationstendenz auf weniger und größere Betriebe beobachtbar. Tab. 1 gibt einen Überblick über die Entwicklung der Anzahl der Weinbaubetriebe in Bayern nach Größenklassen, wovon die Betriebe im Weinbaugebiet Franken ca. 99% einnehmen. Demnach ist die Anzahl der Wein anbauenden Betriebe seit 1989 um fast ein Drittel zurückgegangen. Dieser Rückgang konzentriert sich auf Klein- und

Tab. 1: Strukturwandel in den Weinbaubetrieben Bayerns – Größenklasse der Betriebe

Jahr	< 0,5 ha	0,5–1,0 ha	1,0–5,0 ha	5,0–10,0 ha	> 10,0 ha	gesamt
1989	5.105	1.101	1.131	113	35	7.485
1998	4.774	996	994	163	54	6.981
2002	4.319	896	865	191	63	6.333
2004	4.088	878	866	198	64	6.094
2005	3.870	861	844	206	67	5.848
2006	3.781	834	827	200	72	5.714
2007	3.585	787	804	214	74	5.464
2008	3.339	796	787	218	79	5.219
2009	3.182	765	780	219	85	5.031

Quelle: Bayer. Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau 2009b

Mittelbetriebe bis 5 ha, während die Zahl der Betriebe über 5 ha sich mehr als verdoppelte. Deutlich wird jedoch auch, dass nach wie vor Kleinbetriebe mit einer Anbaufläche unter einem halben Hektar das Gros der Wein anbauenden Betriebe stellen. Damit erklärt sich der (noch) hohe Anteil von 63% Nebenerwerbsbetrieben.

Die Anzahl der weinausbauenden und direktvermarktenden Betriebe ist mit 940 (Betriebe > 0,3 ha) eher gering. Es sind vorwiegend Betriebe mit großen Flächen. Ein Großteil der fränkischen Weinbauern sind Traubenerzeuger (ca. 69% der Betriebe über 0,3 ha). Damit nehmen die Erzeugergemeinschaften in Franken insgesamt und insbesondere für die Klein- und Mittelbetriebe eine bedeutende Rolle ein. Der Anteil der Erzeugergemeinschaften an den Betrieben liegt bei ca. 56%, an der Ertragsrebfläche bei ca. 38% und bei der Weinmenge bei ca. 44% (LWG 2009a).

Die Gesamtweinerzeugung pro Jahr liegt in Franken bei 400.000 bis 500.000 hl bei einer durchschnittlichen Flächenleistung von knapp 84 hl/ha (1999–2008) (LWG 2009a). Dieser Wert ist niedrig (Tab. 2), was vor allem qualitätsverbessernden Maßnahmen geschuldet ist, wie z.B. einem Qualitätsschnitt von Trauben, der kurz vor der Lese noch einmal den Zucker- und Aromagehalt erhöhen soll. Diese Qualitätsinitiative des sowohl hinsichtlich der Anbaufläche als auch des produzierten Weines an sechster Stelle der deutschen Weinanbaugebiete platzierten Fränkens artikuliert sich aber nicht nur in hohen Anteilen an Qualitäts- und Kabinettweinen. Zuträglich sind dem auch erweiterte Produkt- und Dienstleistungsangebote, strategisch abgestimmten Maßnahmen in Weinbau, Kellerwirtschaft und Vermarktung sowie imagebildende Maßnahmen und neue Konzepte im Weintourismus. Zu nennen wären z.B. Vinotheken der Winzergenossenschaften und Gemeinden, betriebliche Präsentationsräume, Tagungen und Seminare rund um das Thema Wein, Gästeführungen unter dem Stichwort Weinerlebnis sowie veränderte und differenzierte Weinproduktlinien (*Neue Franken, Klassische Franken, Große Franken*) (vgl. KOLESCH 2009).

Tab. 2: Strukturdaten der wichtigsten deutschen Weinanbaugebiete (2008)

Anbau- gebiet	bestock- te Reb- flächen in ha	Anteil Weiß- wein in %	Ertrags- rebfläche in ha	Most- ertrag in hl	Flächen- ertrag in hl/ha	Tafel- wein in %	Qualitäts- wein in %	Prädikats- wein in %
Rhein- hessen	26.444	69	25.669	2.865.276	111,6	12,0	65,6	22,4
Pfalz	23.461	61	22.884	2.390.349	104,5	9,8	74,1	16,1
Baden	15.906	56	15.469	1.382.005	89,3	0,1	32,3	67,6
Württem- berg	11.511	29	11.337	1.136.368	100,2	–	22,4	77,6
Mosel	9.034	91	8.790	907.969	103,3	0,7	74,4	24,9
<i>Franken</i>	<i>6.063</i>	<i>80</i>	<i>5.946</i>	<i>463.853</i>	<i>78,0</i>	<i>0,4</i>	<i>39,2</i>	<i>60,4</i>
Nahe	4.155	75	4.066	380.468	93,6	4,0	66,7	29,2
Rheingau	3.125	85	3.061	276.294	90,3	–	35,9	64,1
Saale- Unstrut	685	74	673	54.592	81,1	0,1	87,6	12,3
Ahr	558	14	543	43.038	79,3	3,1	95,2	1,8
Sachsen	462	81	435	27.438	63,1	3,1	59,3	37,6
Mittelrhein	461	85	449	36.830	82,0	1,0	74,0	25,0
Hessische Bergstraße	439	79	425	36.952	86,9	–	18,7	81,3

Quelle: Deutsches Weininstitut 2009 unter Angabe der Datenquellen Statistisches Bundesamt und Deutscher Weinbauverband e.V.

Die Erträge und die produzierten Weinmengen haben sich in den vergangenen Jahren auf die oben genannten Werte weitgehend stabilisiert. Stärkere Ertragschwankungen aus klimatischen Gründen, wie sie WEISENSEE (1982) und GLASER (1991) für die historische Entwicklung angeführt haben, sind derzeit kaum relevant. Doch wie sehen die klimatischen Randbedingungen und Erwartungen der Zukunft für Unterfranken aus?

3 Wandel der klimatischen Randbedingungen in Unterfranken

Für das Maintal zwischen Volkach und Gemünden stehen insgesamt 13 Messstationen für den Niederschlag und 7 für die bodennahe Temperatur zur Verfügung, die seit 1947 regelmäßig tägliche Werte liefern. Um das unterfränkische Weinbaugebiet als Ganzes zu repräsentieren und eine bessere Vergleichbarkeit mit den Klimamodelldaten zu erreichen, wurden die Stationsreihen zu einem regionalen Mittel aggregiert. Die Zukunftsperspektive des Klimas im Maintal wird durch eine Simulation mit dem regionalen Klimamodell REMO abgebildet. Bei REMO handelt es sich um ein hydrostatisches dynamisches Klimamodell, welches auf den physikalisch basierten, nichtlinearen prognostischen und diagnostischen Glei-

chungen des atmosphärischen Geschehens beruht (JACOB et al. 2001). Die hier untersuchte Simulation besitzt eine Auflösung von ca. 10 km x 10 km und umfasst das Staatsgebiet der Bundesrepublik Deutschland sowie angrenzender Nachbarländer (JACOB et al. 2008). An den seitlichen Rändern und im Ozean wird die REMO-Simulation durch die Ausgabewerte einer globalen Simulation mit dem gekoppelten Atmosphäre-Ozean-Modell ECHAM5/MPI-OM angetrieben. Das Zeitfenster der Simulation überspannt die Jahre 1950 bis 2100, wobei bis zum Jahr 2000 beobachtete Treibhausgasanstiege und danach die projizierten Treibhausgaskonzentrationen unter dem Emissionsszenario A1B vorgeschrieben wurden. Dieses Szenario geht von einem zukünftigen Mix regenerativer und fossiler Energieträger beim Energiekonsum, einem moderaten Bevölkerungswachstum und einer eher geringen Tendenz zur Nachhaltigkeit aus (NAKICENOVIC u. SWART 2000). Es wird häufig als wahrscheinlichstes Szenario der aktuellen Szenarienfamilie des Weltklimarates (IPCC = Intergovernmental Panel on Climate Change) verstanden. Für den Vergleich mit den Beobachtungsdaten werden jeweils die den Messstationen nächst gelegenen Modellgitterboxen identifiziert und ebenfalls zu einem regionalen Mittel aggregiert. Dabei dient der Überlappungszeitraum 1947–2006 als Validationskriterium für die hier untersuchten Klimamodellvariablen Temperatur und Niederschlag. Um die langfristigen Trends in den beobachteten und simulierten Zeitreihen zu bestimmen, wurde mittels nichtlinearer Regression ein Trendpolynom 2. Grades an jede Zeitreihe angepasst und mittels eines F-Tests auf statistische Signifikanz bzgl. verschiedener Irrtumswahrscheinlichkeiten überprüft (s. VON STORCH u. ZWIERS 1999).

Tab. 3: Gesamtänderungen der bodennahen Temperatur in °C und des Niederschlages in mm nach Jahreszeit sowie der Häufigkeit von Extremereignissen in Tagen pro Jahr (T/a) im Zeitfenster 1947–2006 (Beobachtungen) bzw. 1950–2100 (Modell) gemäß Trendpolynom 2. Grades mit Angabe der statistischen Signifikanz des Trends (* = 10%, ** = 5%, *** = 1%).

	Temperatur		Niederschlag	
	Beobachtungen	Modell	Beobachtungen	Modell
Winter	+1,4°C *	+5,2°C ***	-15,2 mm	34,0 mm
Frühjahr	+0,8°C ***	+3,2°C ***	+16,2 mm	15,1 mm
Sommer	+1,1°C ***	+4,9°C ***	-35,8 mm	-65,2 mm ***
Herbst	+0,4°C *	+5,1°C ***	+23,0 mm	-7,0 mm
Hitze/Starkregen	+2,0 T/a	+50,8 T/a ***	-1,0 T/a	+5,1 T/a ***
Kälte	-3,6 T/a	-3,8 T/a ***	-	-

Die seit 1947 beobachteten und bis 2100 simulierten Zeitreihen der bodennahen Temperatur sind in Abb. 2 differenziert nach meteorologischen Jahreszeiten (Winter: Dezember – Februar; Frühjahr: März – Mai usw.) dargestellt. Die angepassten Trendpolynome 2. Grades sind gestrichelt eingezeichnet. Ferner enthält Tab. 3 die

durch die Trendpolynome ausgedrückten langfristigen Änderungen der bodennahen Temperatur sowie das Irrtumsniveau bei Ablehnung der Nullhypothese, die besagt, dass kein quadratischer Trend in den Zeitreihen existiert. Die beobachteten Temperaturzeitreihen sind in allen Jahreszeiten durch einen statistisch signifikanten, positiven Trend gekennzeichnet, der im Winter und Sommer besonders hoch ausfällt. So hat sich die Wintertemperatur im Maintal im Zeitraum 1947 bis 2007 um $1,4^{\circ}\text{C}$ erhöht. Dies ist erheblich mehr als im globalen Durchschnitt, bei dem die Erwärmung im Bereich von $0,8^{\circ}\text{C}$ innerhalb von 100 Jahren liegt (IPCC 2007b). Abgesehen vom Herbst lässt sich gleiches auch für die anderen Jahreszeiten feststellen. Aus diesen bemerkenswerten Erwärmungsraten lässt sich schließen, dass sich Unterfranken – wie fast der gesamte süddeutsche Raum – in einem so genannten *Hot Spot* des Klimawandels befindet (GIORGI 2006). Es ist aber auch anzumerken, dass die Temperaturvariabilität von Jahr zu Jahr stark ausgeprägt ist, vor allem im Winter. Dadurch lässt sich auch erklären, weshalb die geringere Erwärmungsrate im Frühjahr ein Signifikanzniveau von 1%, hingegen im Winter von 10% erreicht. Ferner ist zu beobachten, dass sich die Erwärmung nicht kontinuierlich vollzogen hat. Der rezenten Temperaturerhöhung ging eine relative Kaltanomalie voraus, die in den 1960er und 1970er Jahren wohl mit dem verstärkten anthropogenen Ausstoß von Sulfataerosolen einherging (IPCC 2007b). Das regionale Klimamodell REMO reproduziert die beobachteten Temperaturmittelwerte im Überlappungszeitraum, kann allerdings die interannuelle bis dekadische Variabilität der Beobachtungsdaten nicht abbilden, da diese Zeitskalen nicht im Bereich der durch die Treibhausgase induzierten Vorhersagbarkeit von ca. 30 bis 60 Jahren liegt. Wohl aber zeichnet sich im Klimamodell in allen Jahreszeiten ein signifikanter Erwärmungstrend auf der langen Zeitskala ab, der mit der beobachteten Temperaturerhöhung weitgehend konsistent ist und bis zum Ende des 21. Jahrhunderts Erwärmungsraten um bis zu $5,2^{\circ}\text{C}$ erreicht (s. Abb. 2 und Tab. 3). Dies ist wiederum mehr als unter Annahme des A1B-Emissionsszenarios im globalen Mittel simuliert wird (IPCC 2007b). Angesichts der bereits beobachteten Erwärmung und der damit verbundenen Auswirkungen auf die unterfränkische bzw. deutsche Weinwirtschaft (BECKER 2003; SCHULTZ 2005; PETGEN 2007) sind die bis zum Jahr 2100 simulierten Temperaturerhöhungen sicherlich mit großer Sorge zu sehen.

Für die saisonalen Niederschlagssummen zeigt sich ein etwas differenzierteres Bild (Abb. 3): Im Winter war in den Beobachtungsdaten ein leichter Rückgang zu verzeichnen, welcher die leicht feuchteren Bedingungen in den Übergangsjahreszeiten kontrastiert und auch im Gegensatz zu den ansonsten leicht positiven Niederschlagstrends im Winter in Westdeutschland steht (GERSTENGARBE u. WERNER 2006). Allerdings ist der Niederschlagsrückgang im Maintal nicht statistisch signifikant (s. Tab. 3), also nicht verschieden von null, und sollte deshalb nicht überinterpretiert werden. Allgemein ist die interannuelle Variabilität im Niederschlag so groß, dass die beobachteten Niederschlagstrends in allen Jahreszeiten nicht signifikant sind. Dies gilt auch für den Sommer, obwohl der Niederschlagsrückgang mit 35 mm bereits eine Größenordnung von über 18% gegenüber dem langjährigen Mittelwert eingenommen hat. Der daraus resultierende Trockenstress während der sommerlichen Wachstumsphase der Weinreben hat bereits zu einem veränderten Bodenwassermanagement im Weinbau geführt (BÄCKER et al.,

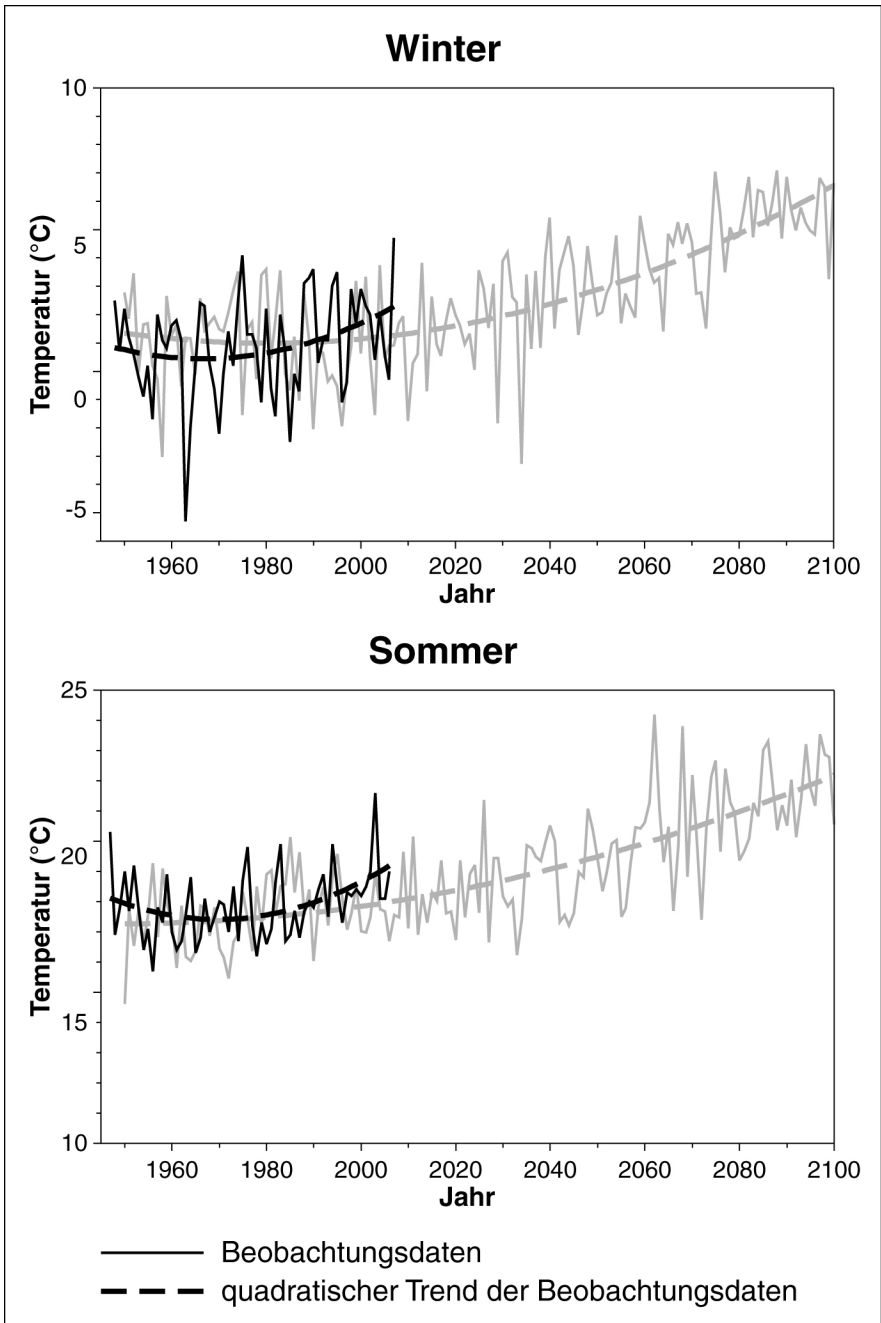
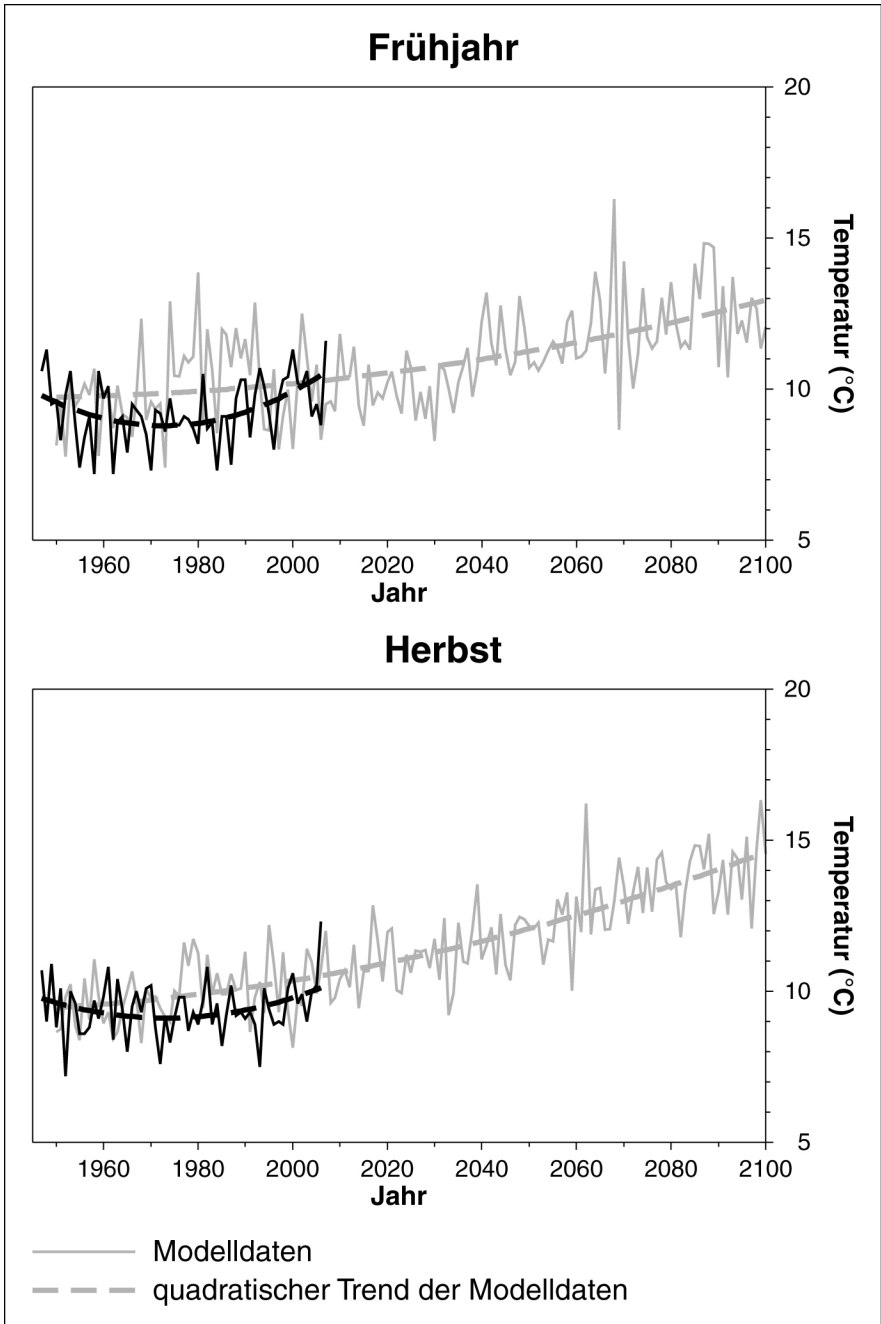


Abb. 2: Zeitreihen der beobachteten und simulierten bodennahen Temperatur ...→



[Abb. 2f.] ... im Maintal nach Jahreszeit mit geschätztem Trendpolynom 2. Grades.

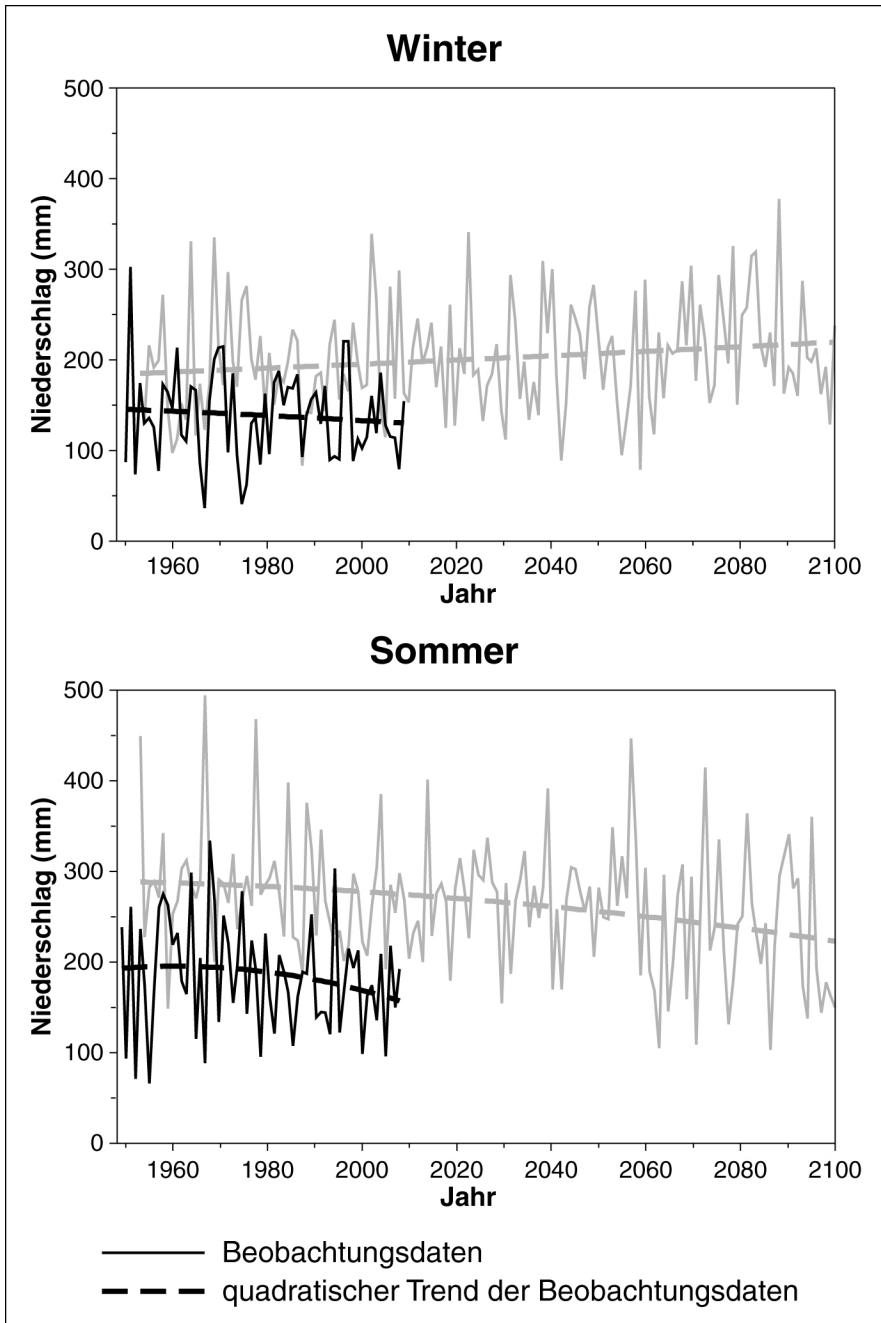
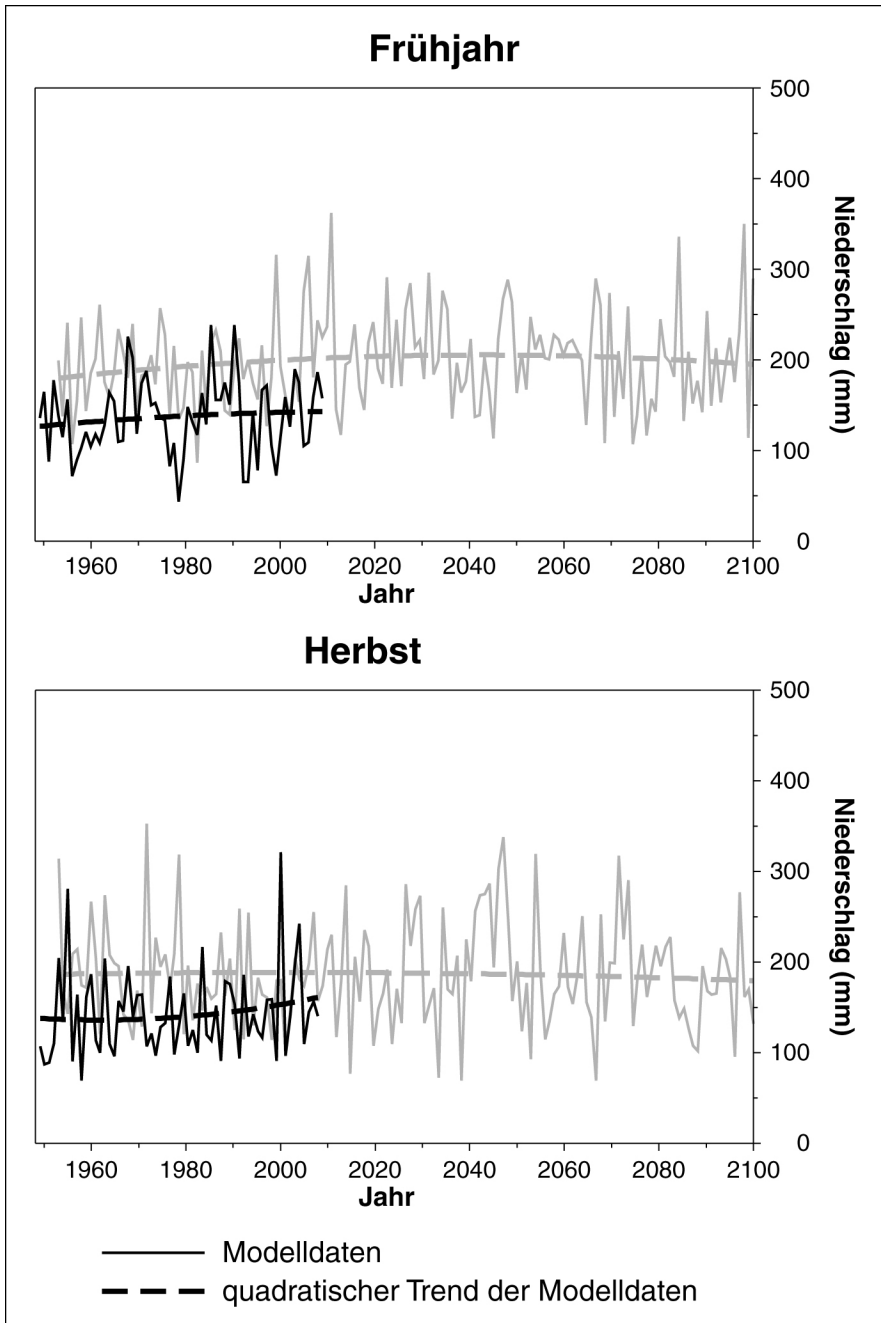


Abb. 3: Zeitreihen des beobachteten und simulierten Niederschlags im Maintal ... →



[Abb. 3f.] ... nach Jahreszeit mit geschätztem Trendpolynom 2. Grades.

2006; JAGOUTZ 2006). Das Klimamodell REMO überschätzt die beobachteten Niederschlagswerte systematisch. Dies ist dadurch zu begründen, dass das Modell trotz der relativ hohen horizontalen Auflösung von 10 km x 10 km die Barriereeffekte der deutschen Mittelgebirge unterschätzt (JACOB et al. 2008). Im Falle des Maintals betrifft dies vor allem den Spessart, durch den bei vorwiegend westlichen Windrichtungen häufig eine Leesituation im Würzburger Großraum entsteht. Positiv zu bewerten ist hingegen, dass REMO die Amplituden der beobachteten interannuellen Variabilität reproduziert. Deshalb sind auch die simulierten langfristigen Änderungen als aussagekräftig zu betrachten. Bis zum Ende des 21. Jahrhunderts zeichnet sich unter der Vorgabe steigender Treibhausgaskonzentrationen eine weitere Abnahme des Sommerniederschlags ab, die bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 1% schließlich Werte im Bereich von über 34% erreicht. Der damit verbundene sommerliche Trockenstress wird vermutlich – wie bereits von STELLMACH (2006) vermutet – die größte Bedrohung für den unterfränkischen Weinbau darstellen. Der sommerliche Niederschlagsrückgang wird auch nicht durch die leicht steigenden Niederschlagssummen im Winter und Frühjahr aufgefangen, die zudem auch im Klimamodell nicht statistisch signifikant sind.

Weiterhin von großer Bedeutung für die Weinwirtschaft sind Veränderungen in der Eintrittshäufigkeit und Intensität von thermischen und hygri-schen Extremereignissen wie Hitzewellen, Kältewellen und Starkniederschlägen (EASTERLING et al. 2000; BECKER 2003; PETGEN 2007; QUIQUEREZ et al. 2008). Abb. 4 enthält Zählstatistiken warmer und kalter Temperaturextreme auf der Grundlage von 3 langjährigen Messstationen in Unterfranken, die seit 1947 weitgehend lückenlos tägliche Werte bereitstellen. Die Modellzeitreihen beziehen sich wiederum auf die nächstgelegenen Modellgitterboxen. Als Kriterium für ein warmes bzw. kaltes Extremereignis wurde eine Eintrittswahrscheinlichkeit von 1:365 definiert. Dies entspricht statistisch gesehen dem wärmsten bzw. kältesten Tag pro Jahr. Die entsprechenden Schwellwerte der Beobachtungsdaten liegen für Kaltextreme um -11°C und für Warmextreme bei ca. $25,5^{\circ}\text{C}$. Diese Werte werden mit sehr großer Genauigkeit auch vom Klimamodell simuliert, was darauf hindeutet, dass topographische Unterschiede zwischen Modellgitterboxen und Messstationen angesichts der hohen Modellauflösung in Unterfranken keine große Rolle spielen. Die Zählstatistik beinhaltet für jedes Jahr jeweils kumulative Werte über die 3 Stationen bzw. Modellgitterboxen. Im Hinblick auf die warmen Temperaturextreme liegt in den Beobachtungsdaten eine Zunahme von +2 Tagen pro Jahr vor (s. Tab. 3). Diese Tendenz wird maßgeblich – aber nicht nur – durch den Hitzesommer 2003 geprägt. Sie ist jedoch statistisch nicht signifikant. Die Klimamodellprojektion hingegen offenbart eine bemerkenswerte Zunahme der Hitzetage bis zum Jahr 2100. Im Mittel werden am Ende des 21. Jahrhunderts 50 Hitzetage pro Jahr mehr zu verzeichnen sein als heute. Diese Entwicklung ist nicht nur für die Weinwirtschaft, sondern allgemein für die Lebensbedingungen in Unterfranken mit großer Besorgnis zu betrachten. Bei den Kaltextremen zeichnet sich hingegen eine gegenläufige Entwicklung ab, allerdings mit geringerer Amplitude: Im Mittel wurden in der Vergangenheit und werden in der Zukunft pro Jahr ca. 4 Kältetage weniger gemessen. Diese Entwicklung hat direkte Auswirkungen auf den Eiswein, der vor allem im Herbst und Frühwinter tiefe Temperaturen benötigt. Hinzu kommen vermutlich

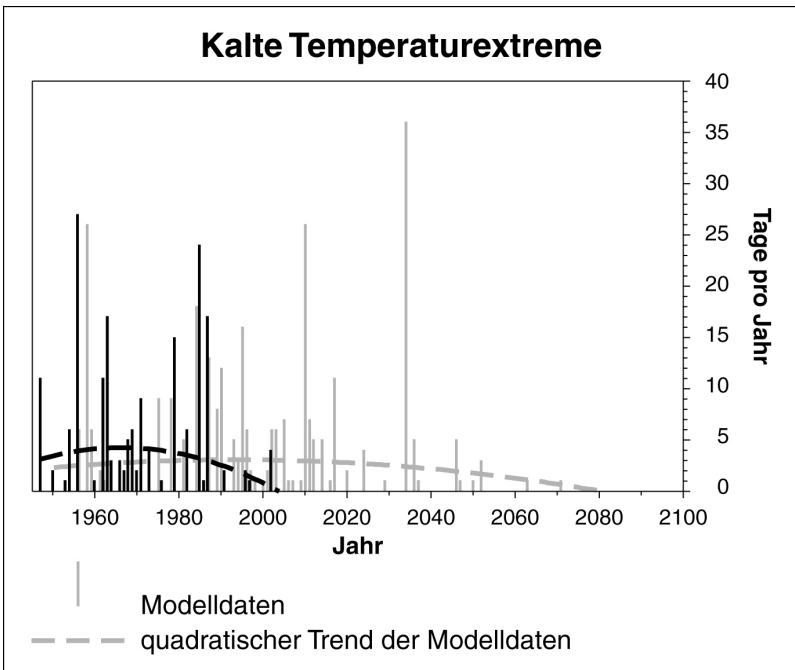
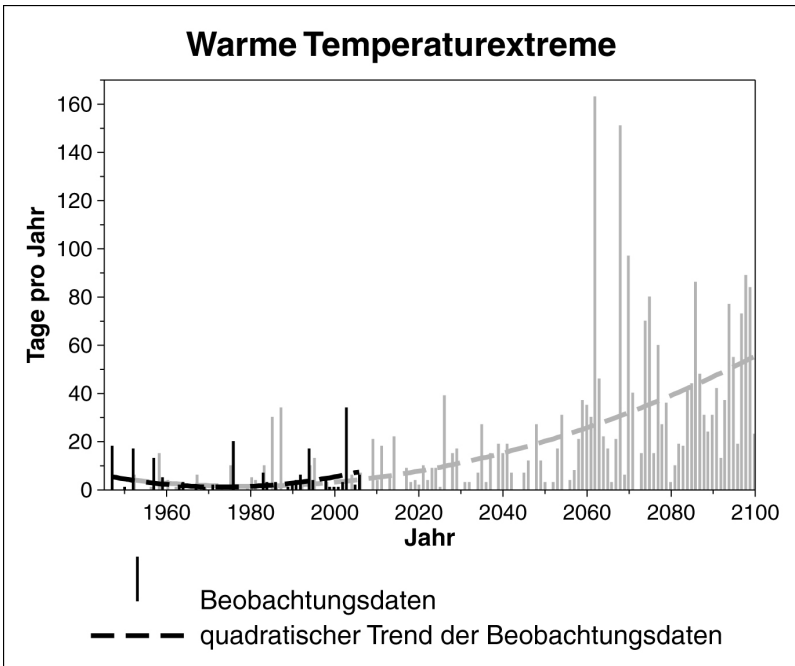


Abb. 4: Zeitreihen der beobachteten und simulierten Häufigkeit von warmen und kalten Temperaturextremen in Unterfranken mit geschätztem Trendpolynom 2. Grades. Zur Definition der Extreme siehe Text.

indirekte Effekte wie die erhöhte Überlebenswahrscheinlichkeit von Schädlingen, die allerdings gegenwärtig noch nicht sicher abgeschätzt werden können (vgl. PETGEN 2007).

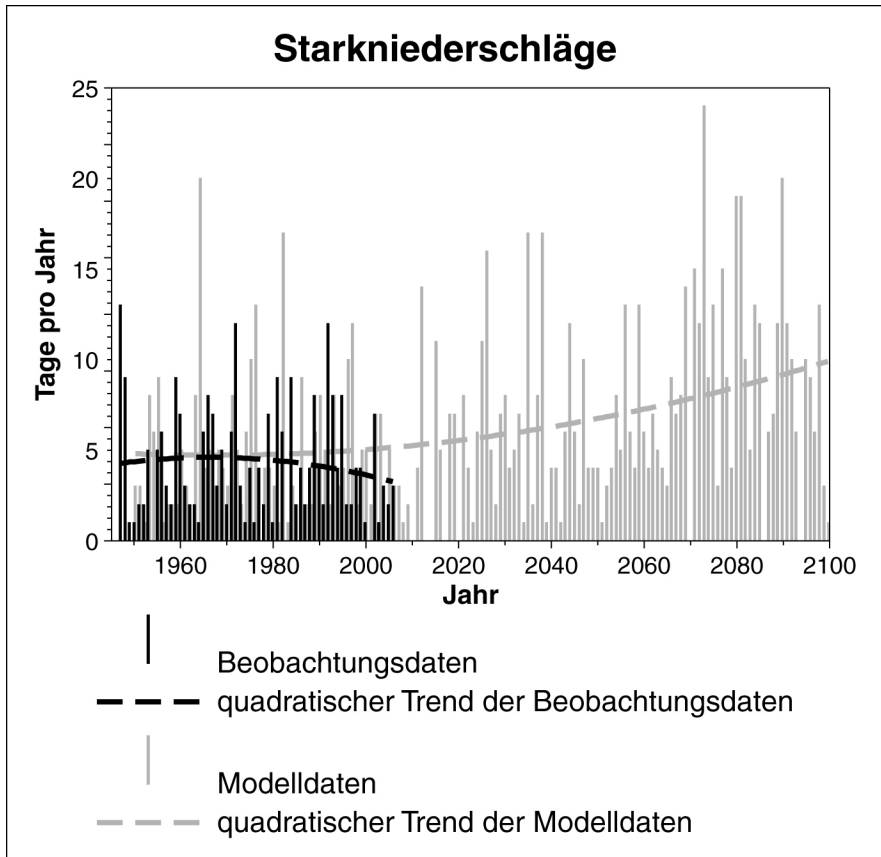


Abb. 5: Zeitreihen der beobachteten und simulierten Häufigkeit von Starkniederschlägen in Unterfranken mit geschätztem Trendpolynom 2. Grades. Zur Definition der Extreme siehe Text.

Veränderungen in der Eintrittshäufigkeit von Starkniederschlägen sind der Abb. 5 zu entnehmen. Auch hier wird eine Wahrscheinlichkeit von 1:365 als oberer Schwellwert definiert. Allerdings bezieht sich die Zählstatistik nun auf 9 Messstationen mit fast lückenloser Datenverfügbarkeit bzw. 9 Modellgitterboxen. Je nach Messstation variieren die Schwellwerte zwischen 30 und 50 mm Niederschlag pro Tag. Erstaunlicherweise werden diese Werte auch von REMO simuliert. Es ist wohl der hohen horizontalen Auflösung in REMO geschuldet, dass die typische Unterschätzung von Niederschlagsexremen durch Klimamodelle (EASTERLING et al. 2000; ZOLINA et al. 2004) bei der hier vorliegenden Klimamodellsimulation nicht auftritt. In den Beobachtungsdaten ist zwar eine leichte Abnahme im Auf-

treten von Starkniederschlägen zu erkennen. Diese tritt jedoch kaum vor dem Hintergrund der starken interannuellen Variabilität hervor und ist demzufolge nicht statistisch signifikant. Es lässt sich aber auch keine Tendenz zur Zunahme feststellen, wie in der Wahrnehmung vieler Akteure im unterfränkischen Weinbau manchmal verlautbart. Im Klimamodell ergibt sich hingegen eine statistisch signifikante Zunahme um ca. fünf Tage pro Jahr bis zum Ende des 21. Jahrhunderts (s. Tab. 3). Damit liegt unter der Vorgabe des A1B-Emissionsszenarios eine denkbar ungünstige Situation für den unterfränkischen Weinbau vor: Die Sommerniederschläge gehen allgemein zurück und gleichzeitig verschiebt sich die Verteilung täglicher Niederschläge hin zu häufigeren Extremereignissen. Starkniederschläge sind mit erhöhter Erosion und Bodendegradation verbunden (BECKER 2003; BRENOT et al. 2008; QUIQUEREZ et al. 2008) und können erhebliche ökonomische Folgeschäden im Weinberg verursachen (MARTÍNEZ-CASASNOVAS u. RAMOS 2006). Eigene Erosionsmessungen in unterfränkischen Weinbergen haben während der Vegetationsperiode im Jahr 2008 ergeben, dass Niederschläge ab 10 mm pro Tag an aufgelassenen Weinbergshängen bereits enorme Erosionsraten hervorrufen können. Allerdings zeigte sich auch, dass der Zustand der Weinberge (Neupflanzung, Zwischenbegrünung usw.) einen essentiellen Faktor für die Erosionsgefährdung darstellt, der bei angepasster Bearbeitungsweise das Risiko auf ein Minimum reduziert. Im Vergleich lag das erodierte Bodenvolumen pro untersuchten Schlammfänger bei 60 bis 100 l pro Ereignis in Weinbergen mit Zwischenbegrünung und bis zu 6.000 l pro Ereignis bei einer Neupflanzung.

4 Auswirkungen des Klimawandels – Die Sicht von Weinbauern und Weinexperten

Im Frühjahr/Sommer 2008 wurden leitfadengestützte Interviews mit diversen Experten aus der fränkischen Weinbranche wie auch standardisierte schriftliche Befragungen unter Weinbauern durchgeführt. Die Erhebungen zielten zum einen auf differenzierte Einschätzungen zum Einfluss des Klimawandels auf die Weinwirtschaft sowie auf mögliche und durchgeführte Anpassungen und Handlungsoptionen ab.

In den Experteninterviews wurden Gespräche mit führenden Winzern der Region, Kellermeistern, Vorsitzenden bzw. Vorstand zweier Winzergenossenschaften und einem Mitarbeiter der Bayerischen Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG) zu den fünf Themen „Wahrnehmung des Klimawandel“, „Chancen oder Risiken durch den Klimawandel“, „Anpassungsmöglichkeiten des fränkischen Weinbaus“, „Veränderungen im Tourismusbereich“ und „Stellung des fränkischen Weinbaus“ geführt. Die Zielsetzung der standardisierten Befragung war, die Einschätzung der Winzer und Weinbauern zum Klimawandel sowie die schon getroffenen Anpassungsmaßnahmen zu erfassen und auszuwerten. Hierzu wurde mit einem standardisierten Fragebogen gearbeitet. Die Verteilung des Fragebogens erfolgte durch die Winzergenossenschaften Thüngersheim und Sommerach. Außerdem wurden Fragebögen an Winzer in Hammelburg, Klingenberg, Nordheim, Sommerach und Thüngersheim verteilt. Von 420 Fragebögen wurden 121 ausgefüllt zurückgesendet (Rücklaufquote: 29%). Die Stichprobe setzte sich aus 90 Genossen-

schaftswinzern und 31 Privatwinzern zusammen, von denen 41 ihren Betrieb hauptberuflich und 80 nebenberuflich führen.

4.1 Klimawandel in der Wahrnehmung und Einschätzung der Akteure

Unter den fränkischen Weinbauakteuren ist ein deutliches Bewusstsein für den Klimawandel vorhanden. Allen interviewten Experten sind verschiedene klimabedingte Entwicklungen in den letzten Jahrzehnten im Weinbau aufgefallen. So hat sich der Niederschlag in der Wahrnehmung der Akteure deutlich verringert und tritt häufig als für die Reben und den Boden eher schädliches Extremereignis auf (Experte E: „Wenn es regnet, regnet es viel, kräftig. Wenn es heiß wird, wird es richtig heiß. Dieses Zwischendrin, was wir in den 1970ern, vielleicht auch in den 1980ern noch hatten, finde ich, ist nicht mehr da.“). Die zunehmende Trockenheit wird in Zukunft eines der größten Probleme darstellen und teilweise nur mit Bewässerung zu bewältigen sein. Vermehrt werden witterungs- und klimabedingte Traubenschäden wie der durch schnell wechselnde Wetterlagen verursachte Sonnenbrand registriert, wobei starke UV-Strahlung die Zellen in der Beerenhaut sowie am Stängel schädigt. Darunter hatten vor allem 2007 einzelne Rebsorten wie Bacchus, Riesling, Schwarzriesling und Spätburgunder am meisten zu leiden. Begünstigt wurde der Sonnenbrand 2007 z.T. auch durch frühe Entblätterungsmaßnahmen von Winzern. Auch wurden Verschiebungen bei der Phänologie registriert: Verkürzte phänologische Phasen führen dazu, dass vor allem der Lesezeitpunkt durch den früheren Reifebeginn, und um zu hohe Alkoholwerte zu vermeiden, in den letzten Jahren um mehrere Wochen nach vorne verschoben wurde (Experte D: „Ich kann mich erinnern: früher war die Lese niemals im September, sondern oftmals erst Anfang bis Mitte Oktober.“). Auch auf veränderten Schädlingsbefall und Krankheitsprofile wird hingewiesen (Experte C: „Schädlinge, die früher nicht da waren, sind aus südlicheren Regionen eingewandert, vermutlich Vorboten des Klimawandels.“, Experte F: „Das Krankheitsprofil verschiebt sich, z.B. Krankheiten aus dem mediterranem Bereich (Esca), dafür weniger Probleme mit klassischen Krankheiten (Mehltau). Traubenwickler und Zikaden werden eine größere Gefahr.“). Erwähnt wird aber auch, dass seit 1984 keine größeren Ertragsausfälle zu beklagen seien.

In der standardisierten Befragung gaben 93% der Winzer an, dass sie klimabedingte Veränderungen im Weinbau wahrgenommen haben. Es zeigt sich, dass viele Winzer vor allem phänologische und strahlungsbedingte Veränderungen wie früheren Reifebeginn und frühere Lesezeit sowie Sonnenbrand und erhöhten Alkoholgehalt bereits bemerkt haben (Abb. 6). Die starke Akzentuierung des Sonnenbrands in der Befragung liegt auch daran, dass dieser insbesondere im Jahr vor der Befragung in Franken bei einer Reihe von Weinbauern verschiedene Rebsorten massiv geschädigt hatte. Von weiterem erhöhten Krankheits- und Schädlingsbefall wird jedoch eher wenig berichtet. Auch wurde kaum eine Verbesserung der Erträge registriert. Dies liegt wohl auch daran, dass die Ertragsleistungen zugunsten qualitätssteigernder Maßnahmen niedrig gehalten werden.

Hinsichtlich der Einschätzung, ob der Klimawandel eher als Chance denn als Risiko gesehen werden muss, gehen die Meinungen der befragten Experten auseinander. So sieht Experte B „mehr Risiken, ich bin Traditionalist. Die Bedingungen

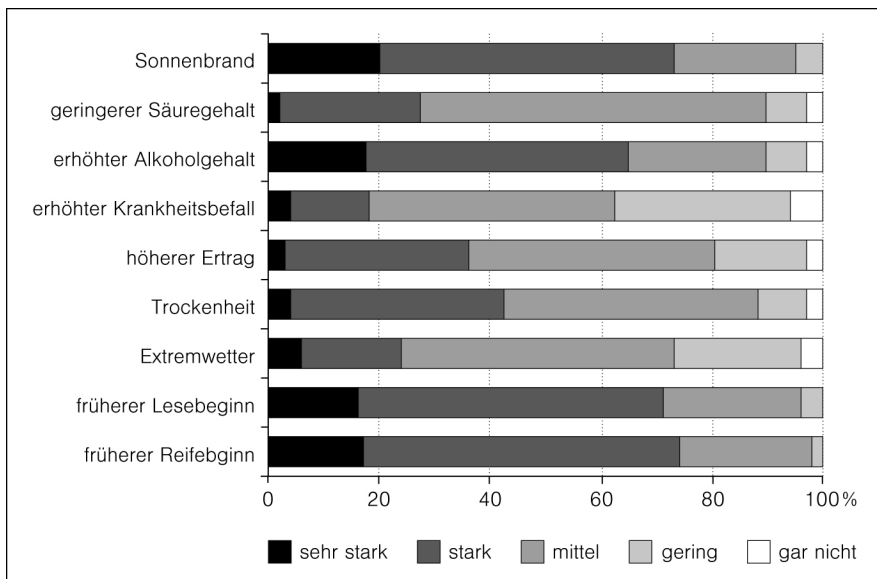


Abb. 6: Wahrnehmung klimabedingter Veränderungen in den Weinbergen durch die Winzer. (Quelle: eigene standardisierte Befragungen 2008)

verschieben sich zum Vorteil von Sorten wie Syrah und Cabernet Sauvignon, ich würde lieber am Silvaner und Riesling festhalten, für die wird es von der Sensorik her problematisch“. Er verweist auch auf eine verschärfte Konkurrenzsituation und die Gefahr des Profilverlustes, da der für den Frankenwein typische Säurereichtum sowie das Aroma langsam verloren gehen und der Alkoholgehalt sich erhöht („Es wird schwierig, den charakteristischen Geschmack des Frankenweins aufrecht erhalten zu können.“). Allerdings betont er auch, dass die Ertragsicherheit gesteigert und das Risiko von Ausfällen durch den Temperaturanstieg reduziert wurde. Gerade der drohende Profilverlust wird von mehreren Experten gesehen, die sonst eher den Klimawandel als chancenreich einschätzen (Experte F: „Also grundsätzlich ist es mal gut. Absolut gut. Sichere Erträge, bessere Qualität, weniger Schwankungen. Es darf aber nicht passieren, dass weltweit nur 5 Sorten den Mainstream ausmachen und damit die Gebiete ihr Profil verlieren.“). Befürchtet wird auch ein „Verlust der Kulturlandschaft“ (Experte E), wenn klassische fränkische Rebsorten in guten Südlagen oder Steillagen nicht mehr angebaut werden können. In diesem Zusammenhang wurde sogar von einem Experten spekuliert, ob nicht zukünftig bisher vom Weinbau in Franken nicht genutzte nord- oder ostexponierte Lagen für die klassischen fränkischen Weinsorten besser geeignet wären. Aber der Klimawandel bringt auch Vorteile: So sind mittlerweile kaum noch Ertragsausfälle zu verzeichnen und fast alle Experten sehen in dem erwarteten Klimawandel einen deutlichen internationalen Vorteil für die Weinbauregion Franken, wenn die Weinakteure weiterhin ihre Vielfältigkeit aus klassischen Sorten gepaart mit klimaangepassten, spätreifenden internationalen Sorten und hervorragender Qualität beibehalten und ihren Bekanntheitsgrad steigern.

Auch die standardisierte Befragung zeigt, dass der Klimawandel von den fränkischen Weinbauern insgesamt eher als Chance wahrgenommen wird. Insgesamt herrscht eine positive Einstellung gegenüber dem Klimawandel bei den Winzern vor. 70% der befragten Weinbauern stehen der Zukunft des fränkischen Weinbaus optimistisch gegenüber. Deutlich weniger halten die zukünftige Situation für ungewiss (24%) und nur 6% der Befragten sehen die zukünftige Entwicklung pessimistisch. Vor allem in Bezug auf die Weinqualität und die großen Sortenmöglichkeiten (Abb. 7) sehen die Winzer eher neue zusätzliche Möglichkeiten für die fränkische Weinwirtschaft. Nur bei den Eisweinen überwiegt die Risikoeinschätzung. Hier erachten über 50 Prozent der Befragten den Klimawandel als problematisch. Die selbst Wein ausbauenden Winzer sehen vor allem die veränderte Phänologie, Weinqualität und Konkurrenzsituation kritischer als die Genossenschaftswinzer. Positiver schätzen sie hingegen die Sortenmöglichkeiten sowie die Rendite ein.

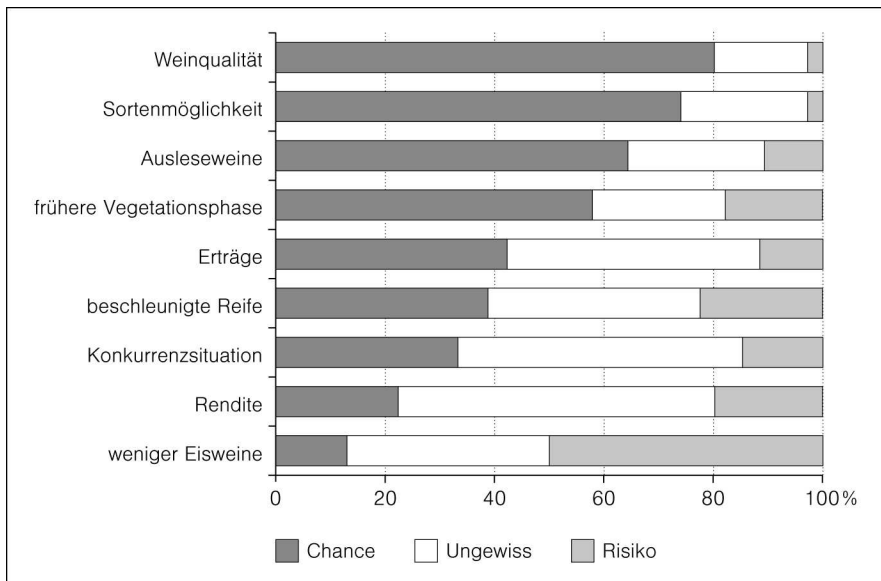


Abb. 7: Einschätzung des Einflusses des Klimawandels auf den Weinbau.

Quelle: eigene standardisierte Befragungen 2008).

4.2 Anpassungsmaßnahmen

In Bezug auf die Anpassung an den Klimawandel gibt es vielfältige und unterschiedliche Ansätze. Der Großteil der Interviewpartner ist sich einig, dass vor allem im Bereich des Weinberges Veränderungen erfolgen müssen, z.B. bei Art und Zeitpunkt des Rebschnittes. Konkret genannt werden eine kürzere Laubwand, Schnitte auf kleine Zapfen oder Astringe, damit die Reben später austreiben, ein höherer Anschnitt kurz vor Reifebeginn, ein luftiger Blätterwald als Schutz vor Sonnenbrand sowie Rindenmulchabdeckung in Steilhängen als Erosionsschutzmaßnahme. Experte D betont, dass Methoden zur Verdunstungsverhinderung besser

ausgeschöpft werden müssen („Der Bereich der Bodenabdeckung muss optimiert werden, mit Bodenlockerung, durch Erhöhung des Humusgehaltes muss die Wasserspeicherfähigkeit erhöht werden, ansonsten ist Bewässerung notwendig“). Während Experte E die Bedeutung der Tröpfchenbewässerung betont, sieht Experte F eine Notwendigkeit für den Bau von Wasserspeichern („Die Studien und Perspektiven zum Klimawandel sagen uns: Im Winter Starkniederschläge, mehr Niederschläge, einschlägige Niederschlagsereignisse. Also sagen wir: Sammeln von Wasser, Speicher bauen, um dann dieses nutzen zu können.“). Ein anderer Interviewpartner (A) betont, dass er „nicht unbedingt für die Bewässerung“ ist: „Ich verändere gleichzeitig dadurch auch den Weinbau und für mich ist der Wein nicht nur etwas Gewächshausmäßiges, sondern etwas Besonderes, wenn die Natur ihren Stempel aufgedrückt hat.“. Betont wird auch, dass durch die klimabedingt ansteigenden Temperaturen nach der Lese eine Maischekühlung erforderlich ist und eine schnelle Verarbeitung im Keller garantiert werden muss.

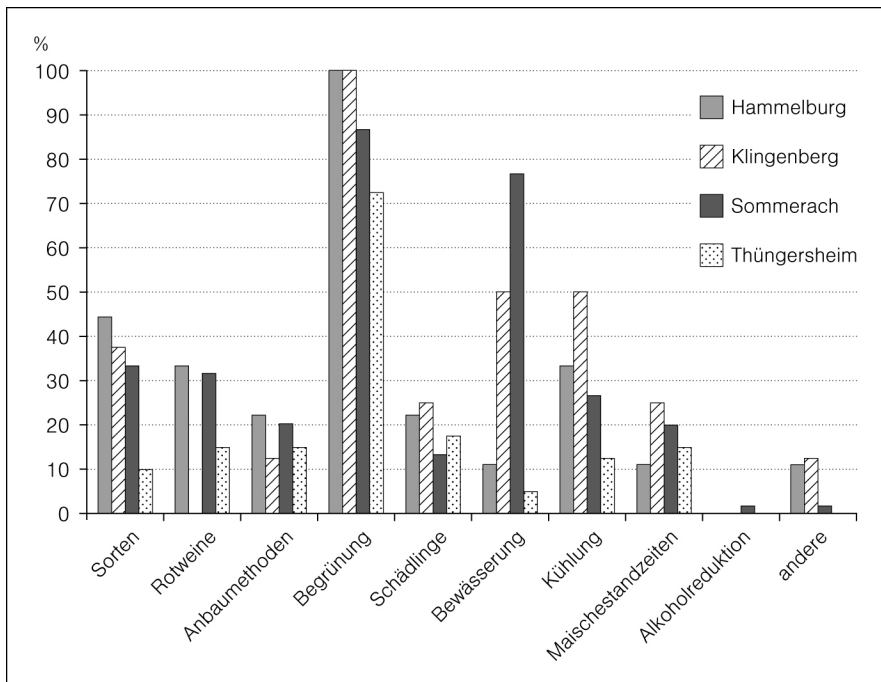


Abb. 8: Klimabedingte Anpassungsmaßnahmen unterschieden nach Anbauorten (in % der befragten Winzer) (Quelle: eigene standardisierte Befragungen 2008).

Nach einigen starkregenbedingten Erosionserscheinungen wie auch (kleineren) Hangrutschungen in den 1990er Jahren wurde im Weinbau reagiert und so erfolgen heute in allen Weinbauorten Bodenbegrünungsmaßnahmen zwischen den Rebzeilen (Abb. 8). Der Einsatz von künstlicher Bewässerung dagegen geschieht räumlich eher konzentriert. Während in Hammelburg und Thüngersheim nur vereinzelt bewässert wird, ist in Sommerach seit Inbetriebnahme einer Pilotanlage für Tröpf-

chenbewässerung (Tropfschläuche) im Jahr 2007, die 230 Hektar Rebfläche gezielt versorgt, die künstliche Bewässerung bei vielen Weinbauern eingeführt. Vereinzelt genannt werden auch Maßnahmen im Weinberg wie eine geringere Freistellung der Trauben und gezielte Beschattung, höhere Stämmchen und Abrücken von wärme-abgebenden Mauern. Noch keine Rolle spielt bei fast allen befragten Winzern die Alkoholreduktion im Wein. Insgesamt zeigt sich, dass hauptberuflich geführte Betriebe wie Privatwinzer im Schnitt schon mehr und gezieltere Anpassungsmaßnahmen getroffen haben als nebenberufliche und genossenschaftlich organisierte Winzer. Insbesondere die selbst Wein ausbauenden Winzer zeigen sich dynamisch bei der Anpassung der Sorten (z.T. zugunsten von Rotweinen, aber auch zugunsten von Riesling, Weißburgunder und Silvaner) und dem Einsatz von Kühlungsanlagen sowie einer Reduktion der Maischestandzeiten. Die meisten Anpassungen wurden bisher im Schnitt von den mittelgroßen Betrieben getroffen.

5 Zusammenfassung und Diskussion

Die Beobachtungszeitreihen belegen im Maintal eine deutliche Erwärmung um bis zu 1,4°C im Winter und 1,1°C im Sommer im Zeitraum 1947 bis 2006. Diese Erwärmungsraten sind deutlich höher als im globalen und bundesdeutschen Durchschnitt (GERSTENGARBE u. WERNER 2006; IPCC 2007b) und kennzeichnen Unterfranken als *Hot Spot* des Klimawandels. Das regionale Klimamodell reproduziert die beobachteten Temperaturniveaus sowie die Amplituden der interannuellen Variabilität sehr zuverlässig und projiziert unter dem Einfluss steigender Treibhausgaskonzentrationen gemäß IPCC-Szenario A1B bis zum Jahr 2100 eine weitere Erwärmung um ca. 5°C in den meisten Jahreszeiten. Analog treten in Zukunft Hitzetage erheblich häufiger auf, wohingegen Kaltextreme seltener vorkommen. Gleichzeitig nehmen in den Beobachtungen und Klimamodellaten die sommerlichen Niederschläge deutlich ab. Der dadurch entstehende Trockenstress während der Wachstumsperiode der Weinreben geht einher mit einer Zunahme von Starkniederschlagsereignissen, die in Mitteleuropa maßgeblich im Sommer, also auch in der Wachstumsperiode, auftreten.

Die hier aufgezeigten Veränderungen der klimatischen Randbedingungen werden für die Weinwirtschaft in Unterfranken wohl überwiegend negative Konsequenzen haben. Zwar konnten durch die bereits eingetretene Temperaturerhöhung zum Teil höhere Qualitäten beim Wein erreicht und das Frostrisiko für die Weinreben gesenkt werden (NEMANI et al. 2001; SEGUIN et al. 2004; DUCHÊNE u. SCHNEIDER 2005; JONES 2005). Allerdings ist zu befürchten, dass mit Erwärmungsraten um die 5°C Schwellwerte überschritten werden, die manche Rebsorten durch Schädlingsbefall, Hitzestress und Sonnenbrand massiv gefährden und allgemein teure Anpassungsmaßnahmen im Weinbau nach sich ziehen werden (vgl. BECKER 2003; WHITE et al. 2006; PETGEN 2007). Angesichts der selteneren Kaltextreme wird auch die Produktion von Eiswein zurückgehen. Noch risikobehafteter für die Weinwirtschaft ist wohl der zu erwartende Trockenstress im Sommer, dem nur mit kostenintensiven Technologien wie Tröpfchenbewässerung – wie sie bereits in einigen Weinbaugemeinden Unterfrankens praktiziert wird – begegnen werden kann (BÄCKER et al. 2006; JAGOUTZ 2006; STELLMACH 2006). Ein weiteres Pro-

blem stellt die zunehmende Häufigkeit von Starkniederschlägen dar (vgl. MARTÍNEZ-CASASNOVAS u. RAMOS 2006; BRENOT et al. 2008; QUIQUEREZ et al. 2008). Zwar haben viele Anbaupraktiken im Weinberg, wie beispielsweise die Zwischenbegrünung, sowie die im Zuge der Flurbereinigung installierten Schlammfänger die Erosionsgefahr deutlich eingedämmt (MÜLLER 1996). Auf der anderen Seite wirkt sich die Dauerbegrünung jedoch nicht nur positiv auf die Most- und Weinqualität in Unterfranken aus (SCHWAB u. PETERNEL 1997).

Es ist offensichtlich, dass der Klimawandel die Entscheidungsträger in der unterfränkischen Weinwirtschaft dazu veranlassen wird und bereits veranlasst hat, durch teils teure Anpassungsmaßnahmen die Qualität und Quantität des Weines und damit einen wichtigen Wirtschaftsfaktor sowie ein zentrales Element der regionalen Identität Unterfrankens zu erhalten. Die empirischen Erhebungen zeigen, dass die Akteure eine hohe Sensibilität wie auch eine in einem unterschiedlichen Maße ausgeprägte Anpassungswilligkeit und -fähigkeit besitzen. Umgesetzt wurden meist kleinere Maßnahmen in der Weinbergsbearbeitung sowie z.T. auch in der Keller-technik. Da die Hauptertragszeit eines Rebstockes sortenabhängig erst nach ungefähr 30 Jahren endet, erfolgen Sortenanpassungen hin zu spätreifenden Sorten oder klimarobusten Klonen (SCHWAB 2008) nur langsam. Häufig waren Sortenanpassungen in der Vergangenheit nicht klimabedingt, sondern vom Markt und den Konsumpräferenzen bestimmt. Allerdings dürfte eine nachhaltige Veränderung des Klimas in der projizierten Form die bisherigen Standortbewertungen verändern (WAHL 2007). Eine Terroir-Bewertung von Weinbergslagen, die anhand der natürlichen Faktoren Topographie, Geländeklima, Geologie/Ausgangsgestein, Bodenaufbau und Wasserspeicherpotenzial (WAHL 2007) erfolgt, wird zukünftig wohl rebenspezifisch zu neuen Standortperspektiven führen. Ob die für das Mittelalter belegten und die von einem interviewten Experten spekulativ ins Spiel gebrachten NW-, NO- und N-Lagen insbesondere im Zuge der EU-bedingten Lockerung von Gesetzen zu Weinbaulagen und -eignungen für einige frühreifende fränkische Weinsorten an Bedeutung gewinnen werden, erscheint ungewiss, aber nicht unmöglich. Aber auch Hang- und Flachlagen könnten nicht nur wegen des geringeren Arbeitsaufwands, sondern auch wegen der geringeren Sonnenbestrahlung gegenüber Steillagen verstärkt genutzt werden. Konkreter zeichnet sich ab, dass sich – gestützt durch wissenschaftliche Erkenntnisse und deren Kommunikation an die Winzer – neue Instrumente der Bewirtschaftung durchsetzen. Zu nennen wären der Bodenschutz vor Starkregenereignissen, der neben Begrünungs- auch Abdeckungsmaßnahmen umfasst, ein Bewässerungsmanagement (Tröpfchenbewässerung), die Hinwendung zu einer Naturwucherziehung sowie ein jahresspezifisches Stockmanagement, dessen Möglichkeiten wie späte Triebkorrektur als Wuchsbremse, eine Reduzierung der Blattfläche und der Laubwandhöhe sowie die mechanische Teiltraubenreduzierung derzeit von der LWG wissenschaftlich geprüft werden (SCHWAB 2008).

Neben diesen Anpassungsmaßnahmen ruht die Hoffnung der Winzer natürlich auch auf dem Emissionsschutz. Die Regierungen einiger Staaten haben sich inzwischen zum Ziel gesetzt, durch konsequente Klimaschutzpolitik die Erderwärmung auf maximal $+2^{\circ}\text{C}$ gegenüber dem vorindustriellen Niveau einzudämmen, um möglicherweise katastrophale Folgen des Klimawandels abzuwenden (HANSEN et

al. 2006). Dadurch müssten dann Emissionsszenarien in Betracht gezogen werden, die deutlich unter dem hier berücksichtigten A1B-Szenario liegen und dementsprechend ein geringeres Ausmaß des regionalen Klimawandels in Unterfranken implizieren.

Die hier aufgezeigten Ergebnisse zum regionalen Klimawandel in Unterfranken gehen auf ein Modell mit ausgesprochen hoher horizontaler Auflösung zurück, welches viele Aspekte des beobachteten Klimasystems in zuverlässiger Weise wiederzuspiegeln vermag. Dennoch besitzen die in Kapitel 3 aufgezeigten Klimasignale vor allem in quantitativer Hinsicht nur eine beschränkte Aussagefähigkeit. Denn die Zukunftsprojektion mit REMO beruht nur auf einer einzigen Modellsimulation, die keine Aussage über den Einfluss der Anfangsbedingungen im Modell und die Modellunsicherheit macht. So genannte Modellensembles oder sogar Multimodellensembles sind nötig, um diese Unsicherheiten zu quantifizieren und zu planungsrelevanten Aussagen über den zukünftigen regionalen Klimawandel zu kommen (PAETH et al. 2008a). So ist es durchaus möglich, dass ein anderes Klimamodell mit variierten, aber realistischen Anfangsbedingungen unter dem gleichen A1B-Emissionsszenario eine geringere sommerliche Erwärmungsrate als +4,9°C simuliert – oder eine höhere. Gegenwärtig werden für Deutschland solche Multimodellensembles realisiert, so dass die Einblicke in den regionalen Klimawandel künftig noch fundierter sein werden.

Auch ist zu bedenken, dass sich die Modelldaten auf Gitterboxen mit ca. 100 km² Grundfläche beziehen. Das für die Weinreben relevante Mikroklima im Bestand kann unter Umständen deutlich von solchen regionalen Mittelwerten abweichen. Eigene meteorologische Messungen in unterfränkischen Weinbergen haben gezeigt, dass Temperatur- und Feuchtwerte sowie Windrichtungen auf kleinstem Raum variieren können. Diese klimatische Heterogenität wird auch in absehbarer Zukunft nicht durch Klimamodelle abgedeckt werden können. Ein Ausweg ist durch statistische Verfahren gegeben, durch die sich die statistischen Transferfunktionen zwischen regionalem und lokalem Klima oder direkt zwischen regionalem Klima und önologischen Variablen wie Ernteertrag und Weinqualität ermitteln lassen (vgl. PAETH et al. 2008b). Die Klimaforschung wird zunehmend in der Verantwortung stehen, die Ausmaße des regionalen Klimawandels mit allen damit verbundenen Unsicherheiten und Spielräumen zu quantifizieren, um den Entscheidungsträgern in der unterfränkischen Weinwirtschaft für ihre notwendigen Anpassungsmaßnahmen eine fundierte wissenschaftliche Basis zu schaffen.

Literatur

- BÄCKER, G., B. STEINBERG u. G. MOSCH 2006: Tröpfchenbewässerungssysteme – ausgereifte Technik setzt sich durch. In: Deutsches Weinbau-Jahrbuch 57, S. 50–60.
- BAKKER, M.M., G. GOVERS, A. VAN DOORN, F. QUETIRER, D. CHOUVARDAS u. M. ROUNSEVELL 2008: The response of soil erosion and sediment export to land use change in four areas of Europe. The importance of landscape pattern. In: *Geomorphology* 98, S. 213–226.
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK UND DATENVERARBEITUNG (Hrsg.) 2003: Weinbau in Bayern. Ergebnisse der Weinbauerhebung 1999 und der Grunderhebung der Rebflächen 1999. München (= Statistische Berichte C15/WBE–10j/99).

- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK UND DATENVERARBEITUNG (Hrsg.) 2009: Weinwirtschaft in Bayern 2008. Rebflächen, endgültige Weinmosternte, Weinerzeugung, Weinbestand. München.
- BECKER, N. 2003: Auswirkungen der globalen Erwärmung auf den Weinbau in Deutschland. Chancen, Gefahren und Risiken. In: Deutsches Weinbau-Jahrbuch 54, S. 13–18.
- BELLIVEAU, S., B. SMIT u. B. BRADSHAW 2006: Multiple exposures and dynamic vulnerability: Evidence from the grape and wine industry in the Okanagan Valley, Canada. In: *Global Environmental Change* 16, S. 364–378.
- BRENOT, J., A. QUIQUEREZ, C. PETIT u. J.P. GARCIA 2008: Erosion rates and sediment budgets in vineyards at 1-m resolution based on stock unearthing (Burgundy, France). In: *Geomorphology* 100, S. 345–355.
- DEUTSCHES WEININSTITUT (Hrsg.) 2009: Deutscher Wein – Statistik 2009/2010. Mainz.
- DUCHÈNE, E. u. C. SCHNEIDER 2005: Grapevine and climatic changes: a glance at the situation in Alsace. In: *Agronomy for Sustainable Development* 25, S. 93–99.
- EASTERLING, D.R., G.A. MEEHL, C. PARMESAN, S.A. CHANGNON, T.R. KARL u. L.O. MEARNS 2000: Climate extremes: observations, modeling, and impacts. In: *Science* 289, S. 2068–2074.
- GERSTENGARBE, F.-W. u. P.C. WERNER 2006: Climate development in the last century – global and regional. In: *International Journal of Medical Microbiology* 298, S. 5–11.
- GIORGI, F. 2006: Climate change hot-spots. In: *Geophysical Research Letters* 33, doi:10.1029/2006GL025734.
- GLASER, R. 1991: Klimarekonstruktion für Mainfranken, Bauland und Odenwald anhand direkter und indirekter Witterungsdaten seit 1500. Stuttgart, New York (=Paläoklimafor-schung; 5).
- HAFNER, S. 2003: Trends in maize, rice and wheat yields for 188 nations over the past 40 years: a prevalence of linear growth. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 97, S. 275–283.
- HANSEN, J., M. SATO, R. RUEDY, K. LO, D.W. LEA u. M. MEDINA-ELIZADE 2006: Global temperature change. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103, S. 14288–14293.
- HOPPMANN, D. u. H.H. SCHMITT 2001: Die Klimawende. Chancen und Risiken für den Weinbau in Deutschland. In: *Der Deutsche Weinbau* 10, S. 36–39.
- IPCC 2007a: Working Group II: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge UK: Cambridge University Press.
- IPCC 2007b: Working Group I: The Physical Basis of Climate Change. Cambridge UK: Cambridge University Press.
- IPCC 2007c: Working Group III: Mitigation of Climate Change. Cambridge UK: Cambridge University Press.
- JACOB, D., S. GÖTTEL, S. KOTLARSKI, P. LORENZ u. C. SIECK 2008: Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland – Phase 1. Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland. In: *Climate Change* 11, S. 1–154.
- JACOB, D., B.J.J.M. VAN DEN HURK, U. ANDRAE, G. ELGERED, C. FORTELIUS, L.P. GRAHAM, S.D. JACKSON, U. KARSTENS, C. KOEPKEN, R. LINDAU, R. PODZUN, B. ROCKEL, F. RUBEL, B.H. SASS, R. SMITH u. X. YANG 2001: A comprehensive model intercomparison study investigating the water budget during the PIDCAP period. In: *Meteorology and Atmospheric Physics* 77, S. 19–44.
- JAGOUTZ, H. 2006: Bewässerungsbedarf von Reben in der Zukunft und in der Vergangenheit. In: *Deutsches Weinbau-Jahrbuch* 57, S. 43–50.
- JONES, G.V. 2005: Climate change in the western United States grape growing regions. In: *7th International Symposium on Grapevine Physiology and Biotechnology* 689, S. 71–80.
- KENNY, G.H. 1993: The effects of climate variability and change on grape suitability in Europe. In: *Journal of Wine Research* 4, S. 163–183.

- KOLESCH, H. 2009: Der Weinbau in Franken. Daten-Fakten-Hintergründe. http://www.lwg.bayern.de/weinbau/weinbau_franken/18059/linkurl_0_5_0_0.pdf (Abruf: 08/2010).
- LWG = Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (Hrsg.) 2009a: Strukturdaten zum Weinbau in Bayern. http://www.lwg.bayern.de/weinbau/weinbau_franken/18059/linkurl_0_3_0_0.pdf, [linkurl_0_3_0_1.pdf](http://www.lwg.bayern.de/weinbau/weinbau_franken/18059/linkurl_0_3_0_1.pdf), [linkurl_0_3_0_2.pdf](http://www.lwg.bayern.de/weinbau/weinbau_franken/18059/linkurl_0_3_0_2.pdf) (letzter Abruf: 08/2010)
- LWG = Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (Hrsg.) 2009b: Strukturwandel in den Weinbaubetrieben Bayerns. http://www.lwg.bayern.de/weinbau/weinbau_franken/18059/linkurl_4.pdf (letzter Abruf: 08/2010)
- MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J.A. u. M.C. RAMOS 2006: The cost of soil erosion on vineyard fields in the Penedès-Anoia Region (NE Spain). In: *Catena* 68, S. 194–199.
- MÜLLER, J. 1996: Grundzüge der Naturgeographie von Unterfranken. Justus Perthes Verlag, Gotha.
- NAKICENOVIC, N. u. R. SWART (Hrsg.) 2000: Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Special Report on Emissions Scenarios. Cambridge UK: Cambridge University Press.
- NEMANI, R.R., M.A. WHITE, D.R. CAYAN, G.V. JONES, S.W. RUNNING, J.C. COUGHLAN u. D.L. PETERSON 2001: Asymmetric warming over coastal California and its impact on the premium wine industry. In: *Climate Research* 19, S. 25–34.
- PAETH, H., A. CAPO-CHICHI, A. u. W. ENDLICHER 2008b: Climate change and food security in tropical West Africa. In: *Erdkunde* 62, S. 101–115.
- PAETH, H., A. SCHOLTEN, P. FRIEDERICHS u. A. HENSE 2008a: Uncertainties in climate change prediction: El Niño-Southern Oscillation and monsoons. In: *Global and Planetary Change* 60, S. 265–288.
- PETGEN, M. 2007: Reaktion der Reben auf den Klimawandel. In: *Schweizerische Zeitschrift für Obst- und Weinbau* 9/07, S. 6–9.
- QUIQUEREZ, A., J. BRENOT, J.P. GARCIA u. C. PETIT 2008: Soil degradation caused by a high-intensity rainfall event: Implications for medium-term soil sustainability in Burgundian vineyards. In: *Catena* 73, S. 89–97.
- SCHENK, W. 1993: Wirtschafts- und sozialräumliche Effekte der Politik der Gebiets-Winzer-genossenschaft Franken. In: *Zeitschrift für Wirtschaftsgeographie* 37, H. 3/4, S. 217–233.
- SCHENK, W. 1994: 1200 Jahre Weinbau in Mainfranken – eine Zusammenschau aus geographischer Sicht. In: *Würzburger Geographische Arbeiten* 89, S. 179–201.
- SCHULTZ, H.R. 2005: Veränderungen im Klima und mögliche weinbauliche Konsequenzen. In: *Deutsches Weinbau-Jahrbuch* 56, S. 18–25.
- SCHWAB, A. 2008: Perspektiven der weinbaulichen Forschung. Rebenanbau. http://www.lwg.bayern.de/weinbau/29433/linkurl_14.pdf (letzter Abruf: 08/2010).
- SCHWAB, A. u. M. PERNEL 1997: Untersuchung der Auswirkungen einer langjährigen Dauerbegrünung auf die Most- und Weinqualität unter fränkischen Boden- und Klimaverhältnissen. In: *Viticultural and Enological Sciences* 52, S. 20–26.
- SEGUIN, B., M. DOMERGUE, I.G.D. CORTAZAR, N. BRISSON u. D. RIPOCHE 2004: Le réchauffement climatique récent: impact sur les arbres fruitiers et la vigne. In: *Letters of PIGB-PMRC France Changement Global* 16, S. 50–54.
- STAAB, J., H.R. SEELIGER u. W. SCHLEICHER 2001: Schloss Johannisberg. Neun Jahrhunderte Weinkultur am Rhein. Mainz: Woschek-Verlag.
- STELLMACH, G. 2006: Gedanken zur Überlebensfähigkeit des heimischen Weinbaus angesichts des globalen Klimawandels. In: *Deutsches Weinbau-Jahrbuch* 57, S. 37–42.
- STERN, N. 2006: The economics of climate change. Cambridge UK: Cambridge Univ. Press.
- STOCK, M. 2005: Klimaveränderungen fordern die Winzer. Bereitschaft zur Anpassung ist erforderlich. *Geisenheimer Berichte*, Bd. 57, S. 37–56.
- STOCK, M., F. BADECK, F.-W. GERSTENGARBE, T. KARTSCHALL u. P.C. WERNER 2003: Weinbau und Klima – eine Beziehung wechselseitiger Variabilität. In: *Terra Nostra* 6, S. 422–426.

- STRUCK, E. 2000: Erlebnislandschaft Franken – Perspektiven für fränkische Weindörfer. In: Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.): Materialien zur Ländlichen Entwicklung, H. 37/2000, S. 7–196.
- VON STORCH, H. u. F.W. ZWIERS 1999: Statistical analysis in climate research. Cambridge UK: Cambridge University Press.
- WAHL, K. 2007: Klimawandel – Konsequenzen für den Weinbau. http://www.stmelf.bayern.de/agrarpolitik/aktuell/24609/linkurl_0_9_0_3.pdf (letzter Abruf: 08/2010).
- WEISENSEE, B. 1982: Winzers Freud – Winzers Leid. Der fränkische Weinbau und seine Ernten in 1200 Jahren. Würzburg.
- WHITE, M.A., N.S. DIFFENBAUGH, G.V. JONES, J.S. PAL u. F. GIORGI 2006: Extreme heat reduces and shifts United States premium wine production in the 21st century. In: Proceedings of the National Academy of Sciences 103, S. 11217–11222.
- ZOLINA, O., A. KAPALA, C. SIMMER u. S. GULEV 2004: Analysis of extreme precipitation over Europe from different reanalyses: A comparative assessment. In: Global and Planetary Change 44, S. 129–161.