

CO₂

RECHNER FÜR DEN WEINBAU



Handlungsoptionen für CO₂-bindende und mindernde Maßnahmen in der weinbaulichen Außenwirtschaft

erstellt im Rahmen des von der Europäischen
Innovationspartnerschaft (EIP) geförderten Projektes:

Betriebsbezogener Emissionsrechner für den Weinbau
*Instrument zur Analyse der Klimawirksamkeit
entlang der weinbaulichen Wertschöpfungskette*



INHALT

	EINFÜHRUNG	5
	CO₂-Senken im Weinbau	6
01	Weinbauliche Begrünungsstrukturen	8
02	Agroforstsysteme	17
03	CO₂-Bindung durch Humusaufbau	23
04	Bewässerung in Weinberganlagen	35
05	Statements	42

Mit Beispielen aus der weinbaulichen Praxis

Projektkoordination:

Prof. Dr. Gerhard Roller & Dr. Desirée Palmes

Technische Hochschule Bingen

Berlinstr. 109, 55411 Bingen

Kontakt: <http://nachhaltiger-weinbau.net>

Mitautoren:

Laura Clemens, Technische Hochschule Bingen (Kap. 01 & 02)

Maximilian Borner, Weingüter Heitlinger & Burg Ravensburg (Kap. 03)

Anika Stollsteimer, Duale Hochschule Baden-Württemberg (DHBW) Heilbronn
und Jule Volk, Weingut Volk, Spay (Kap. 04)

mit Praxisbeiträgen von:

Herbert Roth, Wein- und Sektgut Wilhelmshof, Siebeldingen

Richard Grünewald, Weingut Grünewald & Schnell, Worms

Georg Forster, Weingut Forster, Rümmlsheim

Kristine Bäder, Weingut Wohlgemuth-Schnürr, Gundersheim

Michael Lipps, Dienststellenleiter, Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum (DLR)
Rheinhessen-Nahe-Hunsrück

Sonja Ostermayer, Projektleiterin Nachhaltigkeitskommunikation,
Rheinhessenwein e. V.

Johannes Dries, Weinbauberater, Landwirtschaftskammer Rheinland-Pfalz

Alle Rechte vorbehalten.

Nachdruck und Vervielfältigungen nur mit Zustimmung der Projektbeteiligten.

@2024 Technische Hochschule Bingen

Gestaltung: Annette Thiergarten, Bad Kreuznach

EINFÜHRUNG

Der CO₂-Rechner für den Weinbau ermöglicht es Betrieben eigenständig eine CO₂-Bilanz zu erstellen und die betrieblichen „Hotspots“ zu erkennen, bei denen eine Minderung der Emissionen sinnvoll ist. Darüber hinaus können auch die durch CO₂-Bindungsmaßnahmen der Atmosphäre entzogenen CO₂-Anteile („Senken“) berechnet werden.

Die vorliegende Broschüre soll ergänzend zu dem CO₂-Rechner Maßnahmen aufzeigen, die – insbesondere im Bereich der CO₂-Bindung – von den Betrieben umgesetzt werden können. Er fasst die im Rahmen des Forschungsprojektes diskutierten und mit den Betrieben entwickelten wesentlichen Maßnahmen zusammen und gibt auch Anregungen für bislang noch als „Nischen“ anzusehende Ansätze. Zudem fließen Ergebnisse aus einem parallelen Forschungsprojekt ein, welches von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt gefördert wurde, indem die TH Bingen gemeinsam mit der Stadt Stromberg umfangreiche konkrete Konzepte für Begrünungsstrukturen entwickelt hat, die nicht nur in der Stadtplanung, sondern auch im Weinbau nutzbar sind.

Informationen zum Nutzen und der Anwendung
des betrieblichen CO₂-Rechners unter

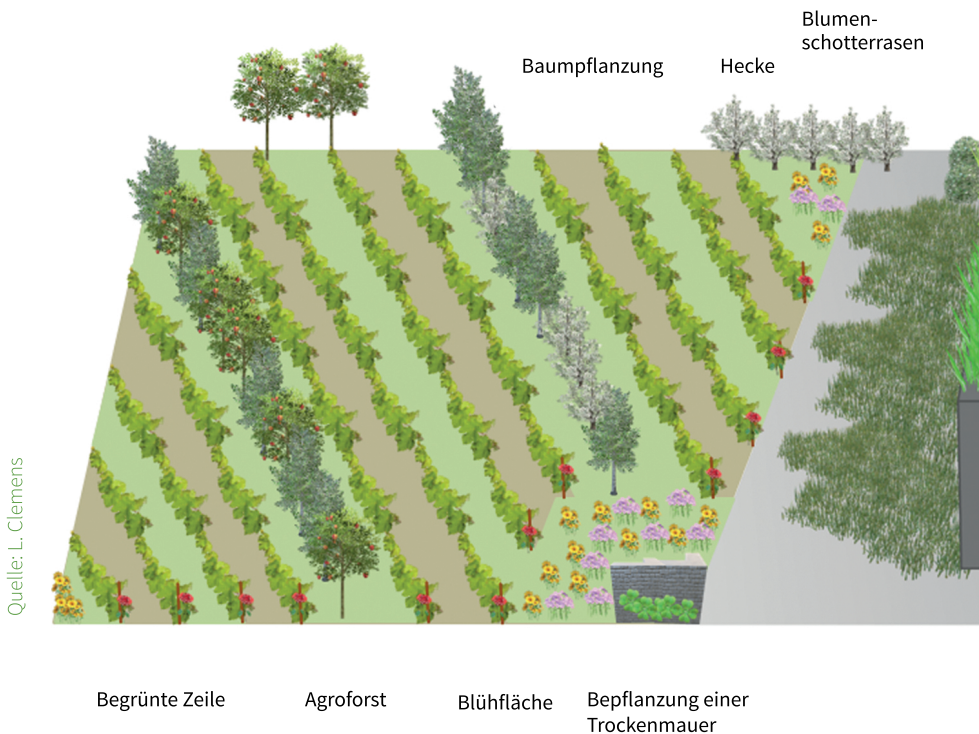


<http://nachhaltiger-weinbau.net>

CO₂-Senken im Weinbau

Standortspezifisch angepasste Begrünungsstrukturen sind für Flora und Fauna ein wertvoller Lebens- und Rückzugsraum in den Weinbergsanlagen. Sie sind darüber hinaus auch temporäre CO₂-Senken und leisten einen Beitrag zum Klimaschutz. Begrünungsmaßnahmen haben somit einen doppelten Nutzen. Der CO₂-Emissionsrechner ermöglicht den Anwendern weinbauliche Strukturelemente zu erfassen und die CO₂-Bindungsleistung der jeweiligen Strukturelemente zu berechnen.

Vielfältige Begrünung auf dem Weingut



In den folgenden Beiträgen werden zahlreiche Beispiele für CO₂-mindernde und -bindende Maßnahmen, in und um die Produktionsanlage dargestellt. Die vielfältigen Möglichkeiten sind in dem folgenden Modell überblicksartig dargestellt.

➔ **Weinbauspezifische Begrünungskonzepte sind in dem betrieblichen CO₂-Rechner hinterlegt.**



Begrünungsstrukturen um die Produktionsanlagen

Auf einem Weingut sind vielfältige Möglichkeiten zur Begrünung umsetzbar. Die Maßnahmen können nicht nur im Weinberg, sondern auch auf der gesamten Hofanlage verwirklicht werden.

Die zur Begrünung verwendeten Pflanzenarten binden durch die Photosynthese CO_2 aus der Luft und dienen somit dem Klimaschutz. Darüber hinaus haben die Begrünungsstrukturen einen positiven Einfluss auf das Mikroklima sowie auf die Förderung der Biodiversität. Zusätzlich verbessert die Bepflanzung das optische Erscheinungsbild der Produktionsanlagen.

Bei der Auswahl der verwendeten Pflanzenarten für die Begrünungsmaßnahmen sollte darauf geachtet werden, möglichst heimische Arten zu verwenden, die an die jeweiligen Bedingungen angepasst sind. Besonders wichtig ist, dass die Pflanzen mit den jeweils vorherrschenden Licht- und Bodenverhältnissen zurechtkommen. Zudem sind mehrjährige Arten zu bevorzugen, damit die Strukturen nicht mehrmals jährlich neu bepflanzt werden müssen.

Im Folgenden wird eine Auswahl an Begrünungselementen und -strukturen aufgezeigt. Die Pflanzlisten und Pflanzpläne dienen als Anregung und sollen die Umsetzung erleichtern.

PHOTOVOLTAIKANLAGE MIT DACHBEGRÜNUNG

Lichtverhältnisse: sonnig, halbschattig
Bodenverhältnisse: trocken

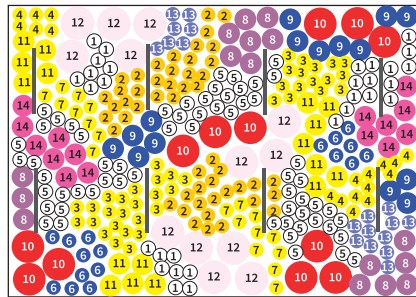
Auf Dachflächen kann sowohl eine Dachbegrünung als auch eine Photovoltaikanlage realisiert werden. Diese Kombination bietet durch positive Synergien eine effiziente Nutzung der Fläche. Die Dachbegrünung führt zu einer Reihe klimatischer Vorteile, wie der Schadstoffbindung, dem Wasserrückhalt und der Wärmeregulation. Darüber hinaus leistet sie einen Beitrag zur Biodiversität, zum Schallschutz und zur Naherholung. Durch die geringere Erwärmung der Gründächer können die kühleren Photovoltaikpaneele ihre Energieerzeugung steigern. Im Gegenzug hilft die Verschattung

durch die Photovoltaikmodule den Trockenstress der Vegetation zu mindern. Aufgrund der Verknüpfung und Nutzung beider Systeme dürfen keine zu hochwachsenden Arten verwendet werden, um eine Verschattung der Photovoltaikmodule zu vermeiden.

➔ Im Begrünungskompass Konzept 30

PFLANZPLAN DACHBEGRÜNUNG

35 m²



Nr.	Botanischer Name	Deutscher Name	Stk.	Blühzeit	Blühfarbe	Sonstiges
1	<i>Sedum album</i>	Weißer Mauerpfeffer	30	VI – VIII	weiß	
2	<i>Sedum saxangulare</i>	Milder Mauerpfeffer	50	VI – VII	gelb	
3	<i>Sedum rupestre</i>	Trippmadam	40	VI – VII	gelb	
4	<i>Sedum telephium</i> subsp. <i>ruprechtli</i>	Hohe Fetthenne	13	VIII – X	gelb	
5	<i>Sedum dasyphyllum</i>	Buckel-Fetthenne	61	V – VIII	weiß	
6	<i>Campanula carpatica</i>	Karpaten-Glockenblume	17	V – VIII	violett	
7	<i>Potentilla neumanniana</i>	Frühlings-Fingerkraut	19	III – V	gelb	
8	<i>Acinus alpinus</i>	Alpen-Steinquendel	16	V – VIII	rotviolett	
9	<i>Calamintha nepeta</i> subsp. <i>nepeta</i>	Bergminze	15	VII – IX	violettblau	
10	<i>Dianthus carthusianorum</i>	Karthäuser Nelke	12	VI – IX	rot	
11	<i>Helianthemum nummularium</i>	Gewöhnliches Sonnenröschen	17	V – VII	gelb	
12	<i>Petrorhagia saxifraga</i>	Steinbrech-Felsennelke	13	VI – IX	rosa-weiß	
13	<i>Satureja montana</i> subsp. <i>illyrica</i>	Zwerg-Berg-Bohnenkraut	18	VIII – IX	violett	
14	<i>Thymus serpyllum</i>	Sand-Thymian	15	VI – VIII	rosa	

heimisch
 wintergrün

BEPFLANZUNG EINER TROCKENMAUER

Lichtverhältnisse: sonnig

Bodenverhältnisse: trocken

Steinhaufen und Steinstrukturen bieten vielen Reptilien und Kleinlebewesen Verstecke und Lebensräume. Steinhaufen entstanden früher häufig an Feldrändern, sind heute jedoch seltener zu finden. Sie können aber auch in Gärten oder allgemeinen Grünflächen, überall dort wo eine gute Sonneneinstrahlung vorhanden ist, angelegt werden. Hier wird ein Steinhaufen mit einer bepflanzten Trockenmauer kombiniert. So werden neben Kriechtieren auch bestäubende Insekten gefördert. Dieses Beet und der Steinhaufen sind in seiner Größe variabel.

➔ Im Begrünungskompass Konzepte 35 und 36

PFLANZENAUSWAHL FÜR TROCKENMAUERN

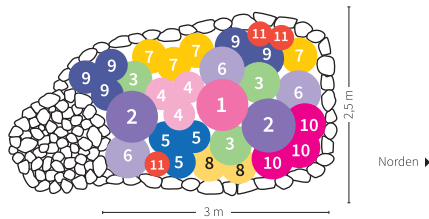
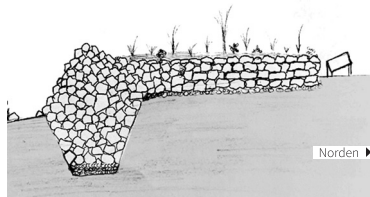
Botanischer Name	Deutscher Name	Blühzeit	Blühfarbe	Nützlinge	Gefährdung	Sonstiges
<i>Ameria maritima</i> <i>ssp. elongata</i>	Gewöhnliche Grasnelke	V – XI	rosa		V	
<i>Carlina acaulis</i> <i>ssp. simplex</i>	Stengel-Silberdistel	VII – VIII	silbrig-weiß		V	
<i>Echium vulgare</i>	Natternkopf	VI – VIII	blau			
<i>Euphorbia cyparissias</i>	Zypressen-Wolfsmilch	IV – VI	zitronengelb			
<i>Helianthemum nummularium</i>	Gewöhnliches Sonnenröschen	V – VII	gelb		3	
<i>Hieracium pilosella</i>	Kleines Habichtskraut	V – X	gelb			
<i>Potentilla tabernaemontani</i>	Frühlingsfingerkraut	IV – VIII	gelb			
<i>Sedum acre</i>	Scharfer Mauerpfeffer	VI – VII	gelb			
<i>Sedum album</i>	Weißer Mauerpfeffer	VI – VIII	weiß			
<i>Sedum rupestre</i>	Tripmadam	VI – VII	gelb			
<i>Sedum sexangulare</i>	Milder Mauerpfeffer	VI – VII	gelb			
<i>Thymus praecox</i>	Frühblühender Thymian	VI – VIII	rotviolett			
<i>Thymus serpyllum</i>	Sand-Thymian	VI – VIII	rosa		V	
<i>Veronica spicata</i>	Ähriger Ehrenpreis	VII – VIII	blau		3	

	bienenfreundlich		gefährdet		heimisch
	schmetterlingsfreundlich		Vorwarnliste		wintergrün
	insektenfreundlich				giftig

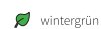
PFLANZPLAN EINER TROCKENMAUER MIT BEET

Pflanzenauswahl für die Bepflanzung
der Trockenmauer

PFLANZPLAN MIT VERWENDETEN PFLANZENARTEN
7,5 m²



Nr.	Botanischer Name	Deutscher Name	Höhe	Blühzeit	Blüfärb	Nütlinge	Sonstiges
1	<i>Sedum telephium</i>	Purpur-Fetthenne	25 – 50 cm	IX – X	rosa		
2	<i>Aster amellus</i>	Kalk-Aster	20 – 50 cm	VIII – X	lila		
3	<i>Festuca ovina</i>	Schaf-Schwingel	10 – 40 cm	V – VIII	grün		
4	<i>Teucrium chamaedrys</i>	Echter Gamander	15 – 30 cm	VI – VIII	rosa		
5	<i>Ajuga genevensis</i>	Genfer Günsel	10 – 30 cm	V – VI	blau		
6	<i>Calamintha nepeta</i>	Steinquendel	20 – 50 cm	VII – X	violett		
7	<i>Helianthemum nummularium</i>	Gewöhnliches Sonnenroschen	10 – 30 cm	VI – IX	gelb		
8	<i>Alyssum wulfenianum</i>	Wulfen-Steinkraut	15 – 20 cm	V – VI	gelb		
9	<i>Aubrieta hybrida</i> "Blauweise"	Blaukissen	8 – 10 cm	IV – V	blau		
10	<i>Phlox subulata</i> "Scarlet Flame"	Polster-Flammenblume	5 – 10 cm	V – VI	rot		
11	<i>Sempervivum arachnoideum</i>	Spinnweb-Hauswurz	15 – 30 cm	VI – VII	rot		







Wein- und Sektgut Wilhelmshof, Siebeldingen, Herbert Roth Trockenmauer, Lebenstürme & „Eh da“-Flächen

Während der Flurbereinigung in den 60er Jahren fielen zahlreiche Hecken, Bäume und Nischen als Brutstätten und Lebensraum für Tiere weg. Vor dem Anlegen eines Weinberges im Frankweiler Petersbuckel bot es sich an, das seitenhängige Gelände durch Anlegen einer 70 Meter langen Trockenmauer etwas zu begradigen. Zumal die Steine und Findlinge beim Roden der umliegenden Weinberge zum Vorschein kamen. Wir versuchten so einen Ausgleich zu schaffen und neuen Lebensraum für Kleintiere und Insekten zu gestalten. Die Trockenmauer wurde mit dem Scharfen Hohenheimer Mauerpfeffer, sowie mit Rosmarin-Stauden begrünt. Für die Randstreifen haben wir die Südpfälzer Blümmischung von RWS verwandt mit einem extra Zuschlag Phacelia versehen.



Auf unseren Weinbergen stehen mittlerweile drei 5-Meter hohe Lebenstürme, die auf nur einem Quadratmeter Fläche in verschiedenen Stockwerken Unterschlupf für Igel, Mäuse, Wildbienen, Vögel und zahlreiche andere Insekten und Kleintiere bieten. Sie dienen zur Erhaltung der Artenvielfalt, denn durch die zunehmende Monokultur, verlieren viele Lebewesen ihren natürlichen Lebensraum. Zum Bau wurden 20 bis 25 cm dicke Kastanienstämme verwendet und unten mit meterlangen alten T-Trägern versehen, wegen der Haltbarkeit und um kein klimaschädliches Betonfundament verwenden zu müssen. Je zwei Stämme wurden auf dem Hof miteinander verbunden und mit Hilfe eines Baggers im Weinberg aufgestellt.



2012 bis 2014 wurden vom Institut AgroScienc DLR, Neustadt, eine Studie zu den „Eh da-Flächen“ durchgeführt, also Flächen, die eh da sind und nicht für den Naturschutz aus der Nahrungsmittelproduktion genommen werden müssen. Wir fanden das Projekt gut und haben geeignete Randstreifen an unseren Weinbergen daraufhin in Blühstreifen umgewandelt, anstatt sie immer wieder kahl abzumulchen. Auch einen dreißig Jahre alter Pfirsichbaum, der bei der Flurbereinigung „im Wege stand“, haben wir gerettet und in einen solchen Streifen umgepflanzt. Zur Begrünung haben wir Bienenweide Nr. 89 Tübinger Mischung oder Blümmischung von Syngenta verwendet. Auch an überregionalen Begrünungsprojekten, wie bspw. dem „Begrünungskompass“ der Stadt Stromberg beteiligen wir uns in kooperativer Form.

Bauanleitung:

<https://www.nabu-heidewald.de/projekte/lebensturm>

Biodiversitätsfördernde Maßnahmen

Weitere Maßnahmenvorschläge und Best Practice Beispiele zur Förderung der Biodiversität in Weinbergstrukturen sowie Indikatoren für eine selbständige Kartierung der Weinbauflächen finden Sie unter:

<https://wein-biodiversitaet.de/biodiversitaet>



Agroforst, im Weinbau als Vitiforst bekannt, ist die Bezeichnung für Landnutzungssysteme, die Gehölze und agrarwirtschaftliche Nutzung verbinden. In den Ursprüngen des Weinbaus wuchsen die Weinreben am Fuß von Bäumen und wurden auch an diesen kultiviert. Relikte dieser Anbaumethode sind immer noch in Italien zu finden und werden bis heute erhalten (Mazzeo 2023). In der Gegenwart ist diese Anbaumethode praktisch kaum noch vorhanden, gewinnt im Rahmen von Forschungsprojekten jedoch zunehmend an Bedeutung.¹ Im Folgenden soll eine Übersicht über die Vor- und Nachteile dieser Nischenmethode gegeben werden.

Positiver Nutzen des Agroforst

Bereits im Boden zeigen sich viele positive Effekte durch das Agroforst-System. Die Wurzeln der Bäume lockern den Boden auf und verhelfen somit zu einer besseren Durchlüftung und Wasseraufnahmefähigkeit des Bodens. Außerdem schützen sie, zusammen mit dem durch die Gehölze angeregten Humusaufbau, vor Erosion. Tiefwurzler können zudem während Dürreperioden Wasser aus den tieferen Bodenschichten nach oben transportieren, ähnlich einer Wasserpumpe, und dies den Reben zugänglich machen.

Bäume, die in den Rebanlagen oder dicht daneben gepflanzt werden, verschatten die Reben und bewahren diese vor Sonnenbrandschäden. Zusammen mit Hecken können sie außerdem vor Wind schützen und durch ihre Evapotranspirationsleistung in der Umgebung für einen Temperatenausgleich sorgen. Somit können auch in Hitzejahren wieder längere Reifezeiten erreicht werden, die als ein Qualitätsmerkmal der deutschen Weine gelten.

Agroforst fördert die Biodiversität in Weinbergen

Eine strukturreiche und vielfältige Begrünung mit Bäumen und Hecken fördert die Biodiversität im Weinberg und somit die Anzahl der Nützlinge, die die Reben vor Schädlingen schützen. So nutzen Fledermäuse die Baumstrukturen als Orientierungshilfen und erweitern ihr Jagdgebiet in die Weinberge, wo unter anderem der Traubenwickler zu ihrer Beute zählt. Durch den Anschluss der Baumpflanzungen an vorhandene Orientierungsstrukturen und der Installation von Nisthilfen lassen sie sich auch dauerhaft ansiedeln.

Bei der Bepflanzung mit Hecken in Hanglagen sollte besonders darauf geachtet werden, dass diese nach unten hin keinen vollständigen Riegel bilden, da dies die Entstehung von Kälte- oder Feuchteseen begünstigen kann. In diesem Fall sollten bewusst Lücken gelassen werden, um den Abfluss von kalter bzw. feuchter Luft zu ermöglichen (Bastide et al. 2022).

Allerdings eignet sich nicht jeder Baum gleich gut als Nachbar und Partner der Traube. Flachwurzler können vor allem zu Dürrezeiten in direkte Konkurrenz mit den Reben treten. Zudem können bestimmte Fruchtbäume Schädlingsbefall begünstigen, wenn sie zum Beispiel attraktiv für die Kirschessigfliege sind. Davon abgesehen gibt es aber auch zahlreiche Fruchtbäume, die sich gut mit dem Weinbau verbinden lassen und gleichzeitig die Verarbeitung von Nebenprodukten ermöglichen (siehe Tabelle Seite 19).

Mykorrhizen sorgen für mehr Resilienz der Reben

Besonders positiv auf die Entwicklung der Weinstöcke wirken sich Gehölze aus, deren Wurzeln in Symbiose mit der gleichen Mykorrhiza-Pilzfamilie leben wie die der Reben (Endomykorrhiza). Diese Partnerschaft erleichtert den Reben die Ausbildung eines Mykorrhiza-Netzwerks, das ihre natürlichen Abwehrkräfte steigert und sie widerstandsfähiger gegenüber verschiedenen Stressfaktoren macht. „Über diese Symbiose kann sich die Rebe Wasserreserven im Boden erschließen, welche sich in feinsten Bodenporen befinden, die die Wurzel der Reben selbst nicht erreichen können – die Pilzhyphe jedoch schon“ (Patzwahl 2023). Zusätzlich sollte der Baum nicht in der gleichen Tiefe wie die Reben wurzeln, um nicht in Konkurrenz mit ihnen zu geraten. Die meisten Rebsorten wurzeln bis in eine Tiefe von ca. 60 Zentimetern. Ein Baum, der entsprechend tiefer wurzelt, hat zudem auch den erwähnten Wasserpumpen-Effekt.

Den perfekten Baum für Agroforst im Weinbau gibt es allerdings nicht, da die Auswahl stark von den örtlichen Verhältnissen (Topografie, Mechanisierungsgrad, etc.) abhängig ist. Doch wurden in europäischen Weinbergen bereits gute Erfahrungen mit z.B. Maulbeere, Ahorn, Quitten- und Birnenbäumen sowie Corbus-Arten (mit Ausnahme der Vogelbeere) gesammelt. Auf Pinien (außer *pinus brutia* und *pinus pinea*) und Eichen sollte man aber verzichten, da diese eine starke Konkurrenz zu den Reben bilden. Es empfiehlt sich eine Mischung aus verschiedenen Baumarten zu verwenden, da dies das Risiko von Krankheits- und Schädlingsausbreitungen senken und auch einen landschaftsbildlich angenehmeren Eindruck begünstigen.

Tiefwurzelnde, Endomykorrhizaausbildende heimische Arten, geeignet für Vitiforst (Wyss & Bastide 2022)

Fruchtbäume	
<i>Castanea sativa</i>	Edelkastanie
<i>Pyrus communis</i>	Birne
<i>Sorbus aria</i>	Mehlbeere
<i>Sorbus domestica</i>	Speierling
<i>Sorbus torminalis</i>	Elsbeere
Fruchtsträucher	
<i>Juniperus communis</i>	Gemeiner Wachholder
<i>Prunus domestica</i>	Pflaume
<i>Prunus mahaleb</i>	Felsenkirsche
<i>Rosa agrestis</i>	Acker-Rose
<i>Rosa arvensis</i>	Feld-Rose
<i>Rosa caesia</i>	Lederblättrige Rose
<i>Rosa gallica</i>	Essig-Rose
Laubbäume	
<i>Acer opalus</i>	Schneeballblättriger Ahorn
<i>Carpinus betulus</i>	Hainbuche
<i>Tilia cordata</i>	Winterlinde
<i>Tilia platyphyllos</i>	Sommerlinde
<i>Ulmus laevis</i>	Flatterulme
<i>Ulmus minor</i>	Feldulme

Herausforderungen im Agroforst

Größte Kritikpunkte im Hinblick auf die Umstellung auf Vitiforst sind die erschwerte Mechanisierung der Weinberge und eine damit einhergehende erhöhte Arbeitslast sowie befürchtete Ertragseinbußen, die sich finanziell auswirken könnten. Während das Problem der Mechanisierung mit entsprechender Planung in gewissen Grenzen zu halten ist, können sich Ertragseinbußen daraus ergeben, dass eine Rebzeile durch eine Baum- oder Heckenreihe ersetzt wird. Durch die positiven Effekte der Bepflanzung können sich die Einbußen vor allem in Dürre Jahren unter Umständen ausgleichen. Die Pflanzung ganzer Baum- oder Mischheckenreihen innerhalb des Weinbergs stellt nur eine Variante für Agroforst im Weinberg dar. Ebenso können Bäume am Zeilenende gepflanzt werden, Bäume und Hecken zwischen den Parzellen oder eine Bauminsel als Biodiversitäts-Hotspot innerhalb des Weinbergs. Je nach verfolgtem Ziel (Förderung der Biodiversität, Schaffung eines Windschutzes, Verbesserung des Wassermanagements) bieten sich unterschiedliche Varianten an.

Insgesamt kann Agroforst aber nur als ein Schritt hin zu einem resilienten Weinberg gesehen werden. Es braucht zusätzlich weitreichendere Begrünungsmaßnahmen und Anpassungen in der Bewirtschaftungsweise, um die Biodiversität zu erhöhen. Ziel sollte ein möglichst strukturreicher und daher artenreicher Weinberg sein, denn eine hohe Biodiversität hilft den Reben sich an ein geändertes Klima mit häufigeren Extremwetterereignissen anzupassen.

In der Praxis wird die Umsetzung der Agroforstsysteme von Winzern sehr zurückhaltend gesehen (Riekötter & Hassler 2022). Als eine langfristige Maßnahme zur Anpassung, an die sich ändernden Umweltbedingungen sollten diese aber zukünftig mit in Betracht gezogen und weiter erforscht werden.

Agroforstsysteme in der Praxis

Agroforstsysteme sind förderfähig, sofern Gehölzpflanzen auf Ackerland, in Dauerkulturen oder auf Dauergrünland angebaut werden. Die Flächen müssen dabei dem vorrangigen Ziel der Rohstoffgewinnung oder der Nahrungsmittelproduktion dienen. Außerdem muss ein positiv geprüftes Nutzungskonzept vorliegen.

In Rheinland-Pfalz sind Agroforstsysteme über die bundeseinheitlichen Öko-Regelungen (Öko-Regelung 3) förderfähig. Diese sind jährlich im Rahmen der Agrarförderung der 1. Säule zu beantragen. Die Förderung ist bislang für eine Periodenlaufzeit bis 2027 vorgesehen.

Voraussetzungen zur Förderfähigkeit bei der Öko-Regelung 3:

Anteil Gehölzstreifen zwischen 2 – 35 % der Fläche und weitestgehend durchgängig mit Gehölzen bestockt

Mindestens zwei Gehölzstreifen

Gehölzstreifen mindestens 3 Meter und maximal 25 Meter breit

Mindestabstand von 20 Metern zwischen den Streifen bzw. der Streifen bis zum Rand der Fläche

Höchstabstand von 100 Metern zwischen den Streifen bzw. der Streifen bis zum Rand der Fläche

Holzernte nur im Januar, Februar und Dezember

Bestimmt Gehölzarten nicht zulässig

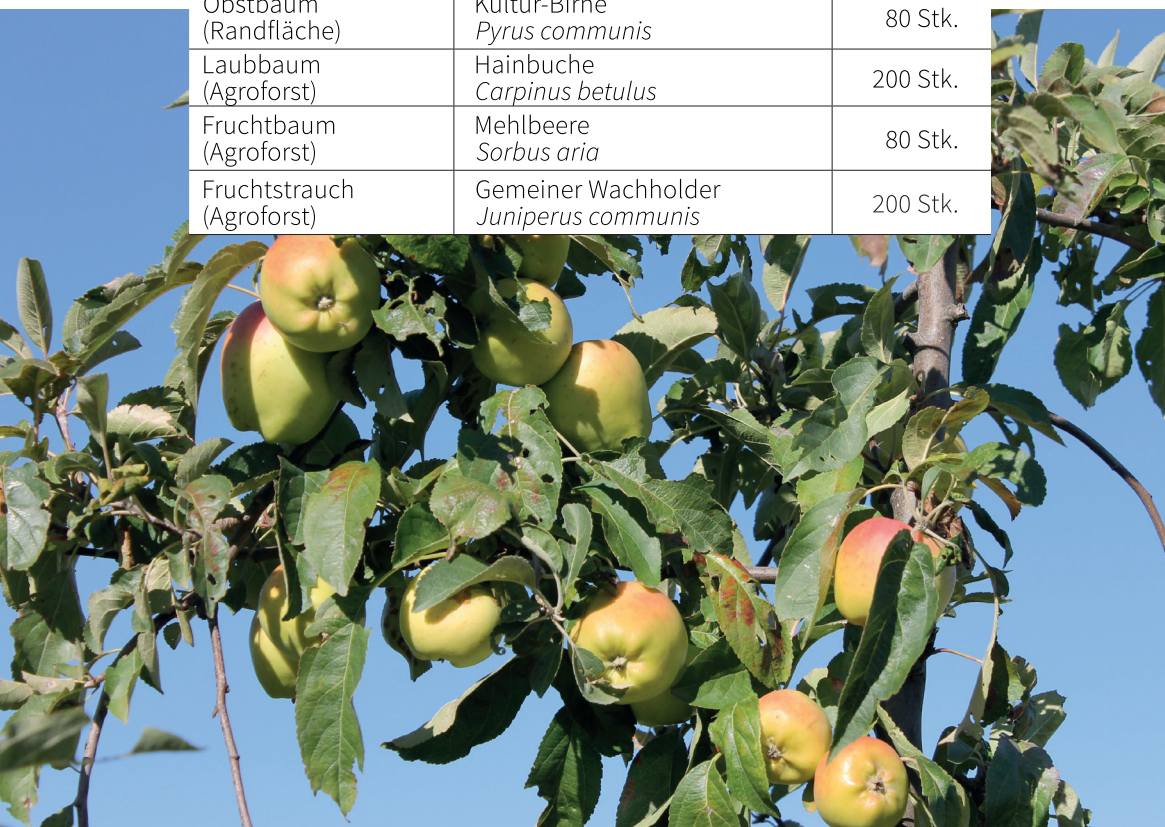
Für die Neuanlage von Agroforstsystemen sind die Voraussetzungen und die Höhe der Zuwendungen im Bereich der Fördermaßnahme L „Investitionsförderung zur Einrichtung von Agroforstsystemen“ im Rahmen des Förderbereiches 4 der Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ für den Zeitraum 2023 bis 2026 einzusehen.



Modellhafte Darstellung

Wie gezeigt, bieten sich unterschiedliche Maßnahmen zur CO₂-Bindung im Weinberg und seinen Randstrukturen an. Das Modell (siehe Seite 6) umfasst verschiedene Elemente wie beispielsweise Blühflächen, Baum- und Heckenpflanzungen und auch Begrünungen in den Anlagen. Bei der Auswahl und Menge der Pflanzenarten wurden in Bezug auf den Agroforst die Anforderungen für eine Förderung zugrunde gelegt.

Fläche gesamt		10.000 m ²
Fläche Agroforst		3.500 m²
Begrünte Zeilen	Reb- und Obstzeilenmischung (20 % Blumen, 80 % Gräser)	3.000 m ²
Blühfläche	Blumenwiese (50 % Blumen, 50 % Gräser)	1.600 m ²
Hecke (Randfläche)	Acker-Rose <i>Rosa agrestis</i>	200 Stk.
Obstbaum (Randfläche)	Kultur-Birne <i>Pyrus communis</i>	80 Stk.
Laubbaum (Agroforst)	Hainbuche <i>Carpinus betulus</i>	200 Stk.
Fruchtbaum (Agroforst)	Mehlbeere <i>Sorbus aria</i>	80 Stk.
Fruchtstrauch (Agroforst)	Gemeiner Wachholder <i>Juniperus communis</i>	200 Stk.



Klimawirksame Bodenpflege- und Fördermaßnahmen im Weinbau – praktische Erfahrungen

Die Weinbergsböden sind das größte Kapital des Weinbaus. Auf und in ihnen wachsen die Reben, die den Winzern die Trauben schenken, welche sie verarbeiten und zu Wein veredeln können. So erwirtschaften sie das Kapital, mit dem sie arbeiten und von dem sie leben müssen. Um sowohl quantitativ als auch qualitativ gute Erträge erzielen zu können, müssen die Weinbergsböden über eine ausreichende Fruchtbarkeit verfügen. In den vergangenen Jahrzehnten wurde diese Fruchtbarkeit vor allem durch die Verwendung von organischen und synthetischen Düngern sichergestellt. Dass zur Bodenfruchtbarkeit und -gesundheit noch mehr gehört als ein ausreichender Nährstoffgehalt, wurde mit den zunehmenden „Errungenschaften“ der modernen, konventionellen Landwirtschaft, nicht nur im Weinbau, immer mehr ignoriert. Das Ergebnis sind global degradierte, humusarme und wenig vitale Böden, die mit immer größerem auch finanziellem Aufwand bearbeitet werden müssen, um die gewünschte Fruchtbarkeit zumindest kurzfristig wieder herzustellen (Glaser et al. 2010).

Der Humus nimmt innerhalb des Gesamtsystems Boden eine entscheidende Position ein und spielt nicht nur eine maßgebliche Rolle bei seiner Fruchtbarkeit und Lebendigkeit, sondern auch in Bezug auf seine bedeutende Fähigkeit, Schadstoffe wie das stark klimawirksame Gas Kohlendioxid zu binden und umzuwandeln (Bücheler 2020). Allerdings ergab die letzte bundesweite Bodenuntersuchung aus dem Jahre 2008, „dass 34% der Böden nur 1 – 2% Humus enthielten und 47% zwischen 2 – 4% Humus. Die aktuellen Ergebnisse einer bundesweiten Bodenzustandserhebung ergaben insgesamt „abfallende“ Humuswerte“ (Bücheler 2020). Diese Entwicklungen geben zwingenden Anlass dazu, unsere gegenwärtige landwirtschaftliche Vorgehensweise grundlegend zu hinterfragen und zugunsten einer regenerativen Landwirtschaft mit einer angemessenen Humusproduktion umzusteuern (Bücheler 2020; Näser 2021). Auch die Weingüter Heitlinger und Burg Ravensburg, die seit ihrer Neugründung und Zusammenführung im Jahre 2008 biologisch bewirtschaftet werden, haben diese Notwendigkeit erkannt. Bereits seit mehr als zehn Jahren bemühen sich beide Betriebe durch schonende Bodenbewirtschaftung

und Begrünungsmaßnahmen darum, ihre zuvor konventionell bewirtschafteten Weinbergsböden zu regenerieren. Dabei war von Beginn an das Ziel, das Bodenleben zu schützen und zu fördern und mit seiner Unterstützung den Humusanteil der Weinbergsböden stetig zu erhöhen. Im Rahmen dieses Kapitels soll gezeigt werden, welche gegenwärtigen Maßnahmen die Weingüter Heitlinger und Burg Ravensburg in ihrer außenbetrieblichen Praxis umsetzen, um dieses Ziel zu erreichen.

Boden – das, was man daraus macht

Der Boden im Weinberg ist neben den geeigneten klimatischen Bedingungen die zentrale Ressource des Weinbaus und wirkt sich „in sehr vielfältiger und komplexer Weise auf das Rebwachstum aus“ (Hoppmann et al. 2017). Idealerweise liefert er der Rebe sämtliche Nährstoffe, die sie für eine optimale Entwicklung benötigt und fungiert als „universeller Reaktor, der alle erforderlichen Lebens Elemente für die Rebe in einer verfügbaren Form bereitstellt“ (Hoppmann et al. 2017). Um diese kontinuierliche Versorgungsfunktion sicherzustellen, muss der Boden als dynamisches Ökosystem allerdings funktionieren. Denn nur ein lebendiger Boden ist die Voraussetzung für nachhaltige Landwirtschaft und erfüllt darüber hinaus seine bedeutende Rolle als CO₂-Speicher für das Klima (Müller 2019). Aus diesem Grund ist es von hoher Bedeutung, die systemischen Eigenschaften und Entstehungsprozesse des Bodens zu verstehen und zu erfassen – und insbesondere, welche Faktoren ihn stören bzw. ihm schaden können. Solche Störungen und resultierende Bodenentwicklungen entstammen zumeist anthropogenen Einflüssen und geschehen gerade auf landwirtschaftlich genutzten Flächen permanent. Die Böden sind also nur noch selten eine unberührte und ungestört entwickelte Biosphäre, sondern in erster Linie das, was der Mensch daraus macht bzw. gemacht hat.

Bodenstörungen und Bodenschädigungen

„Störungen im Bodensystem, wie etwa eine Reduzierung der Bodengare, verstärkter Abbau von Humus, Erosion, Verlust oder Überangebot von Nährstoffen, Bodenverdichtung, Schädigung des Bodenlebens sowie beeinträchtigter Wasser- und Gasaustausch, haben erhebliche und langanhaltende Auswirkungen auf das Wachstum der Weinreben“ (Bauer 2004). Die auffälligsten Indikatoren dafür sind oft „Chlorosen, Stiel-lähme sowie erhöhte Anfälligkeit für Krankheiten und Frostschäden“ (Bauer 2004).

Die Böden in Weinbergen sind in der Regel von langjähriger menschlicher Bearbeitung geprägt. Merkmale dieser intensiven Nutzung zeigen sich unter anderem in Pflughorizonten (A_p), unter denen oft eine Pflugsohle (eine stark verdichtete, flächige Schicht im Unterboden) entstanden ist. Diese Pflugsohle wirkt wie eine Barriere im Boden, da die verdichteten Poren weder Luft noch Wasser durchlassen. Dies führt häufig zu Staunässe, anaeroben Prozessen und dem Absterben des Bodenlebens (Glaser et al. 2010). Auch an der Bodenoberfläche und direkt darunter können Schäden auftreten, insbesondere durch Verdichtungen, Versiegelung oder die Anwendung von giftigen Substanzen (Ladach 2021). Verdichtungen beeinträchtigen die Durchwurzelbarkeit des Bodens stark, da die Poren zusammengedrückt werden und der Boden Niederschläge viel schlechter aufnehmen kann. Besonders in Hanglagen führen solche Verdichtungen bei starkem Regen zwangsläufig zu Erosion, der oberflächlichen Abtragung des Oberbodens durch abfließendes Wasser (Glaser et al. 2010; Bauer 2004; Gemmrich 2017).

Den genannten Störungen und Schädigungen der Weinbergböden kann durch diverse präventive und kurative Fördermaßnahmen begegnet werden, von denen am außenbetrieblichen Praxisbeispiel der Weingüter Heitlinger und Burg Ravensburg im Folgenden einige vorgestellt werden sollen.

Förderung der Weinbergböden in den Weingütern Heitlinger und Burg Ravensburg

Zu den ersten Maßnahmen auf dem Weg zu einer ökologisch nachhaltigen Bewirtschaftung gehörte nach dem Zusammenschluss der Weingüter Heitlinger und Burg Ravensburg im Jahr 2008 die Etablierung einer artenreichen Begrünung im Weinberg sowie ein revitalisierendes Bodenbearbeitungskonzept. Das Ziel ist dabei sowohl die bestmögliche Versorgung der Rebflächen als auch die Erhaltung und Schaffung maximaler Biodiversität in den Ertragsanlagen. Dazu setzen die Weingüter Heitlinger und Burg Ravensburg vor allem auf wechselnde, standortangepasste Begrünungseinsaaten und auf eine möglichst bodenschonende Bewirtschaftungsweise. Der Humusgehalt konnte in ca. zehn Jahren bereits um 1 bis 1,5 % gesteigert werden und liegt im Flächenschnitt mittlerweile bei ca. 3 %. Die wichtigsten Maßnahmen, die zu diesen bereits erzielten Erfolgen beigetragen haben, sollen im Folgenden dargestellt werden.

Verzicht auf Pestizide

Die Weingüter Heitlinger und Burg Ravensburg verzichten bereits seit dem Zeitpunkt ihres Zusammenschlusses im Jahr 2009 auf jeglichen Herbizid- und Insektizid-Einsatz. Lediglich die dem Bioweinbau zugestandenene Fungizide Schwefel und Kupfer gegen Oidium um Peronospora finden bis jetzt Anwendung. Durch den insektizid- und herbizidfreien Weinbau kann das gesamte Ökosystem Weinberg kontinuierlich profitieren, da durch den Verzicht die Biodiversität gefördert wird und sich so ein natürliches Gleichgewicht aus Schädlingen und Nützlingen etablieren kann. Auch das Bodenleben, das ebenfalls durch das Eindringen von Pestiziden beeinträchtigt wird, kann sich besser entwickeln und seiner wichtigen Funktion als Motor der Humus- und Bodenbildung nachkommen.

Artenreiche Begrünung

Auch die Etablierung einer standortangepassten artenreichen Begrünung gehörte zu den ersten Maßnahmen, die die Weingüter seit ihrer Umstellung auf biologischen Anbau getroffen haben. Dabei muss stets entschieden werden, welche Eigenschaften die Begrünungspflanzen im vitalen Zustand (Blüte/Samenbildung/Stickstoffbindung/etc.), aber auch als Mulch- und Fräsbelaag (Biomassenmenge/Eiweiß-/Kohlenstoffgehalt/etc.) aufweisen sollten. Ebenfalls maßgeblich für eine erfolgreiche Etablierung der Begrünung ist der Zeitpunkt der Einsaat. Die Weingüter Heitlinger und Burg Ravensburg säen mittlerweile im Spätsommer bzw. Frühherbst ihre Begrünungen für das Folgejahr ein, da das Anwachsen durch die noch warmen Temperaturen und verlässliche Niederschläge begünstigt wird. Die grundsätzlichen Ziele, die mit der Begrünung verfolgt werden, sind die Bodenstabilisierung, die Bodenbeschattung, die Bodenernährung und den Bodenaufbau. Die Bodenstabilisierung ist besonders für die Befahrbarkeit und den Schutz des Bodens vor mechanisch bedingten Schäden sowie erosiven Kräften eine wichtige Funktion der Weinbergbegrünung. Die Weingüter Heitlinger und Burg Ravensburg nutzen mittlerweile auf den meisten ihrer Flächen eine Begrünungsmischung aus winterhartem Roggen, Wicken und Futtererbsen bei einer Einsaatmenge von 60 – 80 kg/ha. Der Roggen wächst zumeist hoch auf, stabilisiert die Böden durch eine kräftige Durchwurzelung und dient im gewalzten Zustand als beschattende organische Abdeckung. Die Wicken fungieren als Lock- und Nahrungsquellen für Fluginsekten und durchwachsen die Roggenauflage verlässlich. Die Futtererbsen sind als

Leguminosen potente Stickstoffsammler und sind besonders wichtig für die Bodenernährung. Je nachdem welches C/N-Verhältnis für den jeweiligen Boden angestrebt ist, wird die Begrünung in unterschiedlichen Stadien (frisch/welk/strohig) flach in den Boden eingearbeitet und trägt so entweder als Eiweiß- oder Kohlenstoffquelle zur Bodenernährung bzw. zum Boden- und Humusaufbau bei. So ernährt sie nicht nur das Bodenleben und die Reben, sondern trägt auch aktiv und in hohem Maße zur CO₂-Fixierung in den Weinbergböden bei.

Flache und schonende Bodenbearbeitung

Bei der Bodenbearbeitung beachten die Weingüter Heitlinger und Burg Ravensburg die Grundsätze der regenerativen Landwirtschaft nach Wenz und Näser (Näser 2021), bei der die Erhaltung der bestehenden Bodenstruktur durch eine sehr flache und schonende Bearbeitung angestrebt wird. Zu tiefe Bearbeitungen würden die durch das Bodenleben entwickelte Bodenstruktur stören und das Bodenleben massiv beeinträchtigen. Auch die aus der Begrünung erzeugte Biomasse wird nur oberflächlich eingearbeitet, um das Bodenleben und so den Umsatz organischer Substanz möglichst oberflächennah zu konzentrieren. Das vorherige Applizieren effektiver Mikroorganismen unterstützt den Fortschritt der Flächenrotte und die Abläufe der Mineralisierung und Humifizierung durch die im Boden lebenden Organismen.

Rein organische Düngung

Um diese Bodenorganismen nicht durch eine Überdüngung und eine daraus resultierende Versalzung der Böden zu schädigen, düngen die Weingüter Heitlinger und Burg Ravensburg entsprechend der Vorgaben für biologischen und biodynamischen Weinbau nur sehr moderat und rein organisch. Als organische Substanz werden lediglich gehäckselter Rebschnitt, selbst präparierter Kompost, Hornspäne, Brennesseljauche und -Tees sowie die im Weinberg aufgewachsene Begrünung in die Böden eingebracht. Die Bodenproben der letzten Jahre haben keine zusätzlichen Düngeempfehlungen ergeben.

Bodenverdichtungen vermeiden

Als zentrale Herausforderung für die Bodenschonung in ihrer außenbetrieblichen Praxis haben die Weingüter Heitlinger und Burg Ravensburg die Verringerung bzw. Vermeidung von Bodenverdichtungen identifiziert. Die effektivsten Maßnahmen hierfür sind möglichst wenige Überfahrten bei möglichst stabilen, also trockenen Bodenverhältnissen. Da Pflanzenschutzmaßnahmen, insbesondere im Bioweinbau, allerdings gerade in feuchten Jahren mit meist instabilen Bodenverhältnissen besonders häufig erfolgen müssen, setzten die Weingüter mittlerweile wann immer möglich auf leichte Pflanzenschutztechnik. Dazu testen die Betriebe bereits seit zwei Jahren Pflanzenschutzroboter, deren Bruttogewicht unter 300 kg liegt und die die Weinbergsböden selbst bei feuchter Witterung weit weniger schädigen als die über vier Tonnen schweren Weinbergstraktoren. Des Weiteren applizieren in den Steillagen zwei Drohnen die Pflanzenschutzmittel, sodass die wesentlich schwereren Weinbergtrauben nur noch selten zum Einsatz kommen müssen.

Fazit

Die Weingüter Heitlinger und Burg Ravensburg haben in den über zehn Jahren der biologischen bzw. biodynamischen Bewirtschaftung bereits zahlreiche Maßnahmen ergriffen, um ihre Weinbergsböden zum einen zu schonen, zum anderen aber auch aktiv zu rekultivieren. Die wichtigsten Maßnahmen sind dabei, abgesehen vom Verzicht auf jegliche Herbizide, ein standortangepasstes Begrünungsmanagement, die moderate Nutzung von rein organischen Düngern sowie eine extensive Bodenbearbeitung. Die größte Gefährdung für die Erhaltung und Entwicklung ihrer Weinbergsböden sehen die Weingüter in dem derzeit noch zwangsläufig intensiven Einsatz schwerer Zuggeräte, vor allem im Rahmen des Pflanzenschutzes. Da im Bioweinbau keine systemischen und kurativen Mittel zugelassen sind, müssen für einen effektiven Rebschutz mit Kontaktmitteln deutlich häufigere Pflanzenschutzanwendungen erfolgen.

Weil diese besonders nach Niederschlagsereignissen notwendig sind, in deren Folge sich die Böden in einem fragilen Zustand befinden, ist den Weingütern zum einen daran gelegen, geeignete Bodenverhältnisse für ein Wiederbefahren abzuwarten. Zum anderen wird, sollte dieses Abwarten nicht möglich sein, zunehmend auf leichtere Pflanzenschutztechnik oder auf die Verwendung von Pflanzenschutzdrohnen gesetzt. Vor allem der technische Fortschritt im Weinbau könnte also binnen kurzer Zeit dazu beitragen, dass das Problem der Bodenverdichtungen durch mechanische Belastung an Bedeutung verliert. Allerdings werden die Weingüter Heitlinger und Burg Ravensburg nicht allein auf den technischen Fortschritt vertrauen, sondern sich auch mit alternativen Lösungsansätzen beschäftigen. Einer dieser Ansätze sieht unter anderem die Integration von Schafen in die außenbetriebliche Praxis vor. Nahezu ohne Bodenbelastung können die Tiere wichtige Helfer bei der Unterstockbearbeitung und im Begrünungsmanagement sein. Auch der verstärkte Anbau von pilzwiderstandsfähigen Rebsorten (PiWiS) zur Reduzierung der Anzahl von Überfahrten hat das Potenzial, Bodenverdichtungen deutlich zu reduzieren.



Weingut Forster, Rümmelsheim, Georg Forster

CO₂-Bindung durch Humusaufbau

Seit 1994 setzt das Weingut Forster auf den ökologischen Weinbau. Dabei spielt der Boden eine besondere Rolle. Ein gezielter Humusaufbau in den Weinbergen verbessert nicht nur die Vitalität der Böden, sondern hat auch einen positiven Einfluss auf die Klimakrise. Ein höherer Humusgehalt erhöht u. a. die Wasserspeicherkapazität des Bodens und speichert klimaschädliches CO₂.

Um gezielter voranzukommen, produzieren wir unseren eigenen Kompost. Hierzu verwenden wir organische Materialien wie Pferdestrohmist, frischen Grünschnitt von Kräuterwiesen, die brach liegen, einen kleinen Anteil an Holz Schredder und etwa 10% Tonlehmde. Der Erdanteil ist wichtig, um die vorhandenen Nährstoffe in einen Ton-Humus-Komplex einzubinden. Damit werden die Nährstoffe für die Pflanzen und Reben verfügbar gemacht und nicht so schnell ausgewaschen. Das Materialgemisch wird auf eine Miete aufgesetzt und dann mit einem Kompostwender zügig erdfeucht gemacht und gewendet. So entsteht in dem feuchten Material Hitze, die es sauber kompostieren lässt. Während des gesamten Prozesses riecht das Material nach Walderde. Der fertige Kompost sieht aus wie feine, dunkle Erde.

Beim Kompost geht es aber nicht allein um den Humusaufbau. Die positive Veränderung des Bodenmilieus mit mehr Pilzaktivität fördert die Bildung von Mykorrhizen. Diese bewirken eine bessere Vernetzung der vielfältigen Pflanzen im Weinberg und somit die bessere Verfügbarkeit von allerlei Nährstoffen.



Durch die vielfältigen Begrünungspflanzen siedeln sich bei uns sehr gerne zahlreiche Insekten, Käfer und andere Nützlinge an. Sie helfen uns, unsere Reben gesünder zu halten. Durch die Aufnahme von Huminstoffen bekommen die Trauben, und später der Wein, mehr positive Inhaltsstoffe, die nicht im Einzelnen schmeckbar sind, aber im Gesamtkomplex den Weingenuss steigern. Für die Ausbringung des Kompostes wurde unser Kompost-Streuer umgebaut, damit der Kompost direkt unter die Rebstöcke gelangt. So ist auch im Tag- und Tauwurzelbereich entsprechend Humusaufbau möglich. Ein wichtiger Aspekt ist, dass die Reben in der Trockenperiode in der Nacht aus der Tiefe von acht bis zehn Metern das Wasser hochholen und in den ersten 20 Zentimetern des Bodens zwischengelagern, um davon tagsüber zehren zu können. In die Weinberge wird der Kompost im späten Frühjahr im Turnus von ca. drei Jahren ausgebracht.



Die Förderung der Mikroorganismen trägt neben dem Humusaufbau dazu bei, die Biodiversität im Weinberg zu erhöhen. Neben zahlreichen Insekten und Nützlingen siedeln sich eine Vielzahl an standorttypischen Pflanzenarten an, die eine natürliche Symbiose mit den Weinreben ausbilden können. Durch die Ausbringung von Blümmischungen in den Rebzeilen wurde die Pflanzenvielfalt zusätzlich gesteigert. Im Rahmen einer floristischen Kartierung der TH Bingen auf einem Weinberg wurden über 60 verschiedene Pflanzenarten erfasst. Neben den typischen Weinbergarten wie dem Weinberg-Lauch (*Allium vineale*) wurden auch Arten des Ackerlandes wie die Acker-Winde (*Convolvulus arvensis*) und krautige Pflanzen gefunden.

Weiterführende Informationen unter

<https://www.weingutforster.de/blog/der-boden-spielt-eine-wichtige-rolle>

Weingut Wohlgemuth-Schnürr, Gundersheim, Kristine Bäder

CO₂-Einsparung durch PiWis – Fallbeispiel Jahrgang 2021

Das Weingut Wohlgemuth-Schnürr ist ein Familienbetrieb mit rund 18 Hektar Rebfläche. Insgesamt werden zehn verschiedene PiWi-Sorten angebaut: die Weißweinsorten Muscaris, Sauvignac, Cabernet Blanc, Johanniter, Sauvignier gris und Calardis Blanc und die Roten Cabernet Cantor, Prior, Cabertin und Pinotin. Damit bildet das Weingut in seinem Sortiment die gesamte Palette möglicher Ausbauarten vom Sekt aus traditioneller Flaschengärung über trockene Stillweine bis hin zu Blanc de noirs und edelsüßen Weißweinen ab.

Seit 2018 ist das Weingut mit dem FairChoice-Siegel des Deutschen Instituts für nachhaltige Entwicklung (DINE) ausgezeichnet. Das Siegel wurde speziell für Weingüter entwickelt und umfasst neben ökologischen auch ökonomische und soziale Aspekte des nachhaltigen Weinbaus. Für den Pflanzenschutz stellt FairChoice eine toxikologisch bewertete Mittelliste für einen verantwortungsvollen Pflanzenschutz bereit, der auch in klimatisch schwierigen Jahren Ertragssicherheit und gesundes Lesegut ermöglicht. Der Fokus auf PiWis reduziert den Pflanzenschutz dabei auf ein absolutes Minimum.

Im Rahmen des Projektes Vitifit und mit Hilfe der Schlagkartei Vinum-Cloud wurden in dem klimatisch turbulenten Jahr 2021 Daten zum Pflanzenschutz im Weingut Wohlgemuth-Schnürr erhoben. Der Pflanzenschutz wird mit einer Vicar Compact 1000 durchgeführt, die mit einer Inovel-Steuerungstechnik ausgestattet ist. Im Jahr 2021 war der Krankheitsdruck in Bezug auf Peronospora aufgrund der Witterung sehr hoch.

Die PiWis wurden in der Regel dreimal behandelt, zweimal in der Vorblüte, einmal in der Nachblüte. Die empfindlicheren Sorten wurden ein viertes Mal behandelt. Generell wurde in den PiWis nur jede zweite Gasse befahren. Demgegenüber standen mindestens elf Behandlungen bei den klassischen Sorten. Zum späteren Zeitpunkt musste dort jede Gasse befahren werden, um einen ausreichenden Pflanzenschutz zu gewährleisten.

Übersicht PiWis / klassische Rebsorten – Jahrgang 2021

	PiWi 1 Neue Sorten mit höherer Resistenz	PiWi 2 Alte Generation PiWis	klassische Sorten
PSM-Maßnahmen	3	4	11
Schlepperstunden (inkl. anteilige Anfahrtswege) pro Hektar	3	4	11
Menge Basisaufwand absolut (Kilo bzw. Liter)	6	10	32
Kosten PSM (EUR)	185	360	900
Einsparung Schlepperstd. (ggüber klassische Sorten)	75 %	65 %	
Einsparung PSM Basisaufwandmenge (ggüber klassische Sorten)	82 %	70 %	

Fazit

In 2021 zeigten sich die Vorteile der PiWis gegenüber den klassischen Rebsorten sehr deutlich. Zwischen sechs und sieben Anwendungen weniger im Vergleich zu den klassischen Rebsorten bedeutet einen erheblich geringeren Arbeitszeitbedarf, deutlich weniger Schlepperstunden und einen deutlich geringeren CO₂-Ausstoß. Durch das Befahren jeder Gasse in den klassischen Rebsorten zu einem späteren Zeitpunkt (in der Tabelle nicht berücksichtigt) ist die Relation de facto noch größer.

Darüber hinaus sind die Einsparungen von Pflanzenschutzmitteln (Bezugsgröße ist der Basisaufwand) erheblich, da die Anwendungen in den PiWi-Weinbergen zu einem frühen Zeitpunkt stattfinden, wenn der Bedarf an Pflanzenschutzmitteln noch gering ist. Zudem ermöglicht die Kombination aus PiWi-Sorten und nachhaltiger Wirtschaftsweise eine flexiblere Terminierung des Pflanzenschutzes und damit auch eine „doppelte“ Bodenschonung durch weniger Überfahrten und den gefahrlosen möglichen Verzicht auf Fahrten nach Starkregen etc.

Die Ergebnisse bestätigen die Sinnhaftigkeit von PiWis für den nachhaltigen Weinbau: Auch in Jahren wie 2021 mit Extremwetterbedingungen ist es möglich, mit maximal drei bis vier Anwendungen in den PiWi-Weinbergen gesunde, reife Trauben zu ernten.

04 Bewässerung in Weinberganlagen

Aufgrund klimabedingt längerer Hitzeperioden in Verbindung mit fehlenden Niederschlägen sollten auch Weinbaubetriebe in Zukunft sich darauf einstellen, die Möglichkeiten zur Steigerung des Wasserspeichervermögens der Böden und des Nährstoffangebotes für die Rebe zu verbessern.

Maßnahmen zur Steigerung der Wasserverfügbarkeit

Das Wasserspeichervermögen ist von der jeweiligen Bodenart abhängig. Generell sind lehmige Böden eher dazu in der Lage, mehr Wasser an die Pflanze abzugeben als tonige Böden und mehr Wasser zu speichern als sandige Böden. Eine tiefe Bodenbearbeitung ermöglicht wiederum ein besseres Wasseraufnahmevermögen und den besseren Transport von Wasser und Nährstoffen. Durch die Einsaat von Tiefwurzlern in Verbindung mit Leguminosen und Gräsern können die Bodenschichten aufgelockert, Bodenverdichtungen reduziert, sowie das Wurzelwachstum stabilisiert werden. Durch die damit verbundene verbesserte Bodenstruktur können Wassermengen auch bei Starkniederschlägen besser aufgenommen und gespeichert werden (Hofmann 2014).

Schon bei der Wahl der Rebsorte und Unterlage kann darauf geachtet werden, in Zukunft mehr Wasser einzusparen, indem Rebsorten und Unterlagen gewählt werden, die hitze- und trockenstress toleranter sind. Vor allem internationale rote Rebsorten wie Tempranillo, Syrah oder Nebbiolo weisen eine höhere Robustheit gegen Trockenstress auf. Durch trockenstresstolerantere Rebunterlagen kann ebenfalls ein erheblicher Teil des benötigten Wassers, um die Rebe vital und überlebensfähig zu machen, eingespart werden. Darüber hinaus hat die Höhe und Gestaltung der Laubwand Auswirkungen auf das Blatt-Frucht-Verhältnis. Je weniger hoch die Laubwand ist, desto weniger Blätter hängen am Rebstock und desto geringer ist der Wasserbedarf der Rebe. Es besteht eine geringere Verdunstungsfläche, weniger Assimilation und die Wassernutzungseffizienz wird erhöht. Bei einer Laubwandhöhe von 80 cm wurde ein optimaler Traubenertrag und eine Wassereinsparung von 10 % erreicht (Heßdörfer 2014).

Fahrgassenbegrünungen bilden einen vollständigen Erosionsschutz und machen es möglich mehr Wasser zu speichern. Durch Begrünungen wird die Rebenvitalität gestärkt, die Biodiversität wird erhöht und es kann Dünger eingespart werden. Außerdem kann die Nitratauswaschung reduziert werden und der Humusgehalt gestärkt werden (Heßdörfer 2014). Bodenbearbeitung wie Mulchen oder Begrünungsmanagement führt zu einer Stabilisierung der Bodenoberfläche, verstärkter Humusbildung, Nährstoffzurückhaltung, Aktivierung des Wurzelwachstums sowie vermindertem Erosionsrisiko. Durch Winterbegrünungen kann der Bodenwasserspeicher verbessert werden und eine Wasserzugabe für die Pflanzenversorgung im Sommer eingespart werden (Stoll et al. 2020).

Bodenabdeckung fördert vor allem die Wasserverfügbarkeit, da die Infiltration gefördert und die Evaporation geringer ist. Sie ist hauptsächlich in trockengestressten Steillagen von Nutzen.

Eine Begrünung steigert ebenfalls die Infiltration, sorgt jedoch für einen höheren Wasserverbrauch der Anlage. Sie kann viel Wasser in Feuchteperioden aufnehmen ist allerdings ein zusätzlicher Wasserverbraucher in Trockenperioden. Dieser Effekt kann durch die Bearbeitung der Begrünung minimiert werden (Prior 2014).

Stroh hält die Bodenwassergehalte im Durchschnitt höher als Dauerbegrünungssysteme und hat eine wasserkonservierende Wirkung. Dies ist insbesondere in der kritischen Phase zwischen der Blüte und des Reifebeginns von Vorteil. Diese Wirkung war noch drei Jahre nach dem Einsatz der Strohabdeckung zu erkennen. Die gemulchte Dauerbegrünung dagegen hat einen schlechteren Bodenwasserhaushalt als die anderen Versuchsreihen, was auf die Bodensaugspannungswerte und den Bodenwassergehalt zurückzuführen ist. In der Variante des flachgründigen Bodens kam es zu eindeutigen Austrocknungserscheinungen. Die Dauerbegrünung unter Flügelscharrgrubbereinsatz zeigte einen positiven Effekt auf den Bodenwasserhaushalt. Es kam bei flachgründigem Boden jedoch noch immer zu eingeschränkter Wasserverfügbarkeit (Schorr 2003).

Im Weinbau wird häufig mit der Defizitbewässerungsstrategie gearbeitet. Hier wird weniger bewässert, als laut Wasserbilanz benötigt wird und somit Wasserstress in der Rebe ausgelöst (Keller 2020).

Man unterscheidet drei Defizitbewässerungsstrategien.

Die kontinuierliche Defizitbewässerung und regulierte Defizitbewässerung sowie das partielle Trocknen der Wurzeln (Gruber 2013). Bei der kontinuierlichen Defizitbewässerung wird über die gesamte Vegetationsperiode ein gewisser Prozentsatz unter der benötigten Wassermenge bewässert. Dadurch steigt der Stress der Rebe kontinuierlich und die Rebe kann sich langsam an den Stress anpassen (Ferreles & Soriano 2007).

Die regulierte Defizitbewässerung bezeichnet den Vorgang, bei welchem strategisch ein Wasserdefizit in speziellen Phasen der Rebenentwicklung hervorgerufen wird. Dies ist die meistgenutzte Strategie der Defizitbewässerung (Chalmers et al. 1981).

Die dritte Variante der Defizitbewässerung ist das partielle Trocknen der Wurzeln. Hierbei wird die Hälfte der Wurzeln bewässert und die andere Hälfte nicht. Die Bereiche werden alle 10 bis 14 Tage gewechselt. Mit dieser Strategie sollen die Vorteile der trockenen und der bewässerten Wurzeln vereint werden. Durch das Austrocknen der einen Hälfte wird die Abscisinsäure-Produktion in den Wurzeln angekurbelt und dadurch teilweise die Stomata geschlossen und das Triebwachstum reduziert. Die bewässerten Wurzeln versorgen die Rebe nach wie vor mit einer ausreichenden Menge Wasser und sorgen für den gewünschten Wasserstatus der Pflanze (Stoll et al. 2000). Durch die bewässerten Wurzeln wird zudem die Beerengröße und Erntemenge beibehalten und nicht reduziert. Zudem kommt es durch die lockerere Laubwand zu einer verbesserten Beerenzusammensetzung. Ein geeigneter Zeitpunkt für eine Defizitbewässerung ist zwischen dem Ende der Blüte und der Veraison. Wenn der Rebe zu diesem Zeitpunkt wenig Wasser zur Verfügung steht, wird das Triebwachstum und die Entwicklung der Beeren beeinflusst. Dies kann durch die regulierte Defizitbewässerung erreicht werden (Keller 2020).

Die digitale Trockenstressbestimmung macht es durch Sensoren im Boden, in der Luft und an der Rebe möglich, automatisiert den Trockenstress zu bestimmen. Ein praktikables Messsystem muss den Anforderungen an eine hohe Messgenauigkeit, Zuverlässigkeit, einfache Dateninterpretation, geringen Wartungsaufwand, gute Integrierbarkeit im Betrieb und niedrige Kosten entsprechen. Die Auswahl des optimalen Messgerätes ist jedoch von den individuellen Bedingungen und Ansprüchen des Betriebs abhängig.

Digitale Trockenstressbestimmung

Messgerät	Genauigkeit	Handhabung	Preis*
Scholander-Bombe	● ● ●	●	ca. 5.000 €
Tensiometer	● ● ●	● ●	ca. 60 €
Watermark	● ●	● ● ●	ca. 230 €
FDR-Technologie	● ● ●	● ●	ca. 400 – 1.000 €
TDR-Technologie	● ● ●	● ●	ca. 1.000 – 1.500 €

● ● ● gut ● ● mittel ● schlecht

Eigene Darstellung nach Geyrhofer 2012 und Rupp 2003

* Der Preis bezieht sich lediglich auf die Sensoren zur Messung. Zusätzliche Kosten können für benötigte Auslesegeräte anfallen. Hersteller: Pronova Analysentechnik GmbH & Co. KG, STEP Systems GmbH, Umwelt-Geräte-Technik GmbH.

Weingut Grünewald & Schnell, Worms, Richard Grünewald

Digitale Wetterstationen

„Was hätten wir Spritzungen sparen können, wenn wir gewusst hätten, wie das Wetter wird.“ Mehr noch als eine einfache Wettervorhersage helfen heute Prognosemodelle wie VitiMeteo, welche das Risiko für Pilz-erkrankungen modellieren können. Problem: Sie basieren auf den Messdaten von Wetterstationen, die oft zu weit weg vom eigenen Weinberg stehen. Schon ein lokal begrenztes Gewitter kann großen Einfluss auf eine Pilzinfektion haben.

Gelänge es, ein dichteres Netz von Wetterstationen zu installieren, deren Daten ins Prognosemodell fließen, so würden die Prognosen lokal deutlich zuverlässiger. Für einen Einzelbetrieb mit verstreuten Weinbergslagen sprengen die notwendigen Investitionen jedoch schnell den wirtschaftlichen Rahmen.

Daher haben sich 2022 im Süden von Worms drei Ortschaften zusammengeschlossen und unter dem Dach des lokalen Bauernverbandes sieben Wetterstationen eines bekannten Pfahllieferanten installiert, die 100 – 200 Hektar Weinberge abdecken können. Neben Temperatur, Niederschlag und Luftfeuchte erfasst ein spezieller Sensor auch die Blattfeuchte und Dauer.

Die Kosten beliefen sich pro Station auf gut 2.000 €, in Summe ca. 15.000 €. 50% haben wir durch unseren Verband bezuschusst. Da sich alle Betriebe beteiligten, lagen die Kosten / Betrieb einmalig unter 1.000 €, zzgl. ca. 100 € Jahresgebühr / Betrieb. Dafür können alle Betriebe alle Daten aller Stationen nutzen.

Den größten Nutzen bieten jedoch die Prognosen, die für jede einzelne Station kontinuierlich erstellt werden. VitiMeteo zeigt dabei das Infektionsgeschehen der Vergangenheit und das Risiko für die nächsten Tage für Oidium, Botrytis und weitere Pilze sowie das Blattflächenwachstum an. Besonders hilfreich ist die Anzeige der Wirkungsdauer der letzten Spritzung aufgrund der aktuellen Witterung. So lassen sich Spritzabstände datenbasiert optimieren, Ernten besser schützen und Behandlungen einsparen.





Michael Lipps – Dienststellenleiter, Dienstleistungszentrum
Ländlicher Raum (DLR) Rheinhessen-Nahe-Hunsrück

Klimaschutz im Weinbaubetrieb als Baustein nachhaltigen Wirtschaftens

Der Klimawandel ist in seinen Auswirkungen immer deutlicher spürbar. Gerade weinbauliche Betriebe, die in und mit der Natur arbeiten, deren Betriebsergebnis von Qualität und Menge ihrer Trauben abhängt, haben daher ein besonderes Interesse, dem Klimawandel entgegenzutreten. Dies geschieht bereits durch vielfältige Anpassungsstrategien: mit entsprechender Sorten- und Unterlagswahl sowie angemessener Standortwahl werden den Ansprüchen an Wasser- und Nährstoffversorgung sowie Hitze und Sonneneinstrahlung Rechnung getragen. Die Umstellung auf pilzwiderstandsfähige Rebsorten spart Pflanzenschutzmittel (gerade bei feucht-warmer Witterung). Begrünungen, richtig gepflegt, verringern die Verdunstung und senken das Erosionsrisiko, Minimalschnitt oder verkürzte Laubwände können den potenziellen Alkoholgehalt senken und den Reifezeitpunkt verzögern. Die Liste könnte weiter fortgeführt werden. Jeder Beitrag, den Klimawandel einzudämmen, hilft dem Winzer bei seinen Bemühungen. Somit ist es folgerichtig, wenn sich die Branche auch um betriebliche Strategien zum Klimaschutz im Weinbau bemüht. Es wird hierbei sicherlich nicht den einen Weg für alle geben, aber für alle gibt es einen Weg, zum Schutz des Klimas beizutragen. Das ist nicht nur ökologisch sinnvoll, sondern induziert Marketingpotenziale und hilft ökonomische Unwägbarkeiten zu dämpfen.

Sonja Ostermayer – Projektleiterin Nachhaltigkeitskommunikation,
Rheinessenwein e.V.

Der CCF-Rechner – ein Beitrag zum betrieblichen Klimaschutz

Der Klimawandel mit seinen Folgen ist zu einer der größten Herausforderungen unserer Zeit quer durch alle Branchen und Lebensbereiche geworden. Daher hat der Klimaschutz insbesondere in der politischen und öffentlichen Diskussion eine zentrale Bedeutung, wenn es um nachhaltige Wirtschaften, aber auch um verschiedenste Fördermaßnahmen geht.

Weinbau ist als Dauerkultur auf Nachhaltigkeit angelegt. Doch die Wetterextreme der letzten Jahre zeigen, dass sowohl die ökologische als auch die soziale Nachhaltigkeit gegeben sein müssen, wenn Weinbaubetriebe mittelfristig ökonomisch erfolgreich wirtschaften wollen. Pflanzenschutz und Lesemanagement haben sich zu den größten Stressfaktoren für die Erzeugung von wettbewerbsfähigen Weinqualitäten entwickelt.

Gleichzeitig ist die Sensibilität bei Verbrauchern für die Klimawirksamkeit verschiedenster Produkte und Branchen so hoch wie nie zuvor.

Der ökologische Weinbau ist sicher als die Bewirtschaftungsweise zu nennen, die die zentralen Themen eines nachhaltigen Anbaus bereits seit 40 Jahren berücksichtigt. Doch die ökologische Dimension ist globaler geworden. Waren es Mitte der 80er Jahre noch die Einflüsse von Schadstoffemissionen auf die Ökosysteme, die die öffentliche Diskussion bestimmten, so ist das Verständnis der ökologischen Nachhaltigkeit heute viel umfassender und globaler, weil die Klimawirksamkeit von Produktionsprozessen sowohl was den Ressourceneinsatz, als auch die CO₂-Emissionen in das Verhältnis zu den planetaren Grenzen gesetzt wird.

Aus diesem Grund wird der Einsatz des hier entwickelten CCF-Rechners ein wertvolles Tool für die Selbstevaluierung darstellen, das den Weingütern ermöglicht, ihre eigene Klimawirksamkeit zu steuern. Für die ökologisch wirtschaftenden Betriebe eine wertvolle Ergänzung zur Öko-Zertifizierung. Für alle anderen Weinbaubetriebe ein unverzichtbarer Einstieg in ökologisch und sozial nachhaltiges Wirtschaften.

Eine Besonderheit dieses CCF-Rechners dürfte die Berücksichtigung der CO₂-Senken sein, Maßnahmen, wie die Begrünung von Dachflächen, das Anlegen von Strukturen etc. mit denen die Weingüter selbst aktiv CO₂ binden können und damit ihren betrieblichen CO₂-Fußabdruck verbessern können.

Weingut Dr. Höfer, Burg Layen, Dr. Thomas Höfer

Nachhaltiges Wirtschaften

In unserem Weingut arbeiten wir direkt in der ganzheitlichen Natur, nämlich der „Landwirtschaft“ – das schließt – Boden, Wasser, Luft und das gesamte Terroir ein, auf dem wir – und mit dem wir seit Generationen wirtschaften.

Und dass möglichst im Einklang mit der Natur, sowie Flora und Fauna, sowie einem nachhaltigen Handeln. Seit rund 50 Jahren spielen im Weingut Dr. Höfer Humusbildung über Gründüngung eine zentrale Rolle. Dies ebenso verbunden mit dem Ziel einer umfassenden Biodiversität gilt ebenso als Basis, wie auch reduzierte Trauben-Mengenerträge und dem damit einhergehenden, sparsamen Umgang mit Dünger und fachgerechtem Einsatz von Pflanzenschutzmaßnahmen. Seit 40 Jahren wird in unseren Weinbergen kein Insektizid ausgebracht. Wir setzen bei vielen unserer Rebflächen auf „Alte Reben“, diese sind z. T. über 40 Jahre alt und beweisen durch tiefe Wurzelsysteme eine große Widerstandskraft gegen Trockenstress.

Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen

Die Auswirkungen des Klimawandels auf den Weinbau sind sehr vielfältig und erfordern einen sehr flexiblen und sorgfältig abgewogenen Einsatz von Klimaanpassungsmaßnahmen, um weiterhin Weine in ausreichender Menge und guter Qualität wirtschaftlich nachhaltig produzieren zu können. Die enorme Bandbreite und Komplexität des Themenfeldes Klimaanpassung im Weinbau erlaubt an dieser Stelle nur eine grobe Einordnung.

Klimaprojektionen für die deutschen Weinanbaugebiete für die nächsten Jahre und Jahrzehnte gehen von einer hohen Klimavariabilität aus. So ist damit zu rechnen, dass einzelne Jahre im Extremfall viel zu trocken, andere Jahre im anderen Extrem viel zu nass ausfallen. Ein klarer Trend in eine bestimmte Richtung ist aktuell nicht abzusehen.

Fest steht nur, dass die Extreme zunehmen werden und die Variabilität zwischen einzelnen Jahren enorm sein kann. Diesem Umstand lässt sich mit proaktiven, langfristigen Maßnahmen nur schwer begegnen. Kurzfristige Anpassungsstrategien sind mit einer hohen Flexibilität in Abhängigkeit der im Jahrgang vorherrschenden Witterungsbedingungen abzuwägen. Es ist allerdings davon auszugehen, dass es Grenzen der Anpassung an den Klimawandel gibt. So gilt es unbedingt unbeherrschbaren Klimawandel abzuwenden. Das kann nur gelingen, wenn neben Klimaanpassung auch wirkungsvoller Klimaschutz im Fokus der Betriebsleiterinnen und Betriebsleiter steht, um einen Beitrag zur Reduktion der klimawirksamen Gase zu leisten.

Quellen

- Bastide, I., Vinet, M., Vinet, B., Wyss, D. (2022): Agroforst im Weinbau ein Schritt zur Resilienz. DELINAT Consulting, Domaine ÉMILE GRELLIER, abrufbar unter: <https://www.delinat.com/pdf/DE-Agroforst-low.pdf> (Abruf v. 09.01.2024).
- Bauer, K., Fox, R., Ziegler, B. (2004): Moderne Bodenpflege im Weinbau. Ziele, Möglichkeiten, Maßnahmen. Verlag Eugen Ulmer.
- Bücheler, L. (2020): Der Boden als Fundament stabiler Erträge. *Topagrar* 11/2020, S. 56 – 58.
- Chalmers, D., Mitchell, P. D., van Heek, L. (1981): Control of Peach Tree Growth and Productivity by Regulated Water Supply, Tree Density, and Summer Pruning. In: *Journal of the American Society for Horticultural Science* 106 (3), S. 307 – 312.
- Fereres, E., Soriano, M. A. (2007): Deficit irrigation for reducing agricultural water use. In: *Journal of experimental botany* 58 (2), S. 147 – 159. DOI: 10.1093/jxb/erl165.
- Geyrhofer, A. (2012): Bewässerungssteuerung im Weinbau. Der Winzer, abrufbar unter: <https://obstwein-technik.eu/Core?aktiveNavigationsID=879&fachbetaegelD=154> (Abruf v. 09.01.2024).
- Glaser, R., Hauter, C., Faust, D., Glawion, R., Saurer, H., Schulte, A., Sudhaus, D. (2017): Boden – eine endliche Ressource. In: *Physische Geographie kompakt*. Berlin, Heidelberg, Springer Spektrum.
- Gruber, B. R. (2013): Untersuchung zur Bodenfeuchtedynamik und zum Pflanzenwasserhaushalt bei verschiedenen Bodenmanagement- und Laubwandsystemen von *Vitis vinifera* L. (cv. Riesling) im Steilhang. Ein Einsatz zur bedarfsgerechten Steuerung von Tröpfchenbewässerungsanlagen. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades im Fachbereich Agrarwissenschaften, Ökonomie und Umweltmanagement. Hochschule Geisenheim und Justus-Liebig-Universität Gießen, Geisenheim und Gießen. Weinbau und Rebenzüchtung; Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung I.
- Heßdörfer, D. (2014): Bewässerungsmanagement von Reben – worauf ist zu achten. Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau, Weinbau und Qualitätsmanagement.
- Hofmann, U. (2014): Biologischer Weinbau. Stuttgart, Eugen Ulmer KG.
- Hoppmann, D., Stoll, M., Schaller, K. (2017): Terroir: Wetter, Klima und Boden im Weinbau. Rebe & Wein, 2. Aufl., Stuttgart (Hohenheim), Eugen Ulmer KG.
- Keller, M. (2020): The science of grapevines. Anatomy and physiology. 3. ed. Amsterdam [etc.]: Academic Press/Elsevier.
- Ladach, M. (2021): Bodenaufbau durch Brachebegrünung. Vorteile von Brachebegrünungen. *Das Deutsche Weinmagazin*, 03/32.
- Mazzeo, J. (2023): Vite Maritata, an Ancient Vine-Growing Technique, Makes a Comeback. Abrufbar unter: <https://www.wineenthusiast.com/culture/wine/vite-maritata/> (Abruf v. 09.01.2024).
- Müller, E. (2019): Weinbau. Der Winzer 1, 4. Aufl., Eugen Ulmer KG.
- Näser, D. (2021): Regenerative Landwirtschaft. 2. Aufl., Eugen Ulmer KG.
- Patzwahl, W. (2023): Wassermanagement und Bewässerung im Weinbau. Rebe & Wein, Stuttgart (Hohenheim), Eugen Ulmer KG.
- Prior, B. (2014): Verbesserung des Wasserhaushaltes durch Tropfbewässerung und Bodenabdeckung auf einer trockenstressgefährdeten Steillage bei Riesling. In: Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinhessen-Nahe-Hunsrück (Hg.): XVII. Internationaler Arbeitskreis für Bodenbewirtschaftung und Qualitätsmanagement im Weinbau. Oppenheim, 7. – 10. Mai, S. 42 – 47.
- Riekötter, N., Hassler, M. (2022): Agroforestry Systems in Wine Production-Mitigating Climate Change in the Mosel Region. *Forests*, 13(11), 1755.
- Rupp, D. (2003): Bodenfeuchtemessung im Weinbau. LVWO Weinsberg, abrufbar unter: <https://lvwo.landwirtschaft-bw.de/MLR.LVWO.Lde/Startseite/Fachinformationen/Bodenfeuchtemessung+im+Weinbau?LISTPAGE=670162> (Abruf v. 07.01.2024).
- Schorr, T. (2003): Einfluss unterschiedlicher Bodenpflegesysteme auf den Bodenwasser- und -stickstoffhaushalt, die Wuchsleistung der Rebe und die Most- und Weinbereitung. Dissertation. Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg im Breisgau. Weinbauinstitut.
- Stoll, M.; Loveys, B.; Dry, P. (2000): Hormonal changes induced by partial rootzone drying of irrigated grapevine. In: *Journal of experimental botany* 51 (350), S. 1627 – 1634. DOI: 10.1093/jxbot/51.350.1627.
- Stoll M., Stöber V., Blank M., Hofmann M., Gaubatz B., Scheidweiler M., Tittmann S. (2020): Ein gutes Blatt in der Hand – LAUBWANDGESTALTUNG Zeitpunkt, Intensität und Position machen den Unterschied. *Der deutsche Weinbau* (11) S. 20 – 22.
- Wyss, D., Bastide, I. (2022): Bäume für Vitforst (Reben und (Obst-)bäume). DELINAT Consulting, Domaine ÉMILE GRELLIER, abrufbar unter: <https://www.delinat.com/pdf/geeignete-baume-agroforst.pdf> (Abruf v. 09.01.2024).

Fotos

S. 2, 41, 47 © Katja Zentel; S. 12/13, 16 © Dominik Ketz; S. 14/15 © Roth/Palmes; S. 22 © Rheinhessen-Touristik GmbH; S. 29 – 31 © Rheinhessenwein e.V./dieth & schröder fotografie; S. 40 © Grunewald.



Projektkoordination:
Prof. Dr. Gerhard Roller & Dr. Desirée Palmes
Technische Hochschule Bingen

Kontakt: <http://nachhaltiger-weinbau.net>