

**Gerhard Soja, Franz Zehetner, Gorana Rampazzo-Todorovic, Barbara Schildberger, Konrad Hackl, Rudolf Hofmann, Eva Burger, Sigrid Grünberger, Ines Omann**

## **Weinbau im Klimawandel: Anpassungs- und Mitigationmöglichkeiten am Beispiel der Modellregion Traisental**

### **Zusammenfassung**

Die Beziehung zwischen Weinbau und Klimawandel hat zwei grundverschiedene Seiten: einerseits muss sich der Weinbau an geänderte klimatische Bedingungen anpassen, andererseits ist er auch einer von vielen Emittenten von Treibhausgasen. Das Projekt WEINKLIM hat untersucht, wie sich der Weinbau angesichts dieser beiden unterschiedlichen Funktionen unter zukünftigen Klimawandelbedingungen nachhaltig entwickeln kann. Die Projektergebnisse liegen in Form von Gestaltungsvorschlägen für den Weinbau vor.

Der Klimawandel ist im Gebiet Krems-Traisental nicht nur anhand der früheren Lesetermine, sondern auch an Trends in den meteorologischen Messreihen erkennen. Die zu einem immer früheren Zeitpunkt erfüllten Temperaturerfordernisse für die DAC-Sorten Grüner Veltliner und Riesling sollten an Möglichkeiten der Selektion langsamer reifender Klone oder der Einbeziehung höher gelegener Rieden denken lassen. Trotz der schnelleren Frühjahrsentwicklung darf der Schutz vor Spätfrost nicht außer Acht gelassen werden. Erwärmungsbedingte Erhöhungen des Wasserbedarfs der Weingärten wurden bisher durch leicht ansteigende Niederschlagssummen entschärft, doch ist eine Umkehr dieses Trends wahrscheinlicher als eine Extrapolation. Bewässerungsmöglichkeiten werden daher mittelfristig als zukunftssträchtige Anpassungsmaßnahmen zu werten sein. Für bodenschonend wirtschaftende Winzerinnen und Winzer ist die Minimierung der Anzahl der Bodenbearbeitungsvorgänge der Schlüssel zur Erhöhung der Kohlenstoffsenken-Funktion der Weingartenböden. Die Nutzung organischer Dünger und ein sparsamer Umgang mit mineralischem Stickstoffdünger verbessert die Treibhausgasbilanz der Böden deutlich. Eine Nutzung von Pflanzenschutz-Warnmodellen kann durch die Optimierung des Pflanzenschutzmitteleinsatz-Zeitpunktes die Effektivität dieser Maßnahmen erhöhen, aber nur in Ausnahmefällen zur Einsparung einzelner Spritzungen führen.

In Summe ergaben die Erhebungen für den gesamten Produktlebenszyklus vom Weingarten bis zu den Kundinnen und Kunden für Traisentaler Wein einen "CO<sub>2</sub>-Fußabdruck" von rund 1,7 bzw. 1,9 kg CO<sub>2</sub>e pro l Wein (ohne bzw. mit Transport zum

Verbraucher). In der Status-Quo-Erhebung konnten die Haupteinflussgrößen auf die Treibhausgas-Emissionen wie Bodenbearbeitung, Düngemittleinsatz, Deseinsatz landwirtschaftlicher Maschinen, Energieeinsatz im Weinkeller und Verpackungsmaterial identifiziert und quantifiziert werden. Basierend auf diesen Ergebnissen wurden Maßnahmen für einen zukunftsfähigen Weinbau entwickelt. Die Einbindung der WinzerInnen und anderer lokaler Stakeholder stand im Zentrum des Projektes, damit die Vorschläge für Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel und Maßnahmen zur Reduktion der Treibhausgas-Emissionen sowohl wissenschaftlich fundiert als auch praxisnah und regionsspezifisch zugeschnitten sind. Die WinzerInnen aus dem Traisental sind hochmotiviert, einige der vorgeschlagenen Maßnahmen kurz- und mittelfristig umzusetzen und dadurch eine Vorreiterrolle im klimaschonenden Weinbau zu erlangen.

## **Einleitung**

- Wie kann sich der Weinbau am besten an zukünftige, veränderte Klimabedingungen anpassen?
- Was kann der Weinbau als einer von vielen Treibhausgas-Emittenten selbst dazu beitragen, um seine Rolle als Mitverursacher des Klimawandels zu minimieren?

Diese Forschungsfragen haben 2009-2010 fünf Forschungsinstitutionen gemeinsam mit Traisentaler Winzerinnen und Winzern untersucht. Die im IKT ("Interprofessionelles Komitee Traisental") zusammengefassten Weinbau-Betriebe haben sich der Unterstützung von Expertinnen und Experten der Universität für Bodenkultur, des Lehr- und Forschungszentrums Klosterneuburg, der SERI Nachhaltigkeitsforschungs- und -kommunikations GmbH, des NÖ Weinbauverbandes und des Austrian Institute of Technology versichert. Dieses Konsortium wurde vom Landwirtschaftsministerium (BMLFUW) und dem Amt der NÖ Landesregierung mit der Durchführung des Forschungsprojekts "WEINKLIM – Weinbau im Klimawandel am Beispiel der Modellregion Traisental" beauftragt.

Istzustands-Erhebungen bauten auf Fragebogen-Auswertungen, Aufzeichnungen der Betriebe, Interviews und Analysen in den Weingärten vor Ort auf. Klimaauswertungen des Zeitraums 1971-2008 dienten der Suche nach Hinweisen auf langfristige Änderungen in den für den Weinbau wichtigsten meteorologischen Parametern. Ziel der Erhebungen war die Ableitung von Maßnahmen, mit denen den beiden eingangs erwähnten Herausforderungen für den Weinbau am besten begegnet werden kann:

- Anpassungsmaßnahmen an jene Klimaveränderungen, die Risikofaktoren für den Weinbau darstellen.

- Maßnahmen zur Verringerung der Treibhausgasproduktion während der gesamten Herstellungs-Prozesskette für Wein.

## **Klimatrends im Gebiet Krems-Traisental**

Regionale Klimamodelle prognostizieren für den Osten Österreichs in den nächsten 50 Jahren einen weiteren Temperaturanstieg und eine Verschiebung der Niederschläge vom Sommer- ins Winterhalbjahr bei ungefähr gleich bleibenden Jahressummen. Inwieweit diese Prognosen bereits anhand der Aufzeichnungen der vergangenen Jahrzehnte nachvollziehbar sind, gehörte zu den Untersuchungsthemen dieser Studie. Temperaturerhöhungen sind im globalen Mittel die bislang am eindeutigsten nachweisbaren Begleiterscheinungen des Klimawandels und zeigen sich im Weinbau durch deutliche Verfrühungen bei Blüh- und Ernteterminen (Bauer und Fardossi, 2008)<sup>1</sup>. Für das Forschungsprojekt WEINKLIM wurde im Gebiet Krems – Traisental das Vorliegen langfristiger Trends bei jenen meteorologischen Parametern analysiert, welche auf Reifeverlauf und Wasserhaushalt den größten Einfluss ausüben. Je deutlicher ein bestimmter Trend hervortritt, umso wichtiger ist seine Beachtung als Risikofaktor, der Anpassungsmaßnahmen erfordert.

### ***Temperaturtrends***

Trotz der nur relativ kurzen Auswertungsperiode der Wetterbedingungen von 38 Jahren zeigte sich für diesen Zeitraum eine hochsignifikante Temperaturzunahme, die bei Minimum-, Mittel- und Maximumtemperaturen ähnlich ausgefallen ist und etwa 1,0-1,5 °C beträgt (Abbildung 1). Die beobachteten phänologischen Veränderungen fanden somit in der gemessenen Temperaturerhöhung ihr Gegenstück. Die dadurch immer früher erfolgende Abdeckung des minimalen Wärmebedarfes der traditionellen Hauptsorten Riesling und Grüner Veltliner wirkt sich dadurch auf eine Verlegung der Traubenausreifung in eine Jahreszeit aus, welche durch höhere Nachttemperaturen und einen schnelleren Säureabbau gekennzeichnet ist.

Die genauere zeitliche Auflösung des Temperaturzunahmetrends enthüllt eine ungleichmäßige Erwärmung zu verschiedenen Jahreszeiten. Wie aus Abbildung 2 hervorgeht, tragen die Frühjahrs- und Frühsommermonate einen unverhältnismäßig höheren Anteil dazu bei als die Spätsommer- und Herbstmonate. Dies bedeutet, dass Austrieb und Blüte deutlicher beschleunigt werden als die Ausreifung. Auch wenn August und September sich in ihren durchschnittlichen Temperaturbedingungen langfristig gesehen nicht wesentlich

---

<sup>1</sup> Bauer, K., Fardossi, A. (2008) Herausforderung der Zukunft. Auswirkungen des Klimawandels, Teil 1. Der Winzer, 4.5.2008.

geändert haben, so treten doch wesentlich weiter entwickelte Trauben in diese Jahreszeit ein als vor einigen Jahrzehnten.

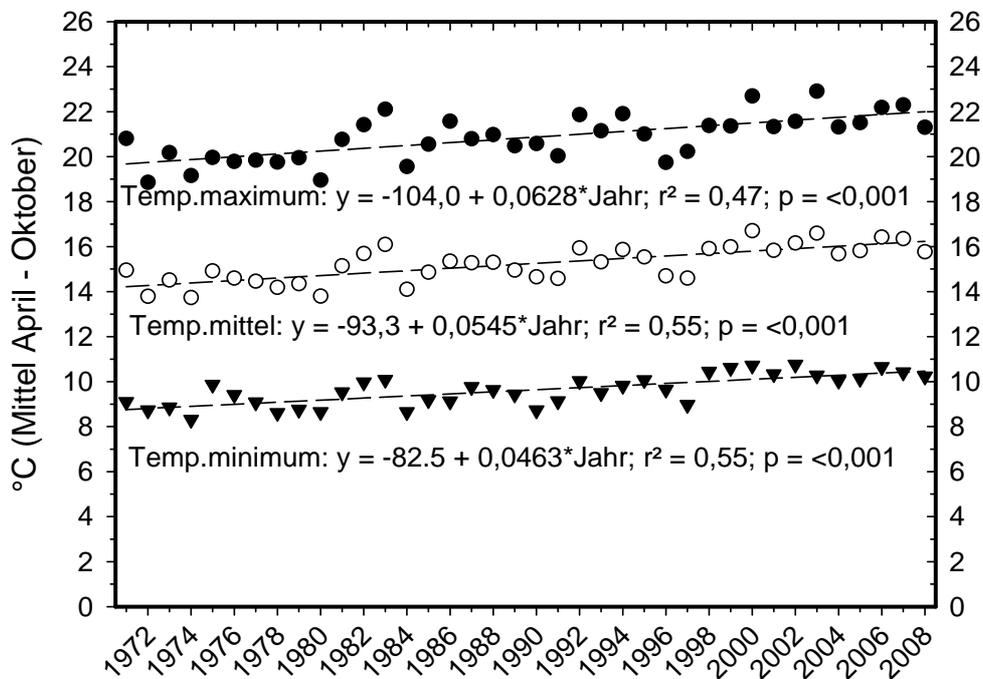


Abbildung 1: Temperaturtrends der meteorologischen Station Krems 1971-2008 für die Vegetationsperiode April bis Oktober. Homogenisierung der Daten auf Basis des HISTALP-Datensatzes (<http://www.zamg.ac.at/histalp/>; Böhm et al., 2009<sup>2</sup>).

Die schnellere Pflanzenentwicklung im Frühjahr wäre kein Problem, wenn Spätfröste ebenfalls seltener würden. Die Auswertung des Zeitraums 1943-2008 lässt allerdings diese Aussage nicht zu. Im Auftreten des letzten Tages mit einem negativen Temperaturminimum war weder ein lang- noch kurzfristiger Trend signifikant nachzuweisen (Abbildung 3). Offenbar muss daher weiterhin mit dem vereinzelt Auftreten von Frostschäden gerechnet werden, da singuläre Kaltluftvorstöße und Strahlungsfröste auch bei langfristig geänderten klimatischen Bedingungen nicht auszuschließen sind, wie das Jahr 2007 gezeigt hat.

<sup>2</sup> Böhm, R., Auer, I., Schöner, W., Ganekind, M., Gruber, C., Jurkovic, A., Orlik, A., Ungersböck, M. (2009) Eine neue Webseite mit instrumentellen Qualitäts-Klimadaten für den Großraum Alpen zurück bis 1760. Wiener Mitteilungen Band 216: Hochwässer: Bemessung, Risikoanalyse und Vorhersage.

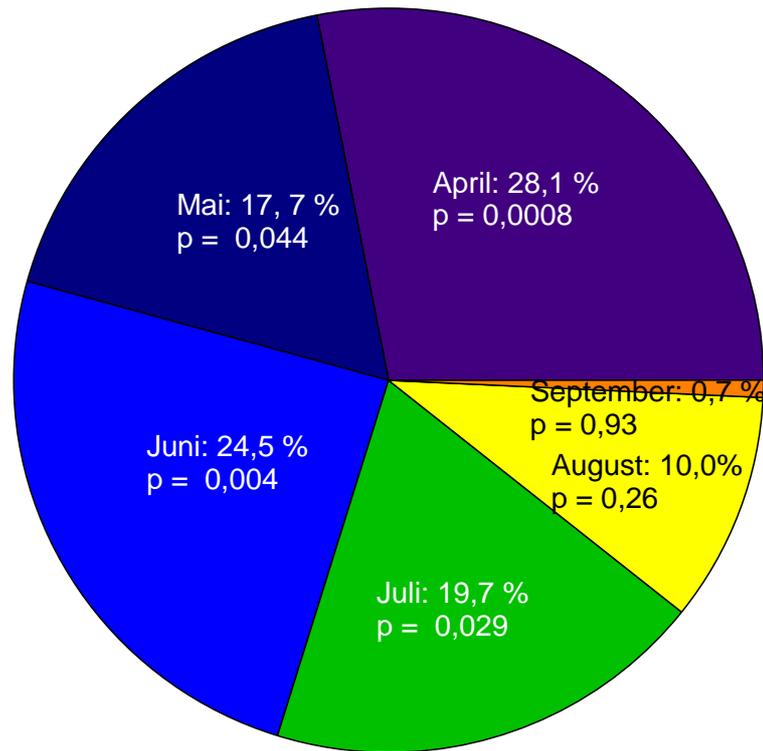


Abbildung 2: Beiträge der einzelnen Monate April – September zum Anstieg des Hugin-Index im Zeitraum 1971-2008 auf Basis der Temperaturwerte von Krems. Weitere Informationen siehe Abbildung 1.

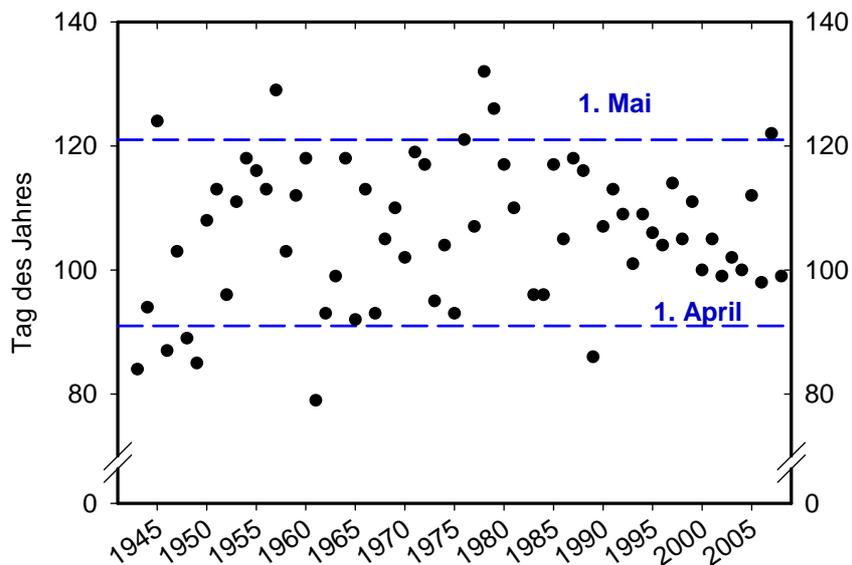


Abbildung 3: Der letzte Frühjahrs-Spätfrö (negatives Tagesminimum in 2 m Höhe) an der Station Krems 1943-2008. Die Referenzlinien kennzeichnen die Monatsanfänge von April und Mai.

### **Niederschlagstrends**

Während die Temperaturszenarien regionaler Klimamodelle sich offenbar bereits in der jüngeren Vergangenheit realisiert haben, lassen sich aus dem Niederschlagsverhalten der letzten Jahrzehnte die erwarteten Veränderungen noch nicht ablesen. Die Niederschlagssummen während der Vegetationsperiode haben im Zeitraum 1971-2008 hingegen sogar einen schwachen, marginal signifikanten Trend der Zunahme erkennen lassen (Abbildung 4). Dargestellt ist hier nicht der Gesamtniederschlag, sondern der bodenhydrologisch relevantere, um die oberirdischen Verluste (Abfluss, Interzeption durch die Vegetation) bereinigte nutzbare Niederschlag. Der Wasserbedarf jeder für die Pflanzenproduktion genutzten Fläche setzt sich aus der Verdunstung des Bodens und der Transpiration der Pflanzenblätter zusammen. Ist dieser als Evapotranspiration bezeichnete Wasserbedarf höher als die nutzbare Niederschlagsmenge, trocknet der Boden aus. Dieses Bodenwasserdefizit ist für den ostösterreichischen Raum nichts Unübliches und wird durch die Niederschläge des Winterhalbjahrs wieder aufgefüllt. Der in Abbildung 4 dargestellte Langfristtrend des Bodenwasserdefizits (untere Kurve) zeigt eine geringere Abnahme als die Zunahme des Niederschlags, da die Veränderungen sonstiger meteorologischer Parameter eine Erhöhung der Evapotranspiration fördern. Sollte sich somit der Trend zunehmender Niederschläge in den nächsten Jahrzehnten wieder umkehren (was auf Basis der regionalen Klimamodelle als nicht unwahrscheinlich anzusehen ist), ist eine Verschärfung der sommerlichen Trockensituation zu erwarten. Dass der derzeit beobachtbare Niederschlagstrend nicht dem Verlauf der Klimamodell-Prognosen entspricht, soll nicht Wunder nehmen – schließlich wurden die regionalen Klimamodelle für einen Zeitraum entwickelt, der 50 Jahre in der Zukunft liegt. Zudem können regionale Klimamodelle nicht alle lokalen Schwankungen exakt wiedergeben, sondern diese liegen in deren Unschärfbereich.

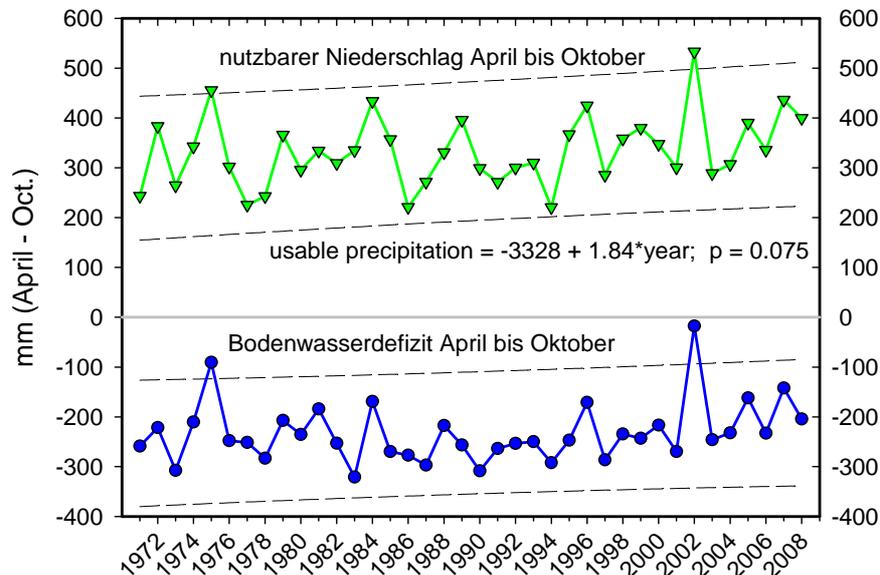


Abbildung 4: Verlauf der Niederschlagsentwicklung (April bis Oktober) in der Region Krems in den Jahren 1971-2008. Der nutzbare Niederschlag entspricht dem Gesamtniederschlag vermindert um Oberflächenabfluss und Interzeption durch die Vegetation. Das Bodenwasserdefizit wurde als nutzbarer Niederschlag minus Bestandes-Evapotranspiration (nach Allen et al., 1998<sup>3</sup>) durchschnittlicher Weingärten (ohne Begrünung) berechnet. Jeder Parameter wird vom 95%-Vertrauensintervall der Einzelwerte umgrenzt. Weitere Informationen siehe Abbildung 1.

## Treibhausgasemissionen von Weingartenböden

Am Institut für Bodenforschung der BOKU Wien wurde der Einfluss unterschiedlicher Bewirtschaftung auf Treibhausgasemissionen aus Weingartenböden analysiert. In einem experimentellen Teil wurden Treibhausgasemissionen direkt im Feld gemessen, und in einem Modellierungsteil wurde das Kohlenstoffkreislaufmodell RothC-26.3<sup>4</sup> für die Bedingungen im Traisental kalibriert und anschließend zur Simulation verschiedener Bewirtschaftungsvarianten und deren Auswirkungen auf die Bodenkohlenstoffbilanz herangezogen.

### Direkte Messungen von Treibhausgasemissionen

Die Ausgasung von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O)<sup>5</sup> aus unterschiedlich bewirtschafteten Weingartenböden zeigte den Einfluss der Bewirtschaftung sehr deutlich. In Abbildung 5 sind die N<sub>2</sub>O-Emissionen aus unterschiedlich gedüngten Weingärten dargestellt. In einem Weingarten, der über Jahre intensiv mineralisch gedüngt wurde (rechter Balken),

<sup>3</sup> Allen, R.G., L.S Pereira, D. Raes and M. Smith (1998) Crop evapotranspiration – guidelines for computing water requirements – FAO Irrigation and Drainage Paper 56. FAO, Rome, 300 pp.

<sup>4</sup> Coleman, K. and Jenkinson, D.S. (1999) RothC-26.3 - A Model for the turnover of carbon in soil: Model description and windows users guide. Lawes Agricultural Trust Harpenden, ISBN 0 951 4456 8 5.

lag die N<sub>2</sub>O-Ausgasung deutlich über jener eines ungedüngten Weingartens (linker Balken). Die hohe Standardabweichung im mineralisch gedüngten Weingarten (Abbildung 5) weist überdies auf eine sehr heterogene Verteilung der N<sub>2</sub>O-Ausgasung hin, was durch ungleichmäßige Düngerverteilung bedingt sein könnte.

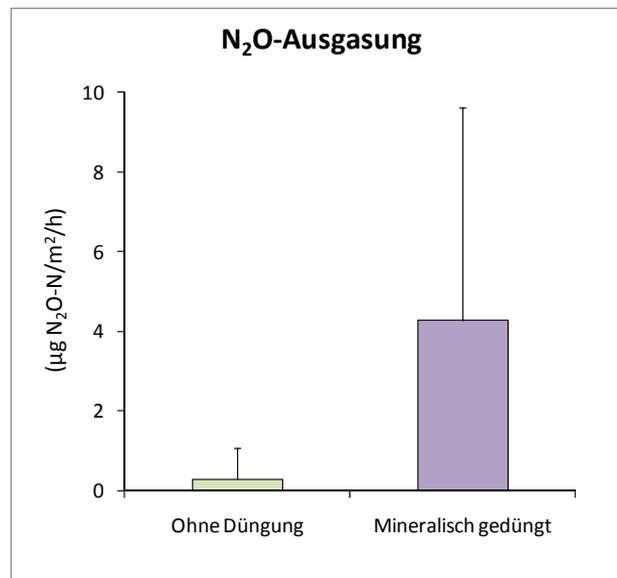


Abbildung 5: N<sub>2</sub>O-Ausgasung aus zwei unterschiedlich bewirtschafteten Weingärten (Mittelwerte und Standardabweichungen von 3 Wiederholungsmessungen am selben Tag; Bodentemperatur: zwischen 8 und 10°C, Bodenfeuchte: zwischen 15 und 20 Vol%).

### **Modellierung von Bewirtschaftungsszenarien**

Die Computersimulationen mit dem RothC-26.3-Modell zeigten einen großen Einfluss der Intensität der Bodenbearbeitung auf die Treibhausgasemissionen (Abbildung 6), wobei bei minimaler Bodenbearbeitung eine Senkenfunktion besteht, und der Boden mit zunehmender Bearbeitungsintensität immer mehr zur Quelle von Treibhausgasen wird.

In weiteren Modellberechnungen wurde der Einfluss von organischem Düngematerial auf die Treibhausgasbilanz analysiert (ohne Abbildung). Hier zeigte sich bei geringer Bodenbearbeitung eine starke zusätzliche Senkenbildung durch den eingebrachten Kohlenstoff. Dieser kann jedoch selbst bei hohen organischen Düngegaben (5 t C/ha/Jahr) die durch intensive Bodenbearbeitung bewirkten Treibhausgasemissionen nicht ausgleichen. Weiters wurde die Auswirkung der Entnahme des Rebschnittmaterials sowie der Einfluss der Begrünung auf die Treibhausgasbilanz untersucht (ohne Abbildung). Durch Entnahme des Rebschnittmaterials gehen dem Boden zwischen 30 und 85 kg CO<sub>2</sub>e/ha/Jahr verloren. Durch gänzlichen Verzicht auf Begrünung belaufen sich die Verluste auf etwa 500 kg CO<sub>2</sub>e/ha/Jahr.

<sup>5</sup> Ein Kilogramm N<sub>2</sub>O entspricht über 100 Jahre betrachtet einer Treibhausgaswirkung von 296 kg CO<sub>2</sub>.

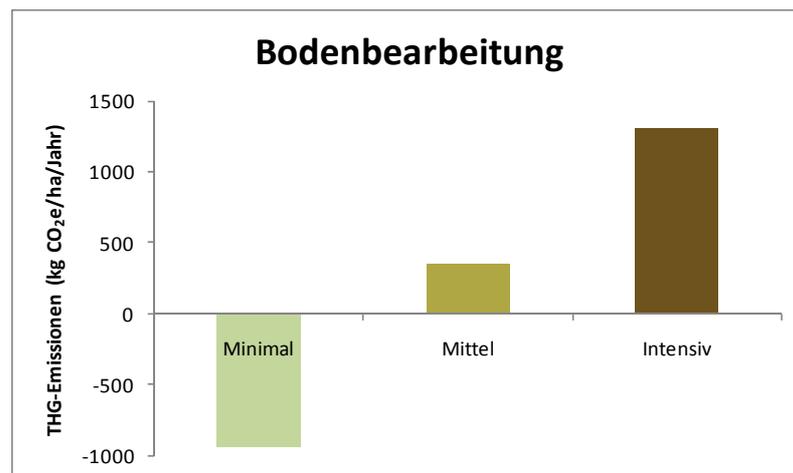


Abbildung 6: Modellierte Treibhausgasemissionen (in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten; CO<sub>2</sub>e) aus Weingartenböden im Traisental bei unterschiedlicher Intensität der Bodenbearbeitung. Bei positiven Emissionswerten ist der Boden eine CO<sub>2</sub>-Quelle, bei negativen eine CO<sub>2</sub>-Senke.

### **Nachhaltiger Pflanzenschutz**

Der Schwerpunkt dieses Projektteils lag in der Untersuchung der Nachhaltigkeit und der Einsparungsmöglichkeit von Pflanzenschutzmaßnahmen. Dabei sollten im Sinne eines integrativen Pflanzenschutzes insbesondere die Einsatzmöglichkeiten eines Frühwarnsystems und in Folge eine Verringerung der Fungizidanwendungen untersucht werden. Wünschenswert ist eine höhere Treffsicherheit des Erkennens von Anlassfällen. Durch das Auftreten von Schädlingen und Krankheiten wie Peronospora, Oidium und Botrytis ist der Pflanzenschutz eine große Herausforderung und kann nur schwer auf chemische Hilfsmittel verzichten. Aus Umweltschutzgründen und den hohen Produktionskosten sind viele Betriebe dazu bereit, den Betrieb auf Nachhaltigkeit auszurichten. Das zunehmende ökologische Wissen, ein härteres ökonomisches Umfeld und die Forderungen der Konsumenten nach einer weiteren Reduktion des Pflanzenschutzes zwingen den heutigen modernen Weinbaubetrieb, sein Pflanzenschutzprogramm mehr und mehr zu optimieren. Eine Reduzierung des Pflanzenschutzes bedeutet für die Winzerinnen und Winzer eine genaue und optimierte Spritzung beim Auftreten des Schädling oder der Krankheit. Um beim Abbau der Bekämpfungsintensität die Gefahr von Ertragsverlusten zu vermindern, sind moderne Vorhersagen über den Zeitpunkt und die Stärke des Auftretens von Schadorganismen notwendig. Diese Prognosen sind durch Informationen über die Überwachungsmethoden und Empfehlungen angepasster Bekämpfungsmaßnahmen zu ergänzen.

Die Methodik der regionalen Erfassung eines vorhandenen Befallsdruckes beruhte auf einer Fragebogen-Erhebung. Damit wurden die im Vordergrund stehenden

Pflanzenschutzprobleme, die angewendeten Pflanzenschutzmaßnahmen und das diesbezügliche Fachwissen der Winzerinnen und Winzer abgefragt. Die Optimierung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes wurde anhand von Frühwarnmodellen ermittelt.

Die häufigsten Schaderreger, die regional und saisonal auftreten und auch erkannt werden, sind Peronospora, Oidium und Botrytis; ein geringeres Problem stellen Roter Brenner und Phomopsis dar (Abbildung 7). Diese Schaderreger werden im Durchschnitt mit 7 bis 8 Spritzungen bekämpft, wobei die Botrytisspritzung hauptsächlich separat unter besonderer Berücksichtigung der Traubenzone und besonders häufig beim Traubenschluss durchgeführt wird.

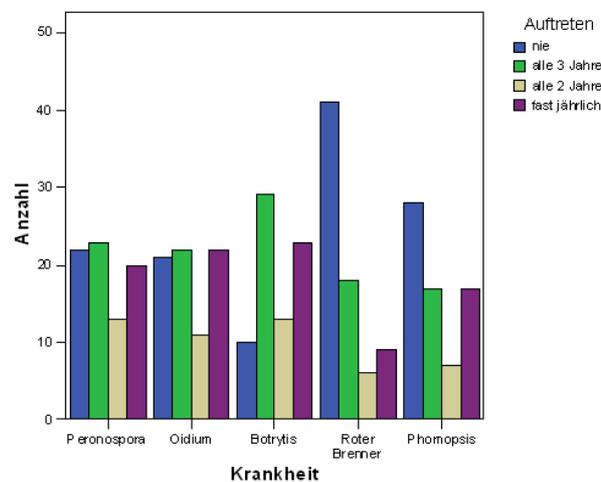


Abbildung 7: Umfrageergebnisse über das Auftreten von Pilzkrankheiten in Traisentaler Weingärten.

Zwecks Prüfung eines Frühwarnsystems wurden verschiedene Warnmodelle in Kombination mit den jeweiligen Pflanzenschutzmaßnahmen über drei Jahre kontrolliert. Es zeigte sich, dass der Einsatz der Maßnahmen sehr wetterabhängig ist und weniger eine Reduzierung, sondern eher eine zeitliche Optimierung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes genau zum Zeitpunkt des Auftretens möglich ist (Abbildung 8).

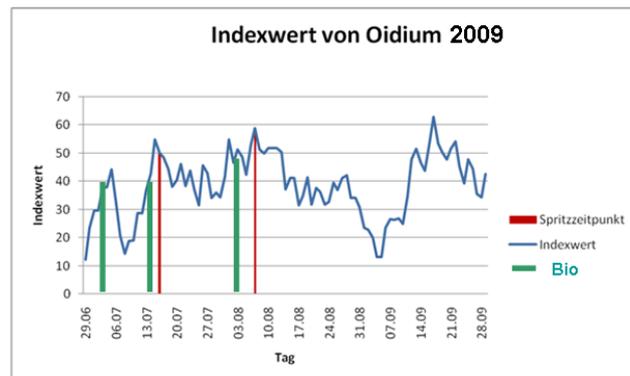


Abbildung 8: Verlauf der Oidium-Infektionsgefahr und der durchgeführten Pflanzenschutzmaßnahmen 2009 im Traisental.

## CO<sub>2</sub>-Fußabdruck des Weins

Um herauszufinden, an welchen Punkten Minderungsmaßnahmen ansetzen können, wurden in einem ersten Schritt die Treibhausgas-Emissionen in den Betrieben und Weingartenflächen der beteiligten WinzerInnen gemessen. Der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck ist die geeignete Kennzahl zur Ermittlung der Treibhausgas-Emissionen eines Produktes. Basierend auf den Erkenntnissen dieser Status-Quo-Analyse des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks und langfristigen meteorologischen Auswertungen auf Basis der Wetterstation Krems wurden im transdisziplinären Dialog zwischen WissenschaftlerInnen und WinzerInnen Vorschläge für Minderungs- und Anpassungsmaßnahmen ausgearbeitet.

Im Zuge einer Analyse des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks werden die Emissionen von klimarelevanten Spurengasen entlang des Lebenszyklus eines Produktes bilanziert. Der allgemeine Produktlebenszyklus umfasst die Herstellung der Rohmaterialien, die Produktion, die Verpackung, die Distribution, den Handel, die Nutzung sowie die End-of-Life Phase. Hierbei werden neben Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) auch andere in der Landwirtschaft relevante Treibhausgase wie etwa Lachgas (N<sub>2</sub>O) und Methan (CH<sub>4</sub>) berücksichtigt.

## Durchführung der Analyse

Im Projekt WEINKLIM wurden die Treibhausgas-Emissionen für den Weinanbau und die Weinerzeugung basierend auf den Daten von neun Traisentaler Betrieben für die Jahre 2007 bis 2009 ermittelt. Durch die Datenerhebung vor Ort konnten die spezifischen Anbau- und Betriebsbedingungen der Region Traisental dargestellt werden. Als funktionelle Einheit für die Untersuchung wurde 1 Liter Wein festgelegt, um die Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Verpackungsgrößen, aber auch zu anderen Produkten herzustellen.



Abbildung 9: Untersuchte Prozesskette für Wein

Die untersuchte Prozesskette umfasste die Herstellung und Ausbringung der Produktionsmittel im Anbau (z.B. Dünge- und Pflanzenschutzmittel), den Dieserverbrauch der landwirtschaftlichen Maschinen, den Energie- und Betriebsmittelverbrauch im Weinkeller, die im Weinkeller anfallenden Abfälle, die Herstellung der Verpackungsmaterialien sowie auch die transportbedingten Treibhausgas-Emissionen im Vertrieb des fertigen Produkts. Für die Berechnungsfaktoren wurden Treibhausgas-Emissionswerte der renommierten LCA-Datenbank Ecoinvent über das Treibhausgaspotenzial für 100 Jahre, entsprechend dem 4. IPCC Assessment Report herangezogen und durch Literaturwerte ergänzt. Die Emissionsquellen, welche im Untersuchungsrahmen dieser CO<sub>2</sub>-Fußabdruck-Analyse enthalten sind, werden in Tabelle 1 aufgelistet.

Tabelle 1: Berücksichtigte Emissionsquellen bei der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck-Analyse

Prozessschritt	Berücksichtigte Emissionsquellen
Weingarten (Traubenproduktion)	Treibstoffverbrauch landwirtschaftlicher Maschinen (Herstellung und Verbrennung)
	Energieverbrauch Bewässerungsanlage (wenn vorhanden)
	Herstellung und Einsatz von Pflanzenschutzmitteln (Art und Menge)
	Herstellung und Einsatz von Düngemitteln (Art und Menge mineralischer und organischer Nährstoffgaben)
	Bodenemissionen (Modellierungsdaten)
Weinkeller (Traubenverarbeitung und Weinerzeugung)	Traubenmenge (eigener Anbau und Zukauf)
	Energieverbrauch (differenziert nach Energieträgern)
	Anteilige Gebinde (Material, Füllmenge und Nutzungsdauer)
	Herstellung Weinbehandlungsmittel (Art und Menge)
	Herstellung Reinigungsmittel (Art und Menge)
Verpackung (Vertriebsvorbereitung)	Herstellung Produktverpackung (Flaschen und andere Gebinde nach Füllmenge, Verschlüsse, Etiketten)
	Herstellung Transportverpackung (Karton)

Prozessschritt	Berücksichtigte Emissionsquellen
Abfälle	Entsorgung fester und flüssiger Abfälle aus dem Weinkeller
Vertrieb	Transportemissionen (durchschnittliche Transportstrecke, Transportmittel, Anteil der jeweiligen Vertriebsform der vermarkteten Gesamtproduktion)

In der Bilanzierung der Treibhausgas-Emissionen sind weder das durch Biomasse gebundene Kohlenstoffdioxid noch die Vergärungsemissionen enthalten, da es sich um eine ausgeglichene Bilanz zwischen photosynthetischer Fixierung und Freigabe durch Respiration, Mineralisierung bzw. Vergärung handelt. Außer den Gebinden im Weinkeller wurden keine anderen Investitionsgüter oder Infrastruktur berücksichtigt. Auch die menschliche Arbeitskraft ging nicht in die Analyse ein.

### **Ergebnisse für 1 Liter Wein**

Im Laufe des Anbaus, der Herstellung inklusive Abfälle und der Abfüllung eines durchschnittlichen Liter Traisentaler Weins werden bis zum Verlassen des Weinkellers rund 1,7 kg CO<sub>2</sub>e emittiert. Für den Transport zu den KundInnen (Großteils Selbstabholung) kommen nochmals rund 0,2 CO<sub>2</sub>e pro Liter dazu. Das Gesamtergebnis unterliegt einer durch die Verschiedenartigkeit der Betriebe bedingten Standardabweichung von +/- 56 Prozent. Abbildung 10 stellt die Anteile der einzelnen Prozessschritte am Gesamtergebnis dar. Die größten Einsparungsmöglichkeiten im Weingarten liegen im Dieserverbrauch der landwirtschaftlichen Maschinen und dem Mineraleinsatz. Im Weinkeller selbst hat der Energieeinsatz den größten Einfluss auf das Gesamtergebnis; der Materialeinsatz im Weinkeller für die Gebinde, Weinbehandlungsmittel und Reinigungsmittel hat auf das Ergebnis nur einen mäßigen Einfluss. Die Verpackung liefert mit rund 45 Prozent den größten Beitrag zur Gesamtemission, was hauptsächlich durch die Treibhausgas-Emissionen in der Herstellung der Glasflasche begründet ist. Unterschiedliche Verpackungsgrößen und -materialien wurden untersucht, um Alternativen beurteilen zu können. Die Distribution im Traisental ist maßgeblich durch die Selbstabholung geprägt. Der Einfluss der sogenannten Last Mile - der Weg vom Hersteller zum Haushalt der KonsumentInnen - ist wie bei vielen Produkten sehr groß, was durch die ökologische Ineffizienz von PKWs erklärbar ist.

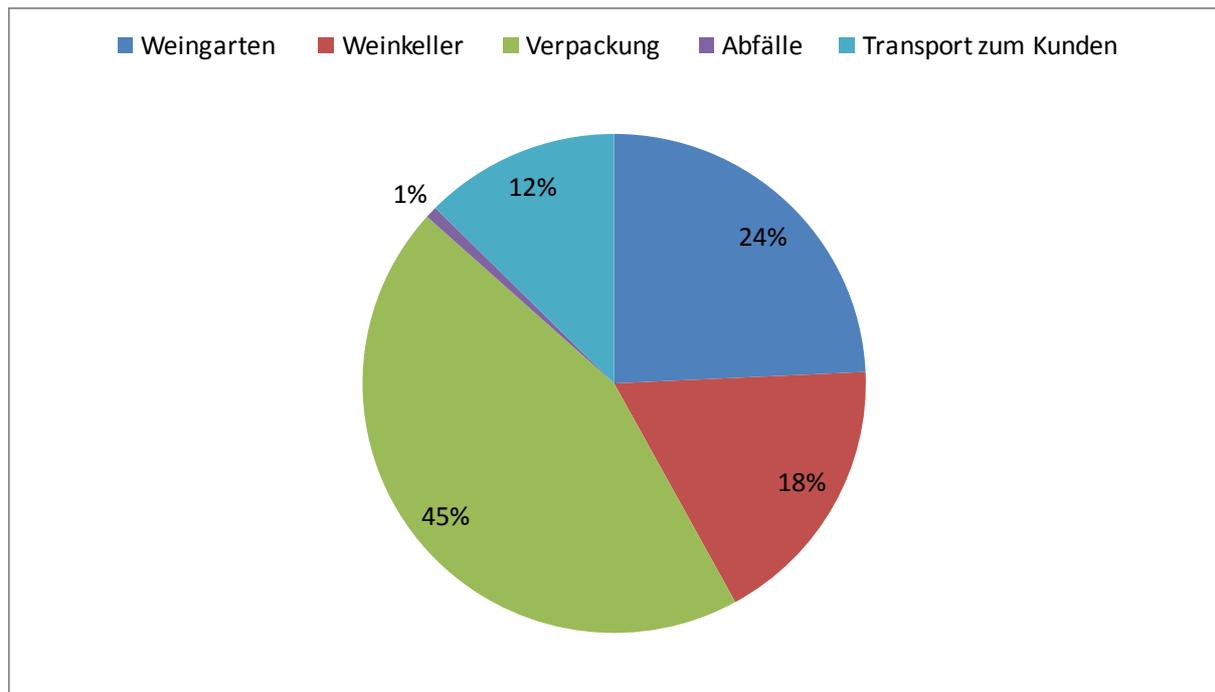


Abbildung 10: Anteile der Prozessschritte am Gesamtergebnis des Carbon Footprints der Weinproduktion unter Traisentaler Verhältnissen (100 % = ca. 1,9 kg CO<sub>2</sub>e pro Liter Wein)

Das in Abbildung 10 dargestellte Gesamtergebnis für einen Liter Wein enthält nicht die Emissionen der Landnutzung. Die Treibhausgas-Emissionen der Weingartenböden wurden mittels Feldmessungen und Modellierungen gesondert ermittelt. Der innovative Aspekt des Projektes ist, dass diese Modellierungsergebnisse mit den Ergebnissen der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck-Analyse zusammengeführt wurden, um ein vollständigeres Bild der Treibhausgas-Emissionen im Weingarten zu bekommen. Pro 1 Hektar Anbaufläche im Weingarten werden im Durchschnitt insgesamt 2,4 t CO<sub>2</sub>-Äquivalente emittiert, wovon rund drei Viertel aus den indirekten Treibhausgas-Emissionen sowie den Verbrennungsemissionen stammen und ein Viertel durch Bodenemissionen verursacht wird. Die Bodenemissionen an Kohlenstoffdioxid und Lachgas, die zum Teil durch den Bodentyp und die Begrünung vorgegeben sind, können durch die Art und Häufigkeit der Bodenbearbeitung und den Düngemiteleinsatz (sowohl Mineraldünger als auch organische Düngemittelgaben) aktiv beeinflusst werden. Basierend auf diesen Ergebnissen hat das Projektteam unter Einbindung der lokalen Stakeholder praxisnahe Vorschläge für Maßnahmen zur Anpassung an und zur Reduktion des Klimawandels im Bereich des Weinbaus erarbeitet.

## **Einbindung der Stakeholder**

Ein wesentlicher Bestandteil des gesamten Projekts war die Einbindung von lokalen bzw. regionalen Stakeholdern (Personen, die Interesse am Verlauf bzw. Ergebnis des Projektes haben) in Form einer Befragung sowie zweier Workshops (Abbildung 11).

### ***Befragung***

Im April und Mai 2009 wurden mit 11 ausgewählten WinzerInnen qualitative Interviews durchgeführt, um ihre Einschätzung zur aktuellen Situation der Klimaveränderungen, ihrer Veränderungsbereitschaft, sowie Bedenken über und Wünsche für die Zukunft zu erfragen. Ziel war es u.a. herauszufinden, welche Ideen die WinzerInnen für einen nachhaltigen Weinbau haben. Ein Großteil der wahrgenommenen Veränderungen bezog sich auf die Weinqualität, die deutlich gestiegen ist, auf den Weintyp, auf durch Klimaerwärmung reifere, kräftigere Weine und auf die Betriebsgröße (einerseits werden die Betriebe immer größer, andererseits schließen kleine Betriebe). Die meisten Veränderungen wurden als positiv empfunden. Die WinzerInnen waren realistisch in ihrem Denken und motiviert, etwas zu ändern. Sie nannten zahlreiche Ideen für nachhaltigen Weinbau, wie die Bildung von Kooperationen und Gemeinschaften (z.B. Maschinenring, eine gemeinsame mobile Abfüllanlage, etc.), die Forcierung des gegenseitigen Austauschs, die Beratung durch Außenstehende oder die Anwendung von integrierter, konventioneller und biologischer Bearbeitung innerhalb eines Betriebes. Die befragten WinzerInnen konnten sich auch vorstellen, die meisten dieser Ideen umzusetzen - auch wenn sie dazu etwas investieren müssten, um nachhaltigen Weinbau zu gewährleisten.

### ***Workshops***

Am ersten Workshop im Februar 2009 nahmen 25 Stakeholder teil (WinzerInnen, lokale Gewerbetreibende, VertreterInnen der Kommunal-/Regionalpolitik und Tourismus-Beauftragte). Neben der Vorstellung des Projekts war das Einholen der Meinungen, Anregungen und Ideen der Stakeholder ein wesentliches Element dieses Workshops. In Form eines Weltcafés wurden folgende Fragen diskutiert: (1) Wie beeinflusst der Weinbau die Umwelt bzw. wie wird der Weinbau durch den Klimawandel beeinflusst? (2) Wie sieht der Weinbau der Zukunft aus? (3) Welche Kooperationen und gemeinsame Aktivitäten mit dem Projekt kann es geben? Gerade bei der letzten Frage entstanden spannende Ideen, wie z. B. Schulprojekte, gemeinsame Vertriebs-Logistik der Weinbaubetriebe, ein Klimaschutzfest organisiert von SWT, Gemeinde und Tourismusbetrieben.

Der zweite Workshop im Februar 2010, an dem 22 Stakeholder (WinzerInnen, lokale Gewerbetreibende, VertreterInnen der Kommunal-/Regionalpolitik und Tourismus-

Beauftragte) teilnahmen, stand unter dem Motto „Entwicklung von Adaptions- und Mitigationsmaßnahmen“. Nach der Vorstellung der Berechnungsergebnisse wurden in vier Themengruppen [(1) Marketing/PR, Gemeinschaftsnutzung und Bewusstseinsbildung, (2) Weingarten: Bodenbearbeitung, Pflanzenschutz, Düngung, (3) Weinkeller und Energieverbrauch, (4) Verpackung, Transport und Vertrieb] zunächst Ideen gesammelt und darauf aufbauend ausgewählte Maßnahmen im Detail ausgearbeitet. Detailliert beschäftigten sich die vier Gruppen mit der Ausarbeitung folgender Maßnahmen: Ausbau und Weiterentwicklung des Maschinenrings, optimale Bewirtschaftungsform, "Lernende Regionen – Gemeinsames Lernen und Nachhaltigkeit als Alleinstellungsmerkmal für das Traisental". Diese Ideen stimmen mit den vom Projektteam entwickelten Maßnahmen überein, gehen aber auch darüber hinaus, da sie allgemeiner sind und nicht nur den Weinbau im engen Sinne betreffen.



Abbildung 11: Workshop-TeilnehmerInnen bei der Arbeit. Fotos: SERI

## **Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel**

Die langfristigen meteorologischen Auswertungen auf Basis der Wetterstation Krems wurden zur Ableitung der nachstehenden Maßnahmen verwendet, welche sich in 3 Gruppen gliedern: Auswahlkriterien vor Anlage eines Weingartens, die Kulturführung des Weingartens und wasserhaushaltsspezifische Maßnahmen.

### ***Auswahl von Lage und Sorte***

Zu diesen Vorschlägen zählen die Selektion von Klon- und Unterlagenmischungen mit erhöhter Stressresistenz, welche auf Basis schon bekannter Resistenzeigenschaften selektiert werden sollen. Manche Entdeckungen unerwarteter und für die Zukunft wertvoller Eigenschaften könnten noch durch Typisierung vorhandener Klone in älteren Weingärten gemacht werden. Die Nutzung der biologischen Variabilität innerhalb der Sorten könnte der Auswahl wärmetoleranter Klone bzw. Typen dienen, aber auch Eigenschaften wie ein

geringerer Säureverlust in der Reifephase oder höhere Anfangs-Säuregehalte werden in Zukunft an Wert gewinnen. Soweit topographisch möglich, ist bei der Widmung von Weinbauzonen eine Ausweitung der Anbauzonen nach oben oder die Rückgewinnung historischer, in der "kleinen Eiszeit" aufgegebenen Weinbaulagen in Betracht zu ziehen.

### ***Kulturführung allgemein***

Die zukünftig nicht nur wärmeren, sondern teilweise auch sonnigeren Bedingungen lassen bei sonnenbrandgefährdeten Sorten Vorsicht bei der Entblätterung der Traubenzone als sinnvoll erscheinen. Änderungen in der phänologischen Entwicklung erfordern neue Optimierungen der Zeitpunkte für verschiedene Arbeitsschritte im Weingarten. Intensivere Nutzung des Warndienstes für Krankheiten sollten zum effizienteren Einsatz von Pflanzenschutzmitteln durch Spritzungen „on demand“ führen. Gerade die aktuelle Ausbreitung von Phytoplasmen-übertragenden Zikaden weist auf die Notwendigkeit des Monitorings neuer Krankheiten bzw. Schädlinge hin und erfordert die Identifikation und Festlegung von Schadschwellen. Die vermehrte Nutzung von Netzen könnte einen kombinierten Hagel-, Sonnen- und Vogelschutz bieten. Die weiterhin latent bestehende Spätfrostgefahr erfordert insbesondere angesichts der Austriebsverfrühung die Entwicklung von Möglichkeiten der Luftumwälzung als Frostschutzmaßnahme. Sortenabhängige Optimierung der Laubwandhöhe und der Höhe der Traubenzone werden nicht nur für den Wasserhaushalt der Reben, sondern möglicherweise auch für die Bekämpfung der Traubenwelke Bedeutung erlangen.

### ***Wasserhaushalt***

So sehr eine Oberflächenbegrünung im Weingarten im Sinne des Erosionsschutzes, des Humuserhalts, der Wasserspeicherfähigkeit des Bodens und der Stickstoffversorgung durch Leguminosen begrüßenswert ist, so erfordert die mögliche Wasserkonkurrenz zur Rebe in Trockenzeiten ein gut überlegtes Gründecken-Management mit rechtzeitigem Mulchen. Auf Grund der Vorteile einer Begrünung sollte sogar die Ausweitung auf den Unterstock-Bereich angedacht werden. Eine vor dem Aussetzen zu überlegende Maßnahme, welche nicht nur für den Wasserhaushalt, sondern auch für den Erhalt der bodenorganischen Substanz eine Rolle spielt, ist die punktuelle Tiefen- oder Reihenlockerung >0,5 m als Alternative zum Rigolen. Wenn die Grundstücksform Flexibilität bei der Reihenausrichtung erlaubt, hilft eine Ausrichtung Nord-Süd bei der Reduktion des Wasserverbrauchs der Reben. Da trotz der in jüngerer Vergangenheit eher feuchteren Jahre eine Trendwende zu einer Serie trockenerer Jahre jederzeit eintreten kann, sind weitere Investitionen in (Tropf-)Bewässerungen

zukunftsorientiert und können sich auch jenseits des Alters einer Junganlage oder bei seichtgründigen Böden rentieren.

### **Maßnahmen zur Verminderung der Treibhausgas-Emissionen**

Unter besonderer Berücksichtigung der durchschnittlichen Verhältnisse von Weingarten-Bewirtschaftung, Weinerzeugung und Vermarktung im Traisental wurden die folgenden Maßnahmenvorschläge entwickelt, um den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck von Wein weiter reduzieren zu können. Zum Erhalt der bodenorganischen Substanz erwies sich die Reduktion von intensiver Bodenbearbeitung von überragender Bedeutung. Die Zufuhr organischen Düngers bzw. Komposts unterstützt zusätzlich den Humusaufbau und die damit verbundene Verbesserung von Bodenfruchtbarkeit, Wasserspeicherung und Kohlenstoffspeicherung. Die Bereitstellung und Anwendung ausreichender organischer Düngermengen würde durch eine zentrale Logistik, Erzeugung und Ausbringung von Kompost erleichtert. Sofern die Rebholzentfernung aus dem Weingarten nach dem Rebschnitt nicht aus phytosanitären Gründen erforderlich ist, unterstützt die Einarbeitung gehäckselten Rebholzes den Bodenhumusaufbau. Der Ausbau und die intensivere Nutzung des Maschinenrings würden zum verbreiteteren Einsatz effizienterer Geräte oder Spezialmaschinen führen und damit Treibhausgas-Emissionen technischer veralteter Maschinen- bzw. Geräteparks vermeiden helfen. Die Bodenbegrünung ist in ihrer Mehrfachfunktion als Anpassungs- aber auch als Minderungsmaßnahme durch die Förderung der Boden-Kohlenstoffspeicherung zu sehen. Ein weiterer Ausbau der Begrünung inklusive der Entwicklung von Unterstockbegrünung, eine Verbesserung des Begrünungsmanagements wie z.B. die Entwicklung einer verbesserten Ausbringungstechnik bei der Anlage einer Begrünung können die Bedeutung dieser Maßnahme bei der Verminderung von Treibhausgas-Emissionen noch erhöhen. Die gasförmigen Stickstoffverluste durch Lachgasemissionen aus dem Boden lassen eine entzugsorientierte Stickstoffzufuhr mit möglichst geringem Mineraldünger-Anteil und möglichst hohem Anteil organischer Düngung bzw. Leguminosen in der Gründecke geraten erscheinen. Der Appell an eine Verringerung der Anzahl der Traktordurchfahrten und die Nutzung sparsamerer Traktoren zielt auf die Reduktion des hohen Anteils der Treibstoffbedingten Treibhausgas-Emissionen bei der Weingartenbewirtschaftung. Der überragende Anteil der Glasflasche an den verpackungsbedingten Treibhausgas-Emissionen sollte Anstoß zur Entwicklung von Alternativen bei den verwendeten Materialien, Art und Form von Abfüllbehältnissen geben. Wenngleich für die Vermarktungssituation im Traisental die Selbstabholung durch die Kunden mit eigenem PKW eine große Rolle spielt, könnten bewusstseinssteigernde Maßnahmen hinsichtlich der ökologischen Effekte des PKW-

Verkehrs möglicherweise die Transport-Effizienz pro Fahrt erhöhen. Die Winzerinnen und Winzer wissen nicht immer Bescheid, welcher Anteil des Energieverbrauchs ihres Betriebs durch Keller oder Presshaus verursacht worden ist, da typischerweise nur ein gemeinsamer Zähler für Wohn- und Wirtschaftsgebäude vorhanden ist. Eine Aufteilung der elektrischen Netze in eigene Zählerkreise könnte die Energie-Großverbraucher im Betrieb sichtbar machen. Wesentlich im Sinne der Verringerung von Treibhausgas-Emissionen wäre auch eine Erhöhung des Ökostromanteils. Neue Maßnahmen sollten nicht ohne die Überprüfung ihrer Wirtschaftlichkeit gesetzt werden. Es bestehen bereits erste Versionen standardisierter Tools zum Energiemonitoring und Abschätzung des Einsparungspotentials im Keller wie z.B. die Amethyst-Software ([www.amethyst-project.eu](http://www.amethyst-project.eu)). Eine Anpassung dieses Programms an österreichische Weinbaugebiete wäre ebenso wünschenswert wie die Ausweitung zu einem Entscheidungstool, das die Effizienz von Bewirtschaftungsänderungen in der gesamten Produktionskette über Weingarten, Presshaus, Keller und Vermarktung beurteilen lässt.

Korrespondenz und Rückfragen zum Artikel an den Erstautor ([gerhard.soja@ait.ac.at](mailto:gerhard.soja@ait.ac.at))

### **Autorinnen und Autoren**

PD Dr. Gerhard Soja  
AIT Austrian Institute of Technology GmbH  
Health and Environment Department  
2444 Seibersdorf  
[gerhard.soja@ait.ac.at](mailto:gerhard.soja@ait.ac.at)

Dr. Franz Zehetner und DI Gorana Rampazzo-Todorovic  
Universität für Bodenkultur Wien  
Institut für Bodenforschung  
Peter Jordan-Str. 82  
1190 Wien  
[franz.zehetner@boku.ac.at](mailto:franz.zehetner@boku.ac.at)

DI Barbara Schildberger  
LFZ Klosterneuburg  
Wiener Straße 74  
3400 Klosterneuburg  
[Barbara.Schildberger@hblawo.bmlfuw.gv.at](mailto:Barbara.Schildberger@hblawo.bmlfuw.gv.at)

DI Konrad Hackl  
NÖ Weinbauverband  
Sigleithenstraße 50  
3500 Krems  
[konrad.hackl@krems.lk-noe.at](mailto:konrad.hackl@krems.lk-noe.at)

Rudolf Hofmann  
IK Traisental

Oberndorferstraße 41  
3133 Traismauer  
office@weingut-hofmann.at

Mag. DI Eva Burger, DI Sigrid Grünberger, Dr. Ines Omann,  
SERI Nachhaltigkeitsforschungs- und -kommunikations GmbH  
Garnisongasse 7/27  
1090 Wien  
eva.burger@seri.at

## **Quellenangabe**

Alle Ergebnisse, die in den Abbildungen 1-10 und Tabelle 1 dargestellt sind, stammen von eigenen Datenerhebungen und Auswertungen der AutorInnen. Ausgangsdaten der Klima-Auswertungen sind in den Referenzen zu Abbildung 1 enthalten. Für die Überlassung von meteorologischen Daten von Krems und Umgebung wird Josef Eitzinger und Gerhard Kubu (Universität für Bodenkultur) sowie Gerhard Hohenwarter (ZAMG), Karl Bauer und Erhard Kühner (Fachschule Krems) gedankt. Die Maßnahmenvorschläge zur Mitigation und Klimawandel-Anpassung wurden gemeinsam vom Projektteam sowie von den Teilnehmern an den beiden Workshops im Traisental erarbeitet.