



Agri-PV und Weinbau:
Oben grüner Strom,
unten Weißer Riesling

**Manfred Stoll¹, Lucia Garstka¹,
Jakob Wieland^{1,2}, Claudia
Kammann²**

¹Department of General and Organic Viticulture
²Department of Applied Ecology

**DAFA-Plattform
Landwirtschaft
im Klimawandel**

www.hs-geisenheim.de

 Hochschule Geisenheim University

Herausforderungen für den Weinbau der Zukunft

- 1) Themenbereich Kulturlandschaft**
 - 1) Arten- und Strukturvielfalt und andere Schutzgüter
 - 2) Nutzungsänderung in Flach- und Hanglagen
 - 3) Biodiversität und Ökosystemleistungen
- 2) Abiotische Faktoren: Temperatur & Niederschlag**
 - 1) Vorverlegung der Entwicklungsstadien (Spätfrostisiko)
 - 2) höhere Anfälligkeit gegenüber Sonnenbrand
 - 3) Anstieg der Photosyntheserate sowie der Evapotranspiration
- 3) Bewirtschaftung**
 - 1) Zunehmend schwieriger Fachkräfte und motivierte Mitarbeiter zu finden
 - 2) Effizienzsteigerung zeigt nur noch geringes Steigerungspotenzial ; Anstieg der Energiekosten
 - 3) Saisonale Anpassung zunehmend wichtiger
 - 4) Langfristige Anpassung scheitert tw. an Investitionsmöglichkeiten
- 4) Strukturwandel und gesellschaftlicher Diskurs**
 - 1) Steillagen-Problematik (Aufwand und Erlös) bei gleichzeitiger Erhalt der Kulturlandschaft
 - 2) Stellung der Landwirtschaft und des Weinbaus bezüglich der Umwelteinträge
- 5) Zunehmendes Ertragsrisiko**
 - 1) Weinprofil (insbes. Zucker, Alkohol, Säure)
 - 2) Schaderreger

Weinbau im Wandel: Multifunktionalität als Strategie



Weitere Herausforderungen:

- "viele" für den Weinbau
- **ABER** Strukturwandel: Preis- und Kostendruck, Betriebsaufgaben, Nachfolgeprobleme,
- **ODER** Gesellschaftliche Erwartungen: Nachhaltigkeit, Regionalität, Biodiversität

Multifunktionalität kann auf die eine oder andere Herausforderung eine Antwort sein

- Diversifizierung: Weinbau mit Tourismus, Gastronomie, Direktvermarktung
- Soziale Funktionen: Erhalt der Kulturlandschaft, regionale Identität, Bildung
- Ökosystemleistungen: Biodiversität, CO₂-Bindung, Bodenschutz
- Innovationen: (neue Rebsorten), Agroforstsysteme, doppelte Flächennutzung, digitale Technologien, Mehrwertstrategien (bspw. Nutzung von Phytoalexinen)

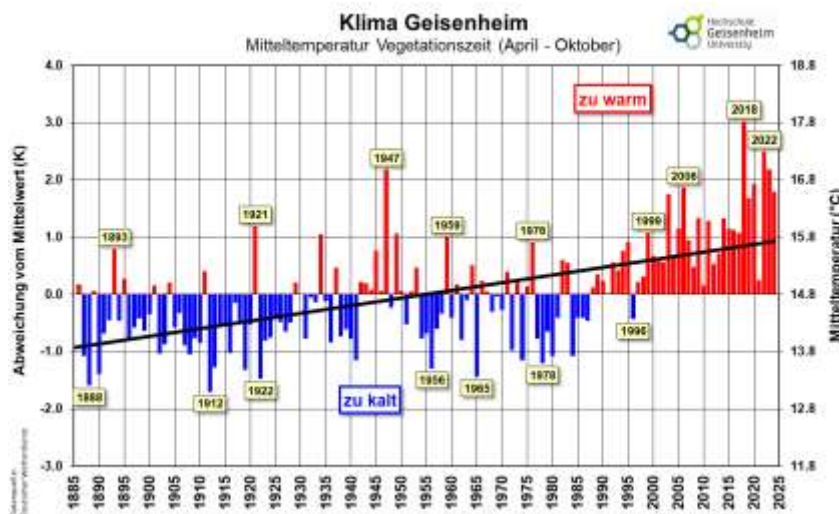
Ziel: Resiliente, nachhaltige und wirtschaftlich tragfähige Weinbaubetriebe erhalten sowie die Wertigkeit des Weines zu verbessern

01.10.2026

DAFA-Plattform Landwirtschaft im Klimawandel
manfred.stoll@hs-gm.de

3

Änderung in Mitteltemperatur während Vegetationszeit



- Der Sommer 2026 war in Europa der wärmste meteorologische Sommer seit Aufzeichnungsbeginn
- In D: nach 2003 der zweitwärmste
- verlängerte Vegetationsperiode und beschleunigte Reife

<https://www.hs-geisenheim.de/praxis/praxiswissen/wetter/rebschutz/wetter/rebschutz>

01.10.2026

DAFA-Plattform Landwirtschaft im Klimawandel
manfred.stoll@hs-gm.de

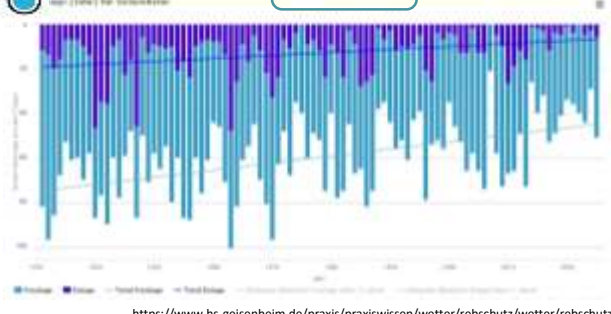
4

Aber: Die Zunahme der „Ereignistage“ erhöhen das Risiko

Sommer



Winter



<https://www.hs-geisenheim.de/praxis/praxiswissen/wetter/rebschutz/wetter/rebschutz>

- Weinstilistik, Sortenwahl und Anbaugrenzen
- Reduzierung des Anthocyangehalts
- Veränderte aromatische Reife
- ++ Sonnenbrand
- -- Ertragssicherheit



- Vorzeitiger Austrieb:
- ++ Spätfrostisiko
- -- Ertragssicherheit

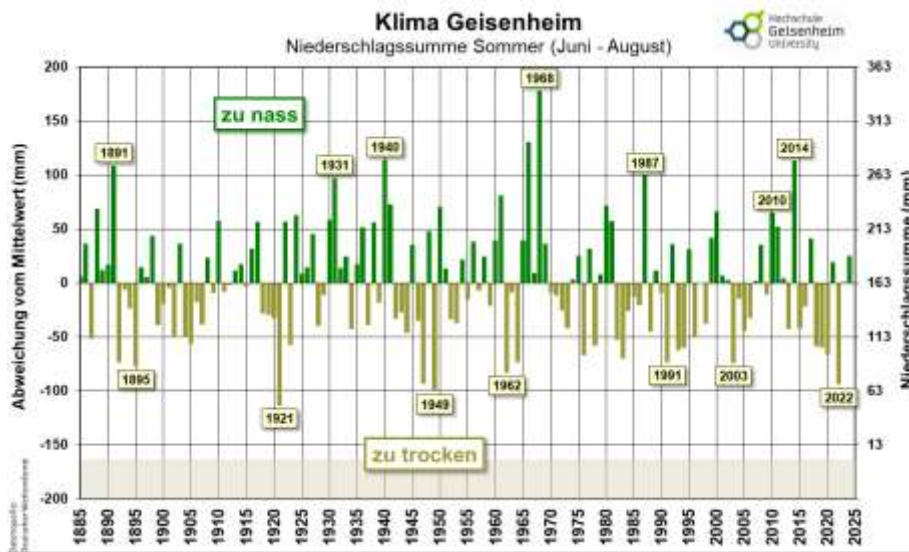


01.10.2026

DAFA-Plattform Landwirtschaft im Klimawandel
manfred.stoll@hs-gm.de

5

Sommer: Summe des Niederschlags (mm)



Kein wirklicher Trend
in der Niederschlags-
summe ableitbar

ABER

Evapotranspiration
steigt

ODER

Turbolese 2025

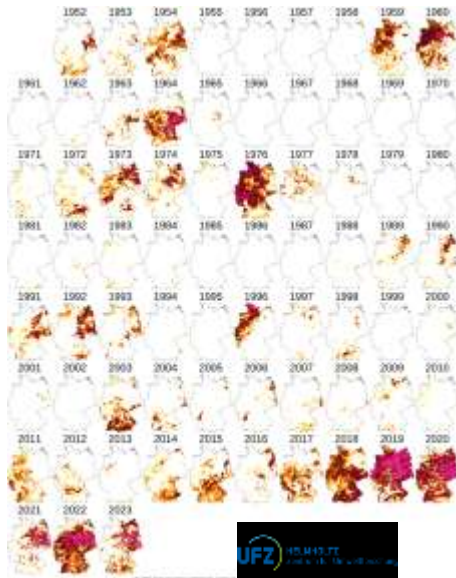
<https://www.hs-geisenheim.de/praxis/praxiswissen/wetter/rebschutz/wetter/rebschutz>

01.10.2026

DAFA-Plattform Landwirtschaft im Klimawandel
manfred.stoll@hs-gm.de

6

Auswirkungen auf den Bodenwasserhaushalt



Beobachtungen:

- erhöht den Stress auf Reben
- Blattverlust in der Traubenzone
- Absterben der Reben
- Etablierung von Neuanlagen erschwert

- ➔ Bewässerungsbedarf läge nahe
- ➔ Aber mindestens genauso wichtig: Wasserrückgewinnung

Die Folgen ...

Sonnenbrand und Trockenschäden



- ➔ Die Weinlese verschiebt sich je Dekade um 4,7 Tage weiter nach vorne.
- ➔ Bereits heute ist die Weinlese 2026 zu 95% im Rheingau beendet



Beschattungsstrategien



➡ Damit kommt die Voltaik ins Spiel



01.10.2026

DAFA-Plattform Landwirtschaft im Klimawandel
manfred.stoll@hs-gm.de

11



Erkenntnisse aus bestehenden Anlagen:



- Weniger Strahlung (Marrou et al. 2013; Tiffon-Terrade, 2023)
- (geringfügig) niedrigere Luft- und Blatt-Temperaturen (Marrou et al. 2013; Tiffon-Terrade, 2023)
- Feuchtere Böden (Barron-Gafford et al., 2019)
- Geringerer Wasserstress (Ferrara et al. 2023, Barron-Gafford et al. 2019)
- Verzögerte Entwicklung (Cho et al., 2020; Tiffon-Terrade et al., 2023)
- In trockenen Jahren: höhere Erträge (Fraunhofer ISE, 2021)
- Reduzierte Photosyntheseleistung (Ferrara et al., 2023)
- Niedrigere Mostgewichte (Tiffon-Terrade et al., 2023; Ferrara et al. 2023)



01.10.2026

DAFA-Plattform Landwirtschaft im Klimawandel
manfred.stoll@hs-gm.de

19

DER ANSATZ AN DER HOCHSCHULE IN GEISENHEIM



earth.google.com

Als Hochschule haben wir keine Bevorzugung von Bauvorhaben im Außenbereich

X: Bauland in unmittelbarer Siedlungsnähe mit Anschlussmöglichkeiten an die Infrastruktur der HGU

ABER: nimby-not in my backyard

01.10.2026

DAFA-Plattform Landwirtschaft im Klimawandel
manfred.stoll@hs-gm.de

21

ÄNDERUNG DES FLÄCHENNUTZUNGSPLANS

Baugenehmigungsverfahren für PV	
Scoping-Gespräch Planungsanstoß	Antragsteller, Gemeinde, Fachbehörden, Landratsamt
Einreichung Unterlagen/ Erarb. Städtebaul. Konzept	Antragsteller, Gemeinde
Aufstellungsbeschluss	Gemeinde
Ausarbeitung Planentwurf	Antragsteller, Gemeinde, Fachbehörden, Landratsamt
Frühzeitige Behörden und Öffentlichkeitsbeteiligung	Gemeinde, Öffentlichkeit, Fachbehörden
Entwurf Bebauungsplan inkl. Umweltbericht	Planungsbüro, Gemeinde
Behörden und Öffentlichkeitsbeteiligung	Gemeinde
Endgültige Fassung / Durchführungsvertrag	Gemeinde, Öffentlichkeit, Fachbehörden, TÖB
Satzungsbeschluss	Antragsteller, Gemeinde
Genehmigung	Landratsamt

§ 64 - Baugenehmigungsverfahren	
Liste der erforderlichen Bauvorlagen (Baugelanforderung) bei Verfahren nach § 64 HGO, Baugenehmigungsverfahren Die Baugenehmigung zur Realisation Bauvorhaben bedarf der genehmigten Unterlagen und sonst erforderlichen Unterlagen für die Prüfung von Anlagen, Anlagenänderungen oder sonstigen Änderungen sowie Änderungen und Ergänzungen zum Inhalt und zur Ausgestaltung der Bauvorlagen für die Bauverfahren, Verfahren nach HGO und für die Baugenehmigungsverfahren sowie für Ausnahmen, Befreiungen und Abweichungen. Die Bauverfahren müssen eindeutig definiert werden, dass das gesamte Verfahren den genehmigten Baugenehmigungsverfahren entspricht und das nötige Grundrecht angeordnet wird. Die Anforderungen an die Unterlagen und die Bauverfahren sind gleichzusetzen mit den Bauverfahren, die bei den Baugenehmigungsverfahren nach §§ 19, 20 und 21 HGO. Wie werden die diese Unterlagen 2-fach bei der Unteren Bauaufsichtsbehörde ein- reicht. Eine Ausfertigung kann zusätzlich bei der Stadt- oder Gemeinde eingereicht werden. Mithilfe, wenn die Unterlagen in einem Verfahren nur noch digital eingereicht werden können.	
1	Mitteilung baugenehmigungsverfahren Verfahren (Vorlage bis 10)
2	Auszug aus der Liegenschaftskarte gem. Anforderungen des Baugenehmigungsverfahrens, abgelesen im Maßstab 1:500
3	Auswertungsbescheid (Grundbesitzkarte, Grundbesitzkarte, Baugenehmigung)
4	Nachweis der Gütebeurteilung RD - DG Zeichnung und Zeichnung
5	Altkarte (nicht bereits gezeichnet und verändert)
6	Der Behörden- und Nutzungsbestimmung der Planung, die Bestimmung (Grundbesitzkarte, Baugenehmigung, Baugenehmigung, Baugenehmigung, Baugenehmigung)
7	Flächengrößenkarte Zeichnung und Zeichnung
8	Flächengrößen im Maßstab 1:200 gem. Anforderungen des Baugenehmigungsverfahrens
9	Baugenehmigungen im Maßstab 1:100 gem. Anforderungen des Baugenehmigungsverfahrens
10	Baugenehmigung zur Erweiterung
11	Gemäß § 64 (1) HGO sind die nachfolgend aufgeführten Bauvorlagen der Baugenehmigung beizufügen bzw. müssen spätestens vor Beginn der Bauarbeiten/Verfahren vorliegen:
12	Handlungsplan (Handlungsplan) von (Grundbesitzkarte) bei mehreren Antragstellern oder Baugenehmigungsverfahrens
13	Auszug aus dem Handb. oder Verordnungsblatt der Baugenehmigung von (Grundbesitzkarte) bei mehreren Antragstellern oder Baugenehmigungsverfahrens
14	Nachweis des Spielplatzes für Kinder (bei der Baugenehmigung der Baugenehmigung)
15	Nachweis der Aufenthaltsqualität (bei der Baugenehmigung der Baugenehmigung)
16	Planungskonzept „Baugenehmigung“ (bei der Baugenehmigung der Baugenehmigung)
17	Auszug aus der Liegenschaftskarte zur Erweiterung mit Darstellung der Veränderung des Baugenehmigungsverfahrens und der öffentlichen Baugenehmigung
18	Flächengrößenkarte zur Erweiterung (einstufige in Maßstab 1:200)
19	Handlungsplan (Handlungsplan, in digitaler Form)
20	Nachweis der Flächengrößenkarte (einstufige Baugenehmigung gem. Anlage 2 bis 3 zum Baugenehmigungsverfahrens und 1:100 (1) HGO)
21	Nachweis des vorgeschriebenen Brandschutzes
22	Nachweis der Baugenehmigung
23	Die nachfolgend aufgeführten, nach § 64 HGO erforderlichen, Baugenehmigungen (Baugenehmigungen) sind gemäß § 64 (1) HGO spätestens vor Ausführung der im Baugenehmigung aufgeführten Baugenehmigungen vorzulegen:
24	Wasserschutzbauwerke, in digitaler Form

PLANUNGSERFOLGE:



earth.google.com

„PLANUNGSERFOLGE“:

23. SEPTEMBER 2021: Flächennutzungsplan wurde vom Magistrat der Stadt als Satzung beschlossen.

Damit war die Planreife erreicht und der Bauantrag durfte eingereicht werden!

31. März 2022: Eingang der Baugenehmigung

01.10.2026

DAFA-Plattform Landwirtschaft im Klimawandel
manfred.stoll@hs-gm.de

23

VitiVoltaic in Zahlen

- Projektbeginn: 2019
- Baubeginn: Nov. 2022
- Netzanschluss: Okt. 2023
- Max. Leistung: ~ 94 kWp
- Module: 552 Stück á 170 Wp
- Fläche APV: ca. 1.500 m²
- Ges. Fläche: ca. 3.125 m²
- Höhe: ~ 3.5 m
- Pflanzjahr: 2021
- Edelreis: Riesling (Gm 326)
- Unterlage: SO4 (47 Gm)
- Pflanzdichte: 2 m² pro Rebe

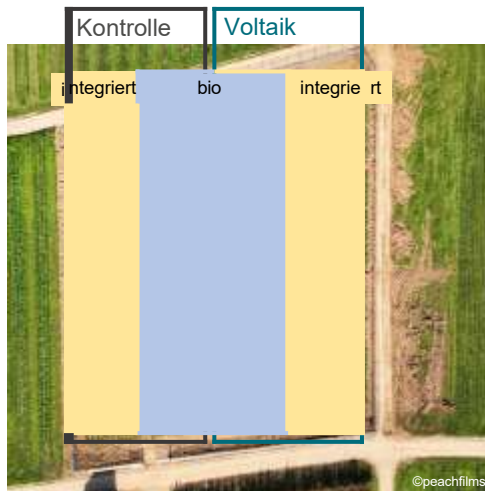


01.10.2026

DAFA-Plattform Landwirtschaft im Klimawandel
manfred.stoll@hs-gm.de

24

VitiVoltaic Versuchsplattform in Geisenheim



01.10.2026

 DAFA-Plattform Landwirtschaft im Klimawandel
 manfred.stoll@hs-gm.de

25



Alleinstellungsmerkmale der VitiVoltaic-Anlage (HGU)



gerammte
„Fundamente“



- rückstandslos rückbaubar

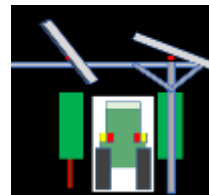
semi-transparente
Module



- Lichttransmission
→ ca. 70%

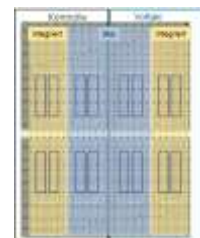


Module nachführbar



- Optimierung des Bestandes
- Maximierung der Energieausbeute

Versuchsdesign



- Fragestellungen in Richtung der Bewirtschaftung

01.10.2026

 DAFA-Plattform Landwirtschaft im Klimawandel
 manfred.stoll@hs-gm.de

26

Wie nutzen wir die Energie und die Module selbst?

1. Energieverwertung: bifaziale, semi-transparente Module

Eigenverbrauch HGU, Einspeisung ins Netz
dezentrale Energiespeicherung vor Ort als Ladestation
Steuerung der tracking-Anlage

2. Bewirtschaftung: Boden- und Bestandmanagement

Autonomer, batteriebetriebener „Robo“ für Bodenbearbeitung oder andere Arbeiten
rain-harvesting über bewegliche Module
Bodenwassergehaltsmessung
Ventilsteuerung / Pumpen Bewässerung / ((Fertigation))

3. Bestandsgesundheit und Ertragssicherheit

Spätfrost Heizdraht
Reduzierung der Bodeninfektion (z.B. *Plasmopara viticola* - Vermeidung Splash-Effekt)
Ventilatoren (Bestandsklima: kühlen, Abtrocknung der Traubenzone durch Ventilatoren)
Autonome Fahrzeuge zur Stress-Früherkennung und PSM Applikation
Beschattung / Hagelschutz

4. Qualitätserfassung /-steigerung:

Sensoren (T, rH, Wind, Strahlung) und Datenübertragung
Automatisierung der Beschattungsnetze (Bestandsklima)
Pumpen für System von Mikrosprinklern (Bestandsklima) oder Tröpfchenbewässerung
LED Lichtqualität



01.10.2026

DAFA-Plattform Landwirtschaft im Klimawandel
manfred.stoll@hs-gm.de

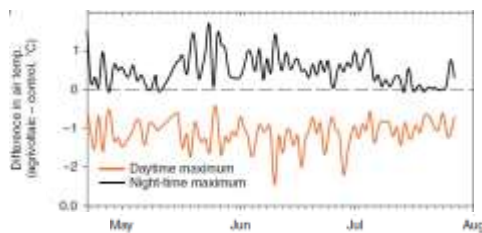
27



Lufttemperatur und rel. Luftfeuchte



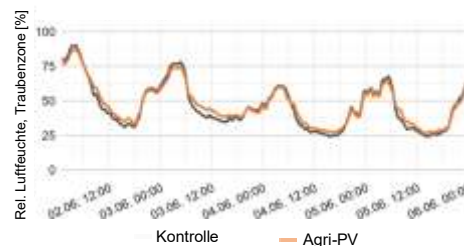
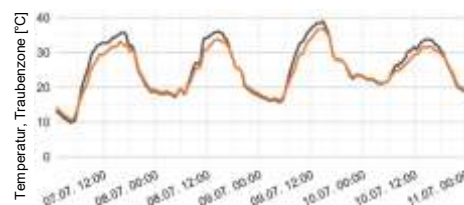
Bodennahe APV
Abb. von Toledo et al., 2021, verändert



Änderung in der Lufttemperatur
Barron-Gafford et al., 2019

Unter der VitiVoltaic:

- Tagsüber kühler (bis zu 4 °C)
- Nachts etwas wärmer (bis zu 1°C)
- Luftfeuchtigkeit etwas erhöht



Lufttemperatur und rel. Luftfeuchte (abs.), Traubenzone zur Blüte
Garstka et al., 2024 (ddw)

Garstka et al. 2024

01.10.2026

DAFA-Plattform Landwirtschaft im Klimawandel
manfred.stoll@hs-gm.de

29

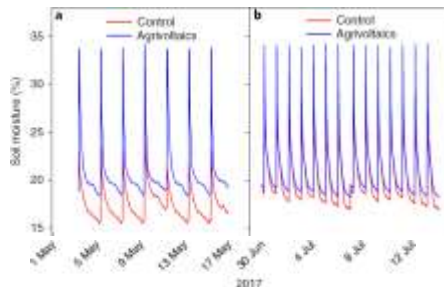


Bodenfeuchte



Bodennahe APV

Abb. von Toledo et al., 2021, verändert

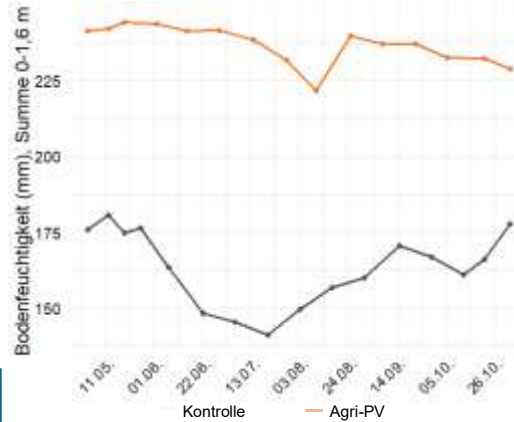


Bodenfeuchte (volumetrisch) auf 5 cm Tiefe in Prozent

Barron-Gaffor

Unter der VitiVoltaic:

- Hält sich die Bodenfeuchte länger
- Ist die Bodenfeuchtigkeit höher



Bodenfeuchte (volumetrisch), aufsummiert 0-1,6 m

Garstka et al., 2024 (ddw)

Garstka et al. 2024

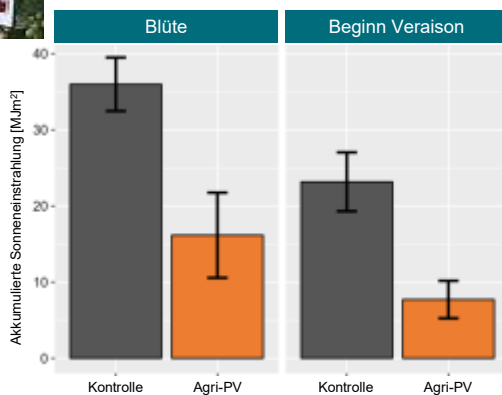
01.10.2026

DAFA-Plattform Landwirtschaft im Klimawandel
manfred.stoll@hs-gm.de

30



Lichtverfügbarkeit (quantitativ und qualitativ)

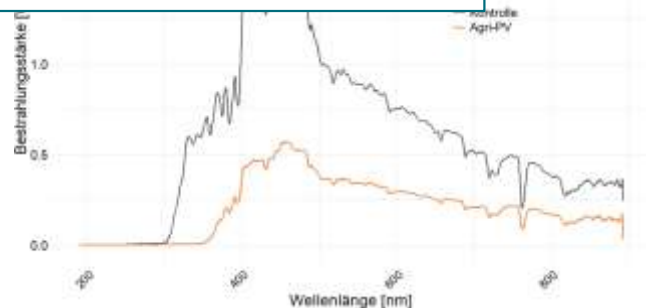


Akkumulierte Strahlung an der Traubenzone, 2023

Garstka et al., 2024 (ddw)

Unter der VitiVoltaic:

- Einstrahlung an der Traubenzone um mehr als 50% reduziert
- Gerade das kurzwellige Licht wird von den Modulen absorbiert



Elektromagnetisches Spektrum in Gassenmitte auf 1 m Höhe, April 2023

Garstka et al., 2024 (ddw)

Garstka et al. 2024

01.10.2026

DAFA-Plattform Landwirtschaft im Klimawandel
manfred.stoll@hs-gm.de

31

Phänologie 2023



Kontrolle

Vegetative Phase, 15.05.2023



Agri-PV



Kontrolle

Seneszenz, 07.11.2023



Agri-PV

Unter der VitiVoltaic:

→ Ende der Vegetation zur Rückverlagerung wurden Unterschiede besonders deutlich

Garstka et al. 2024

01.10.2026

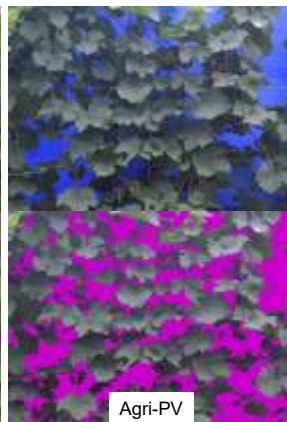
DAFA-Plattform Landwirtschaft im Klimawandel
manfred.stoll@hs-gm.de

32

Reaktion: Laubwandstruktur



Kontrolle



Agri-PV

Bildbasierte Analyse von Laubwandporosität,
R Programm entwickelt von M. Hofmann

Unter der VitiVoltaic:

- Größere Einzelblattflächen bei dünneren Blattquerschnitten
- Gleiche Nodienanzahl bei längeren Internodien
- Geringere Laubwandporosität
- **Anpassung an reduzierte Lichtverhältnisse**

Garstka et al. 2024

01.10.2026

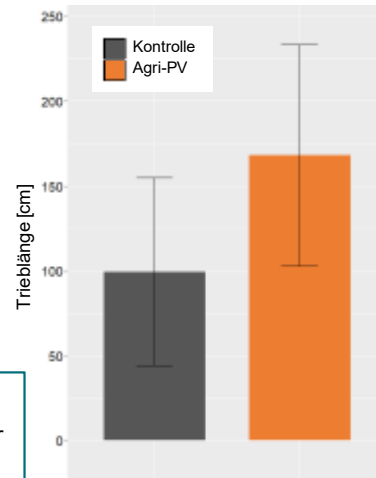
DAFA-Plattform Landwirtschaft im Klimawandel
manfred.stoll@hs-gm.de

33

Wachstum Junganlage



Wachstum Jungreben 2023



Trieblängen Jungreben 2023

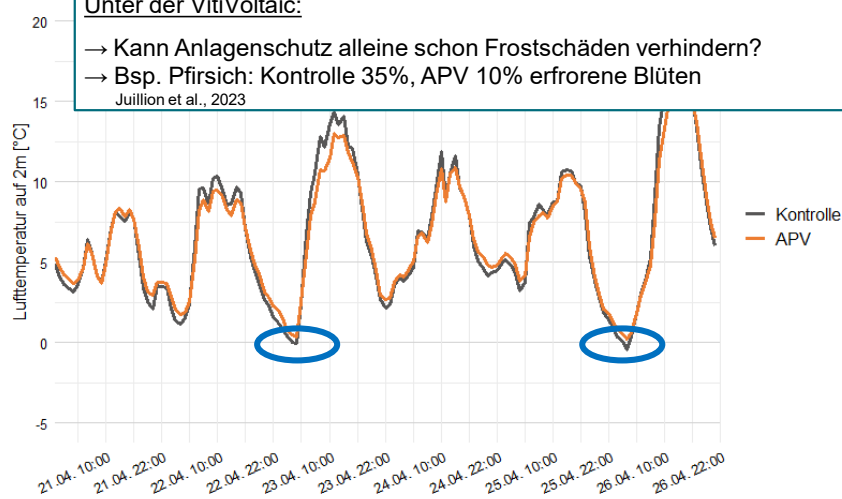
Garstka et al. 2024

Frostschutz



Unter der VitiVoltaic:

- Kann Anlagenschutz alleine schon Frostschäden verhindern?
 - Bsp. Pfirsich: Kontrolle 35%, APV 10% erfrorene Blüten
- Jaillon et al., 2023



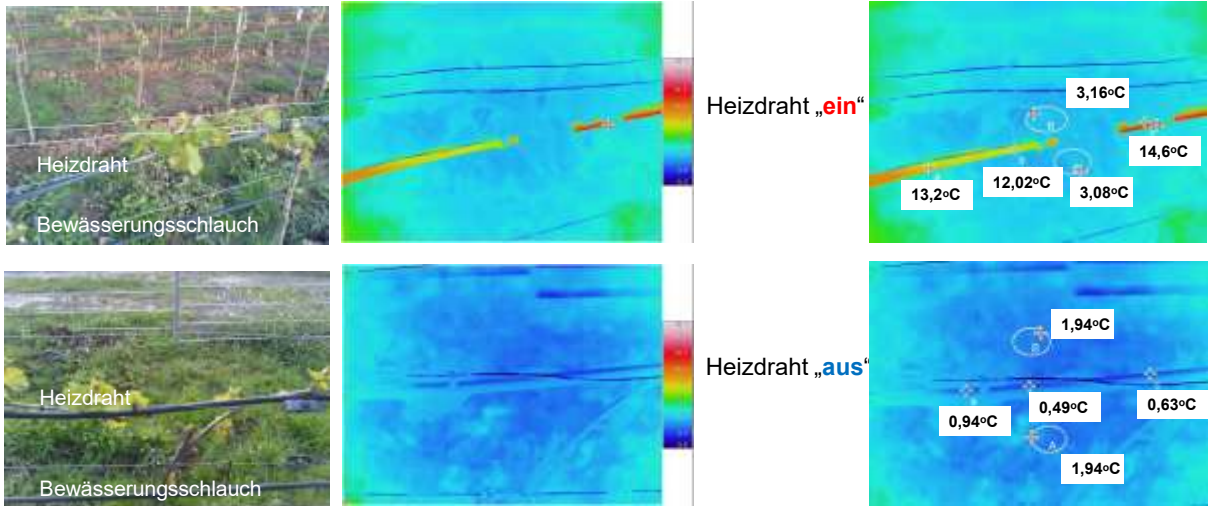
Verlauf der Lufttemperatur auf 2 m während der Spätfrostnächte 2024

Garstka et al. 2024

Frostschutz mit Heizdrähten



Zwischen 02:00 Uhr und 07:00 Uhr, wenn Temp. $< 0.4^{\circ}\text{C}$, dann wärmen die Heizdrähte
Generalprobe am 22.04.2024, BBCH 14 (Bildquelle: Stoll)



Garstka et al. 2024

01.10.2026

DAFA-Plattform Landwirtschaft im Klimawandel
manfred.stoll@hs-gm.de

36

Traubengesundheit 2023



Sonnenbrand, 05.09.2023

Kontrolle



VitiVoltaic



- Kontrolle: 13% höhere Häufigkeit von Sonnenbrandschäden
- Unter der VitiVoltaic keine Schäden

Botrytis, 18.09.2023

Kontrolle



VitiVoltaic



- Kontrolle: 95% befallen, Befallsstärke: 26%
- Agri-PV: 64% befallen, Befallsstärke: 6%

Garstka et al. 2024

01.10.2026

DAFA-Plattform Landwirtschaft im Klimawandel
manfred.stoll@hs-gm.de

37



Zweite Anlage: VitiKULT – mobile APV über Junganlagen



Fraunhofer ISE, Freiburg
sbp sonne, Stuttgart
Hochschule Geisenheim



01.10.2026

DAFA-Plattform Landwirtschaft im Klimawandel
manfred.stoll@hs-gm.de

39

Danksagung



Lucia Garstka, Doktorandin

Prof. Dr. Claudia Kammann, Institut für angewandte Ökologie, HGU

Dennis Jouaux, Elektrotechnikmeister, Institut für angewandte Ökologie, HGU
sowie

Prof. Dr. Ilona Leyer, Institut für angewandte Ökologie, HGU

Prof. Dr. Eckhard Jedicke, Institut für Landschaftsplanung und Naturschutz

Dr. Christiane Jost und **Magdolna Prantner**, Forschungsförderung und Wissenstransfer F

Uwe Pohlmann, Architekt, HGU

Fraunhofer Institut Solare Energiesysteme ISE, Freiburg (Max Trommsdorff, Oliver Hörnle)

sbp sonne (Axel Schweitzer, Gerhard Weinrebe)

Finanzierung über die Projekte:

APV-Weinbau4Real

➔ Aufbau eines Reallabors

Aufbau einer Innovationsplattform für Agro-Photovoltaikforschung für den Weinbau **gefördert durch das EFRE-Programm der EU (über HMWK Hessen)** (Akronym: **APV-Weinbau4Real**)

VitiVoltaic4Future

➔ Forschung zur weinbauliche Anpassungsstrategie an den Klimawandel

Agro-Photovoltaik als weinbauliche Anpassungsstrategie an den Klimawandel
gefördert durch das Hessische Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Akronym: **VitiVoltaic4Future**)



01.10.2026

DAFA-Plattform Landwirtschaft im Klimawandel
manfred.stoll@hs-gm.de

