



PSM-RÜCKSTÄNDE IN SCHWEIZER REBBERGSBÖDEN

Was passiert eigentlich mit Pflanzenschutzmitteln nach der Applikation? So viel ist klar: Ein Teil bleibt im Boden. Eine neue Studie von Agroscope zeigt erstmals, wie stark Rebbergsböden in der Schweiz mit synthetischen Wirkstoffen und Kupfer belastet sind.

Pflanzenschutzmittel sind im heutigen Rebbau kaum wegzudenken. Aufgrund des hohen Krankheitsdrucks werden Reben mit einer breiten Palette an Wirkstoffen behandelt. Doch was passiert mit diesen Pflanzenschutzmitteln (PSM), wenn sie einmal ausgebracht sind? Ein Teil lagert sich im Boden ab, ein Lebensraum, der für den Rebbau zentral ist, aber bisher wenig im Fokus stand. Welche Rückstände dort überdauern, wie sie sich verteilen und ob sie das Bodenleben beeinträchtigen, war bislang kaum bekannt. Elias Barmettler, Doktorand an der Universität Zürich und in der Forschungsgruppe Pflanzen-Boden-Interaktionen bei Agroscope, ist diesen Fragen in einer gross angelegten Studie nachgegangen. In Zusammenarbeit mit den Agroscope-Forschungsgruppen Weinbau Deutschschweiz, Mykologie und Umweltanalytik wurden in drei Schweizer Weinbauregionen insgesamt 62 Rebparzellen untersucht (Abb. 1). Die Auswahl umfasste sowohl biologisch als auch konventionell bewirtschaftete Betriebe (Abb. 2). Die Böden wurden auf ihre Belastung mit Kupfer sowie auf Rückstände von 146 synthetischen Pflanzenschutzmitteln untersucht. Zusätzlich wurde die räumliche Verteilung der Rückstände innerhalb der Parzellen analysiert, und es erfolgte eine Risikobewertung für Bodenlebewesen.



Abb. 1: Mit dem Bohrstock wurden die Bodenproben entnommen. (@ Agroscope)

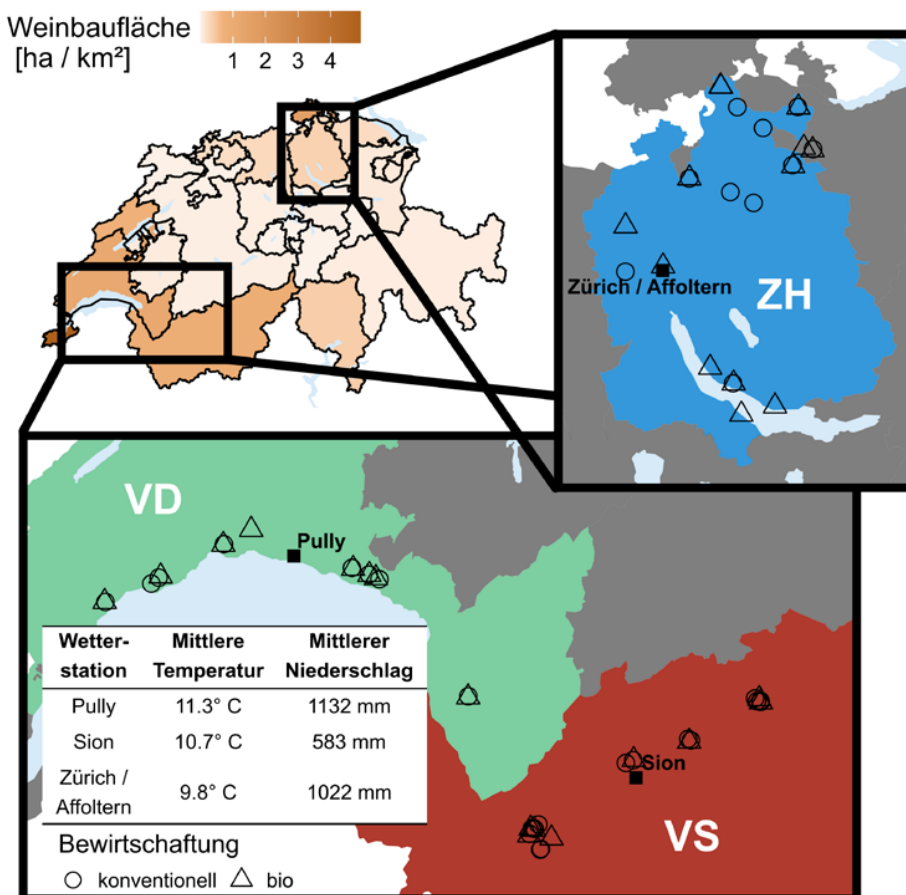


Abb. 2: Karte der Schweiz mit der Weinbaufläche pro Kanton und den Standorten der untersuchten Rebberge in den drei ausgewählten Regionen Waadt (VD), Wallis (VS) und Zürich (ZH). Die Daten zur mittleren Jahrestemperatur und Niederschlagsmenge für eine repräsentative Wetterstation pro Region sind in der Tabelle aufgeführt (Daten gemäss Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz (2023)). In Anlehnung an Barmettler et al., 2025.

LANGFRISTIGE RÜCKSTÄNDE VON PFLANZENSCHUTZMITTELN IN REBBERGSBÖDEN

Die Ergebnisse sind bemerkenswert: In einzelnen Parzellen konnten bis zu 60 verschiedene Wirkstoffe nachgewiesen werden und selbst in Rebparzellen, die seit über 20 Jahren biologisch bewirtschaftet werden, fanden sich noch Rückstände (Abb. 3a). Be-

seit Jahren nicht mehr zugelassene Pflanzenschutzmittel mit kurzer Halbwertszeit, wie die Herbizide Atrazin und Linuron, konnten immer noch nachgewiesen werden. Das weist darauf hin, dass viele Wirkstoffe an Bodenbestandteile gebunden werden und danach biologisch kaum mehr abgebaut werden.

REGIONALE UND LOKALE UNTERSCHIEDE IN DER BELASTUNG

Die Belastung der Böden variierte zwischen den Regionen. Bei insgesamt vergleichbaren Anwendungsmengen wurden besonders hohe Konzentrationen an synthetischen PSM im Wallis gemessen, vermutlich aufgrund der tieferen Bodenfeuchtigkeit, was zu einer geringeren mikrobiologischen Abbaurate führt (Abb. 3a, b). Aber auch innerhalb einzelner Rebparzellen zeigten sich grosse Unterschiede: Die Rebzeilen waren deutlich stärker belastet als die Fahrgassen dazwischen, und im Oberboden lagen die Werte meist höher als im Unterboden. Interessanterweise nahm dieser vertikale Unterschied mit zunehmender Dauer der biologischen Bewirtschaftung ab.

«Die biologische Bewirtschaftung reduziert die PSM-Belastung deutlich. Aber Kupfer bleibt ein chronisches Problem.»

sonders häufig wurden die Botrytizide Boscalid, Fludioxonil sowie ein Abbauprodukt des Wirkstoffs Cyprodinil gefunden. Überraschend war zudem die hohe Beständigkeit vieler Wirkstoffe im Boden: Selbst

KONVENTIONELLER ANBAU:

13-FACH HÖHERE BELASTUNG

Zwischen konventionell und biologisch bewirtschafteten Parzellen zeigten sich deutliche Unterschiede. Während die Anzahl verschiedener PSM unter biologischer Bewirtschaftung nur leicht reduziert war, lagen die Gesamtkonzentrationen synthetischer PSM im Mittel um das 13-Fache tiefer (Abb. 3a, b). Besonders auffällig war, dass die Dauer der biologischen Bewirtschaftung die Reduktion am besten erklärte. Je länger biologisch bewirtschaftet wurde, desto weniger Rückstände fanden sich. Dennoch wurden auch nach 20 Jahren noch bis zu 32 Substanzen nachgewiesen, ein Beleg für die hohe Langzeitpersistenz vieler Stoffe.

KUPFER BLEIBT EIN UNGELÖSTES PROBLEM

Im Gegensatz zu den synthetischen Pflanzenschutzmitteln wies Kupfer keinen Unterschied zwischen konventioneller und biologischer Bewirtschaftung auf (Abb. 3c). Mit durchschnittlich 371 mg/kg lag die Belastung deutlich über dem Schweizer Richtwert von 40 mg/kg und überschritt in 85% der Fälle auch den EU-Referenzwert für ökologische Risiken von 150 mg/kg Boden. In einem Rebberg wurde sogar ein Wert von 850 mg/kg gemessen. Ein Vergleich mit einer EU-weiten Studie zeigt auch, dass die Kupferkonzentrationen in Schweizer Rebbergsböden deutlich höher sind als in unseren Nachbarländern. Die Kupferbelastung ist eng mit der Anwendungsgeschichte verbunden, da Kupfer als Schwermetall nicht abgebaut wird. Auch heutige moderate Ausbringungsmengen führen deshalb zu einer weiteren Akkumulation in Parzellen.

RISIKEN FÜR DAS BODENLEBEN UND POLITISCHE RELEVANZ

Eine kombinierte Risikobewertung auf Basis der Konzentrationen und bekannter Toxizitätsdaten zeigt: In 50% der Rebberge lagen die Werte für synthetische PSM und Kupfer gleichzeitig in einem Bereich, der ein Risiko für Bodenorganismen darstellen könnte. Nur 10% der Parzellen wurden als risikofrei eingestuft. Besonders ins Gewicht fielen hierbei nicht nur die mengenmässig dominanten Wirkstoffe, sondern auch toxisch hochwirksame Substanzen wie die Insektizide Chlorpyrifos oder Imidacloprid, selbst wenn sie nur in sehr geringen Konzentrationen vorhanden waren. Kupfer bleibt langfristig wohl der Hauptbelastungsfaktor in Rebbergsböden, da es sich über die Jahre anreichert. Im Gegensatz dazu lassen sich Risiken durch synthetische PSM gezielt verringern, etwa durch deren reduzierten Einsatz oder durch den Einsatz weniger schädlicher Alternativen. Die bisherigen Risikobeurteilungen basieren auf Toxizitätsdaten aus der Literatur. In weiteren Studien wird nun direkt untersucht, wie Bodenmikroorganismen und ihre Funktionen mit den gemessenen Konzentrationen zusammenhängen und welche Effekte Pflanzenschutzmittel in Topfversuchen auf mikrobielle Nützlinge haben.

FAZIT: DER MODERNE PFLANZENSCHUTZ MUSS DIESE RISIKEN BERÜCKSICHTIGEN

Die Studie zeigt klar: Die biologische Bewirtschaftung reduziert die PSM-Belastung deutlich, aber langsam. Kupfer bleibt ein chronisches Problem beider Bewirtschaftungsformen.

WAS BLEIBT IM BODEN? – 10 ERKENNTNISSE AUS DER STUDIE

1. Bis zu 60 verschiedene Wirkstoffe pro Parzelle
2. Konventionelle Flächen: im Schnitt 13-Mal höhere PSM-Belastung
3. Regionale Unterschiede: Hinweis auf höhere Belastung in trockeneren Lagen
4. Rückstände längst verbotener Wirkstoffe noch nach Jahrzehnten nachweisbar
5. Rückstände auch ohne dokumentierte Anwendung feststellbar
6. Kupfer in allen Parzellen stark erhöht, unabhängig vom Anbausystem
7. Rebzeilen deutlich stärker belastet als Fahrgassen
8. 50% der Parzellen im potenziell riskanten Bereich für synthetische PSM und Kupfer
9. Nur 10% der Parzellen galten als ohne Risiko im Hinblick auf synthetische PSM und Kupfer
10. Risiken durch Wirkstoffkombinationen (Cocktail-Effekt) schwer abschätzbar

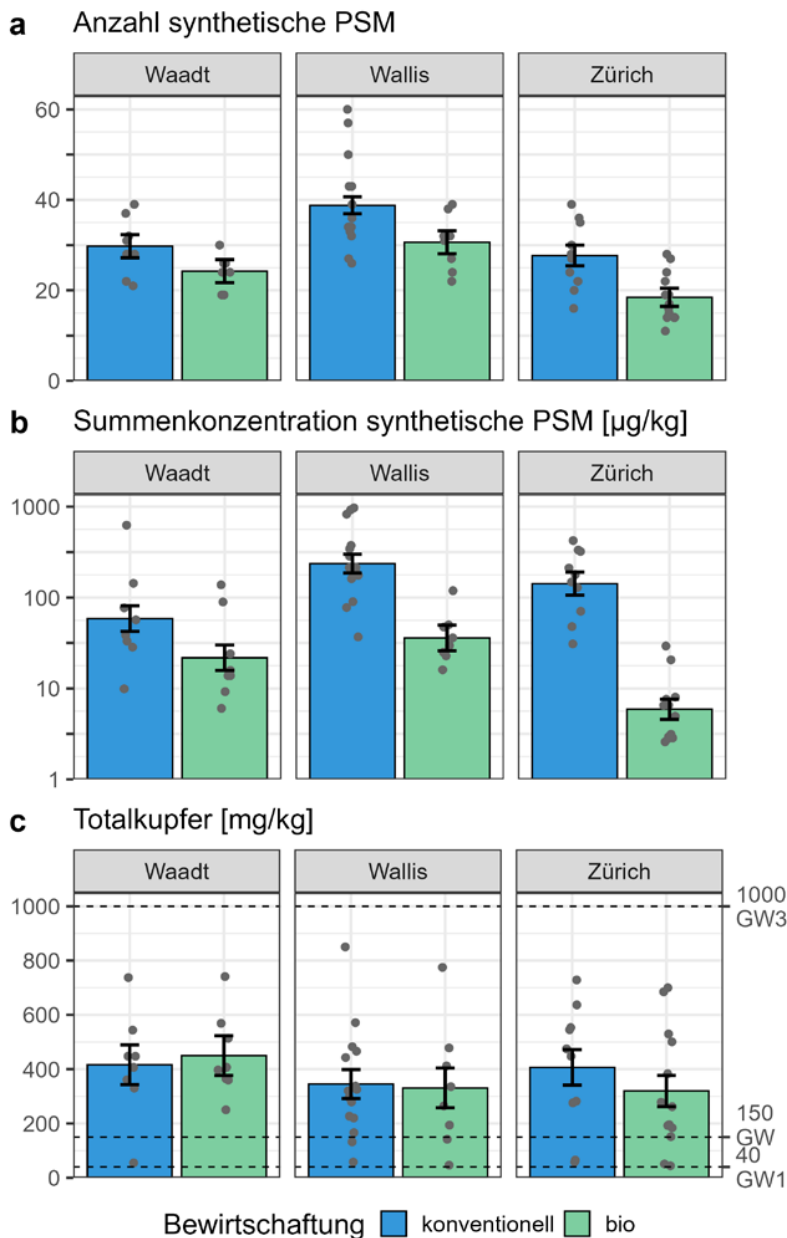


Abbildung 3: a) Anzahl der synthetischen Pflanzenschutzmittel, b) Summenkonzentrationen der synthetischen Pflanzenschutzmittel und c) Totalkupferkonzentrationen in Rebbergsböden pro Parzelle, gruppiert nach Region und Bewirtschaftungsform. Dargestellt sind Gruppenmittelwerte, Modellstandardfehler und einzelne Datenpunkte. Zusätzlich sind drei Grenzwerte (GW) für Kupfer markiert: GW1 (40 mg/kg) als Richtwert nach Schweizer Rechtsvorschriften, GW2 (150 mg/kg) nach finnischen Vorgaben (EU-Referenzwert) mit Hinweis auf ein ökologisches Risiko und GW3 (1000 mg/kg) als Sanierungswert nach Schweizer Rechtsvorschrift. In Anlehnung an Barmettler et al., 2025.

tungsformen. Um die Ziele des im Rahmen der parlamentarischen Initiative 19.475 beschlossenen Absenkpfeils Pflanzenschutzmittel zu erreichen, also eine Reduktion der Risiken beim Einsatz von PSM um 50 % bis 2027, sind sowohl politische Massnahmen als auch technische Lösungen erforderlich. Dazu gehört das gezielte Ersetzen hochris-

kanter synthetischer PSM, die Förderung robuster Rebsorten und langfristig eine Abkehr von kupferbasierten PSM. Die Verantwortung dafür liegt bei Forschung, Praxis und Politik gleichermaßen.

Dank

Herzlichen Dank an alle Rebbaubetriebe, die an der Studie teilgenommen haben, sowie an das Weinbauzentrum Wädenswil für die wertvolle Unterstützung bei den Bodenprobenahmen.

Autorenschaft

Lina Egli-Künzler (Agroscope, FG Weinbau Deutschschweiz)
Elias Barmettler (Universität Zürich und Agroscope, FG Pflanzen-Boden-Interaktionen)
Marcel van der Heijden (Agroscope, FG Pflanzen-Boden-Interaktionen)
Andrea Rösch (Agroscope, FG Bodenqualität und Bodennutzung)
Pierre-Henri Dubuis (Agroscope, FG Mykologie)
Kathleen Mackie-Haas (Agroscope, FG Weinbau Deutschschweiz)
Stefanie Lutz (Agroscope, FG Pflanzen-Boden-Interaktionen)
Thomas Bucheli (Agroscope, FG Umweltanalytik)

Quellen

Barmettler, E., van der Heijden, M. G., Rösch, A., Egli-Künzler, L., Dubuis, P. H., Mackie-Haas, K. A., Lutz, S., Bucheli, T. D. (2025). Double the trouble: High levels of both synthetic pesticides and copper in vineyard soils. *Environmental Pollution*, 126356. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2025.126356>
Ballabio, C., Panagos, P., Lugato, E., Huang, J.-H., Orgiazzi, A., Jones, A., Fernández-Ugalde, O., Borrelli, P., Montanarella, L., 2018. Copper distribution in European topsoils: an assessment based on LUCAS soil survey. *Sci. Total Environ.* 636, 282–298. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.268>
Riedo, J., Wettstein, F.E., Rösch, A., Herzog, C., Banerjee, S., Büchi, L., Charles, R., Wächter, D., Martin-Laurent, F., Bucheli, T.D., Walder, F., Van der Heijden, M.G.A., 2021. Widespread occurrence of pesticides in organically managed agricultural soils—the ghost of a conventional agricultural past? *Environ. Sci. Technol.* 55 (5), 2919–2928. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c06405>
Rösch, A., Wettstein, F.E., Wächter, D., Reininger, V., Meuli, R.G., Bucheli, T.D., 2023. A multi-residue method for trace analysis of pesticides in soils with special emphasis on rigorous quality control. *Anal. Bioanal. Chem.* 415 (24), 6009–6025. <https://doi.org/10.1007/s00216-023-04872-8>
VBB (2016). Verordnung vom 1. Juli 1998 über Belastungen des Bodens (Stand am 12. April 2016). SR 814.12. Bern: Schweizerische Eidgenossenschaft.