

Den Boden schützen und standortgerecht nutzen

Autoren: Robert Baur, Marcel van der Heijden, Florian Walder, Thomas Keller, Reto Meuli, Raphael Wittwer

Frühjahr 2019

Der Boden spielt eine vielfältige Rolle in Agrarökosystemen. Er speichert Wasser und Nährstoffe, bindet CO₂, filtert Trinkwasser, dient als Standort für Kulturpflanzen und beherbergt eine enorme Vielfalt und Vielzahl von Organismen. Folglich beeinflusst der Boden, direkt und indirekt, viele der in anderen strategischen Forschungsfeldern bearbeiteten Forschungsfragen (zum Beispiel SFF2 Anbausysteme, SFF5 Pflanzenschutz, SFF8 mikrobielle Diversität, SFF14 Ökoeffizienz der Landwirtschaft, SFF16 Biodiversität und SFF17 Klima). Die Erhaltung von Fruchtfolgeflächen, eine nachhaltige Bodenbewirtschaftung und die Bedeutung des Bodens für die Biodiversität finden aktuell sehr viel politische Beachtung. Die Forschung im SFF 15, welche darauf abzielt, die notwendigen Erkenntnisse für die damit verbundenen Herausforderungen zu liefern, ist entsprechend gefordert.

Neue Erkenntnisse und Fortschritte

Das Projekt Bodenstruktur untersucht die Wechselwirkungen zwischen Bodenstruktur und Bodennutzung sowie standortbezogene Folgen der Belastung für Bodenqualität und Bodenfunktionen. Ein integraler Bestandteil des Projektes ist der als «Soil structure observatory» (SSO) bezeichnete Langzeitfeldversuch, der seit 2014 die Auswirkungen der durch intensive Bewirtschaftung verursachten Bodenverdichtung untersucht. Dieser Versuch konnte nun zeigen wie sich Verdichtung auf den mechanischen Widerstand im Boden, das Wurzelwachstum, und daraus ableitend auf den Zugang zu Ressourcen (wie Wasser) für Pflanzen auswirkt und letztlich den Ertrag senkt. International Beachtung gefunden hat ein auf den Messungen im SSO beruhender Artikel, der neue Wege aufgezeigt, wie geophysikalische Methoden für die Charakterisierung der Bodenstruktur und der Dynamik ihrer Veränderung genutzt werden können.

Im Projekt Ökologisches Boden-Engineering untersuchen wir kulturtechnische Möglichkeiten, um die Ökosystemfunktionen des Bodens zu verbessern. Die Untersuchungen finden einerseits im Rahmen des Langzeit-Versuch FAST (FARming System and Tillage experimenT Agroscope) statt und andererseits durch Beprobung von über 200 Felder auf Praxisbetrieben in der Schweiz und in Europa. Untersucht wird wie Komposteinsatz, Diversifizierung der Fruchtfolge und biologische Bewirtschaftung die Bodenqualität, die Bodenbiodiversität und die Bodenfruchtbarkeit beeinflussen. Sowohl im FAST Versuch, wie auch in den beprobten Feldern der Praxis hat sich gezeigt, dass Biobewirtschaftung im Durchschnitt etwa 20% bis 30% tiefere Erträge ergibt, dass aber Böden unter biologischer Bewirtschaftung eine höhere Biodiversität aufweisen. Molekulare Analysen zeigten, dass mikrobielle Netzwerke in Bioböden besser integriert und vernetzt sind. Bioböden im FAST waren weniger erosionsanfällig als konventionell bewirtschaftete. Eine weltweite Meta-Analyse zeigte, dass die Ertragsstabilität von landwirtschaftlichen Kulturen in biologisch bewirtschafteten Parzellen geringer ist. Der Einsatz von Gründüngern und höhere Düngung können diese Ertragsstabilität aber erhöhen. Im FAST-Versuch hat Agroscope in Zusammenarbeit mit der ETHZ zudem mittels einer Trockenheitssimulation die Thematik längerer Dürreperioden aufgrund von klimatischen Veränderungen aufgegriffen. Diese Fragestellung ist 2018 auch bei diversen Medien auf grosses Echo gestossen. Insgesamt liefern die Erkenntnisse aus FAST und den Betriebsnetzwerken Hinweise zu Indikatoren für die biologische Bodenqualität und Massnahmen für ein nachhaltiges Bodenmanagement. Trade-offs zwischen Ertrag und Nachhaltigkeit können getestet werden und es zeigt sich, welche Massnahme unter Praxisbedingungen genutzt werden können, um die Bodenqualität zu verbessern, CO₂ zu speichern, die Bodenbiodiversität zu fördern oder die Erosion zu reduzieren.

Das Projekt Bodenbiologie und Rhizosphärenmikrobiome untersucht die Prozesse und Funktionen der mikrobiologischen Gemeinschaft (Mikrobiome) im Boden und sucht nach Möglichkeiten Mikrobiome so zu beeinflussen, dass Bodenfruchtbarkeit und damit der pflanzenbauliche Ertrag gesteigert werden können. 2018 konnte gezeigt werden, dass Feldimpfungen mit Mykorrhiza-Pilzen den Mais-Ertrag bis zu 30% erhöhen können.

Allerdings wurde auf einem Drittel der Parzellen kein Ertragseffekt gefunden und nun gilt es herauszufinden, unter welche Bedingungen Impfungen nützen. Wissenschaftlich viel beachtet wurde ein Konzept, das die Mikrobiome im Boden anhand von «keystone species» charakterisiert.

Mit Forschungsarbeiten zur Thematik von Pflanzenschutzmittel (PSM)-Rückständen im Boden reagiert das SFF 15 auf Zielsetzungen und Massnahmen im Rahmen des Aktionsplanes Pflanzenschutzmittel des Bundes. Die Nationale Bodenbeobachtung NABO wurde mit der Etablierung eines nationalen Monitorings der PSM-Rückstände in landwirtschaftlichen Böden beauftragt und hat dazu 2018 wesentliche konzeptionelle und methodische Grundlagen geschaffen. In einem neuen Projekt werden ab 2018 die Einflüsse von PSM auf die Bodenbiodiversität und auf Bodenfunktionen untersucht. Erste Resultate werden 2019 erwartet.

Die NABO erfasst und beurteilt schweizweite Bodenbelastungen und ermöglicht die Früherkennung von Gefährdungen der Bodenfruchtbarkeit. Im Rahmen dieser Arbeit konnte A. Keller als Erstautor und Koordinator der Teilsynthese IV «Bodeninformations-Plattform Schweiz (BIP-CH)» des NFP 68 «Nachhaltige Nutzung der Ressource Boden» eine Vision für die Erarbeitung des dringend notwendigen Bodeninformationssystems in der Schweiz beitragen. Das Werk ist ein Meilenstein im Hinblick auf die Verständigung von Bodenkundlern, Raumplanern und Politikern und stellt die wissenschaftliche Arbeit von Agroscope im besten Licht dar. Zu 30 Ackerstandorten des NABO-Referenzmessnetzes zeigt der Verlauf des Gehaltes an Bodenkohlenstoff von 1990 bis 2014 standortspezifisch leichte Zu- resp. Abnahmen. Insgesamt aber bleibt der Bodenkohlenstoffgehalt in den Oberböden (0-20 cm) stabil. Für das von EUROSSTAT durchgeführte Projekt LUCAS (Land Use and Cover Area frame Survey), ein Monitoring von Landnutzungsänderungen auf europäischer Ebene, wurden Daten zur Qualitätssicherung bei der Probenahme beigesteuert.

Nutzen für die Politikberatung und die Praxis

Mit dem neuen webtool www.humusbilanz.ch (www.bilan-humique.ch) kann abgeschätzt werden, ob die Bewirtschaftung den Humusgehalt fördert, erhält oder ob ein Risiko für Humusbilanzverlust besteht. Der «Humusbilanzrechner» richtet sich in erster Linie an die landwirtschaftliche Praxis und Beratung sowie die Vollzugsorgane und wird ab 2019 in BLW-Ressourcenprojekten genutzt.

Terranimo® (www.terranimo.world) ist ein webtool zur Beurteilung des Bodenverdichtungsrisikos beim Einsatz von landwirtschaftlichen Fahrzeugen. Die Technologie von Terranimo® wurde modernisiert, was die Benutzung auf Smartphones und Tablets erleichtert.

Der «Soil structure observatory» Langzeitfeldversuch zeigt, wie lange die Regeneration von Bodenstruktur und Bodenfunktionen nach einer Verdichtung dauert, womit auch die Kosten einer Bodenverdichtung besser quantifiziert werden können.

Der FAST Versuch liefert vor Ort anschaulich wichtige Informationen über ein nachhaltiges Bodenmanagement, was bei Besichtigungen an die landwirtschaftliche Praxis und Beratung weitergegeben werden konnte.

Der im Dezember 2018 veröffentlichte Bodenkartierungskatalog CH zeigt erstmals den von Bund und Kantonen geforderten vollständigen Überblick über die Bodenkartierungsprojekte in der Schweiz (siehe <https://nabodat.ch/index.php/de/service/bodenkartierungskatalog/karte>)

NABODAT liefert Standards und Erfassungsvorlagen für Vollzug, Bodendauerbeobachtung und Bodenkartierung <https://www.nabodat.ch/index.php/de/service/erfassungsvorlagen>

Agroscope Science Publikation der Ergebnisse und Handlungsempfehlungen zuhanden der Kantone betreffend bodenbiologischen Erhebung an 30 NABO-Standorten 2012-2016.

Der Aufbau eines Monitorings für Pflanzenschutzmittel in Böden entspricht einer Massnahme im Aktionsplan Pflanzenschutzmittel des Bundes. Die Arbeiten zum Einfluss von PSM auf die Bodenmikroorganismen liefern die Grundlagen für den im Aktionsplan geforderten Indikator «Einfluss von PSM auf Bodenfruchtbarkeit».

Publikationen (Auswahl)

Hug A.-S., Gubler A., Gschwend F., Widmer F., Oberholzer, H.R., Frey, B., Meuli R. G. 2018. NABObio - Bodenbiologie in der Nationalen Bodenbeobachtung. Ergebnisse 2012-2016, Handlungsempfehlungen und Indikatoren. Agroscope Science Nr. 63, S. 55.

Jaffuel, G., R. Blanco-Pérez, A.-S. Hug, X. Chiriboga, R.G. Meuli, F. Mascher, T.C.J. Turlings, R. Campos-Herrera. 2018. The evaluation of entomopathogenic nematode soil food web assemblages across Switzerland reveals major differences among agricultural, grassland and forest ecosystems. Agriculture, Ecosystems and Environment 262, 48-57.

Meuli R. G., Gubler A., Mayer J., Zimmermann S., Schellenberger A. 2018. Soil carbon. In: National Climate Observing System - Global Climate System (GCOS Switzerland). Hrsg: Federal Office of Meteorology and Climatology MeteoSwiss, Zurich-Airport. S. 72-73.

- Hug A.-S., Gschwend F., Widmer F., Gubler A. 2018. Hug A.-S., Gschwend F., Widmer F., Gubler A., Keller A. and R. Della Peruta. 2018. Regionales Boden-Monitoring-Tool für nachhaltige Stoffkreisläufe auf landwirtschaftlich genutzten Böden. Agrarbericht 2018. BLW.
- Wiggenhauser M., Bigalke M., Imseng M., Keller A., Rehkämper M., Wilcke W., Frossard E. Using isotopes to trace freshly applied cadmium through mineral phosphorus fertilization in soil-fertilizer-plant systems. *Science of the Total Environment*, 648.
- Imseng M., Wiggenhauser M., Keller A., Müller M., Rehkämper M., Murphy, K., Kreissig K., Frossard, E, Wilcke, W, Bigalke M. 2018. Fate of Cd in agricultural soils: A stable isotope approach to anthropogenic impact, soil formation and soil-plant cycling. *Environmental Science & Technology*, 52.
- Stumpf F., Keller A., Schmidt K., Mayr A., Gubler A., Schaepman M. 2018. Spatio-temporal land use dynamics and soil organic carbon in Swiss agroecosystems. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 258.
- Wiggenhauser M., Bigalke M., Imseng, Keller A., Frossard E., Wilcke W., Bigalke M. 2018. Zinc isotope fractionation during grain filling of wheat and a comparison of Zn and Cd isotope ratios in identical soil-plant systems. *New Phytologist*, 219.
- Imseng M., Wiggenhauser M., Keller A., Müller M., Rehkämper M., Murphy K., Kreissig K., Frossard, E, Wilcke, W, Bigalke M. 2018. Towards an Understanding of the Cd Isotope Fractionation during Transfer from the Soil to the Cereal Grain. *Environmental Pollution*, 244.
- Keller A., Schulin R. 2018. Stoffhaushalt von Landwirtschaftsböden. In: Bodenschutz für die Praxis, UTB-Band 4820. Haupt Verlag Bern.
- Keller A., Franzen J., Knüsel P., Papritz A., Zürrer M. 2018. Bodeninformations-Plattform Schweiz (BIP-CH). Thematische Synthese TS4 » im NFP68.
- Nussbaum M., Burgos S., Keller A., Carizzoni M., Papritz A. 2018. Bodeninformationssysteme und (digitale) Bodenkartierung in Europa: Was kann die Schweiz davon lernen? Bericht Fokusstudie, Nationales Forschungsprogramm NFP 68 "Ressource Boden".
- Greiner M. L., Nussbaum M., Papritz A., Fraefel M., Zimmermann S., Schwab P., Grêt-Regamey A., Keller A. 2018. Uncertainty indication in soil function maps – transparent and easy-to-use information to support sustainable use of soil resources. *Soil*, 4.
- Hepperle E., Keller A., Tobias S. 2018. Raumplanung für einen haushälterischen Umgang mit Boden. In: Bodenschutz für die Praxis, UTB-Band 4820. Haupt Verlag Bern.
- Helming K., Keller A., Krebs R. 2018. Bodenschutzkonzept. In: Bodenschutz für die Praxis, UTB-Band 4820. Haupt Verlag Bern.
- Keller A., Greiner M. L. 2018. Bodenfunktionen. In: Bodenschutz für die Praxis, UTB-Band 4820. Haupt Verlag Bern.
- Keller A., Greiner M. L., Hepperle E. 2018. Das Leistungsvermögen der Böden bewerten. In: Bodenschutz für die Praxis, UTB-Band 4820. Haupt Verlag Bern.
- Wittwer, R.A., Dorn, B., Jossi, W., Van Der Heijden, M.G., 2017. Cover crops support ecological intensification of arable cropping systems. *Scientific reports* 7, 41911.
- Prechsl, U.E., Wittwer, R., van der Heijden, M.G., Lüscher, G., Jeanneret, P., Nemecek, T., 2017. Assessing the environmental impacts of cropping systems and cover crops: Life cycle assessment of FAST, a long-term arable farming field experiment. *Agricultural Systems* 157, 39-50.
- Hartman, K., van der Heijden, M.G., Wittwer, R.A., Banerjee, S., Walser, J.-C., Schlaeppli, K., 2018. Cropping practices manipulate abundance patterns of root and soil microbiome members paving the way to smart farming. *Microbiome* 6, 14.
- Knapp S., van der Heijden, M.G.A., (2018) A meta-analysis of yield stability in organic, conventional and conservation agriculture. *Nature Communications* 9 (1), 3632.
- Necpalova, M., Lee, J., Skinner, C., Büchi, L., Wittwer, R., Gattinger, A., van der Heijden, M., Mäder, P., Charles, R., Berner, A., 2018. Potentials to mitigate greenhouse gas emissions from Swiss agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 265, 84-102.
- Seitz, S., Goebes, P., Puerta, V.L., Pereira, E.I.P., Wittwer, R., Six, J., van der Heijden, M.G.A., Scholten, T., 2018. Conservation tillage and organic farming reduce soil erosion. *Agronomy for Sustainable Development* 39, 4.
- Papp, R., Marinari, S., Moscatelli, M. C., van der Heijden, M. G. A., Wittwer, R., Campiglia, E., Radicetti, E., Mancinelli R., Fradgley, N., Pearce B., Bergkvist G., Finckh, M.R., (2018). Short-term changes in soil biochemical properties as affected by subsidiary crop cultivation in four European pedo-climatic zones. *Soil and Tillage Research* 180, 126-136.
- Radicetti, E., Baresel, J. P., El-Haddoury, E. J., Finckh, M. R., Mancinelli, R., Schmidt, J. Thami Alami, I, Udupa, S.M., van der Heijden, M.G.A., Wittwer, R., & Campiglia, E. (2018). Wheat performance with subclover living mulch in different agro-environmental conditions depends on crop management. *European Journal of Agronomy*: 94, 36-45. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.01.011>

- SA Schweizer, B Seitz, MGA van der Heijden, R Schulin, S Tandy (2018) Impact of organic and conventional farming systems on wheat grain uptake and soil bioavailability of zinc and cadmium. *Science of The Total Environment* 639, 608-616.
- Banerjee, S., Schlaeppi, K., van der Heijden, M.G.A., (2018) Keystone taxa as drivers of microbiome structure and functioning. *Nature Reviews Microbiology* 16: 567–576.
- Hu, L., Robert, C., Cadot, S., Zhang, X., Ye, M., Li, B., Manzo, D., Chervet, N., Steinger, T., van der Heijden, M.G.A., Schlaeppi, K., Erb, M., (in press) Root exudate metabolites drive plant-soil feedbacks on growth and defense by shaping the rhizosphere microbiota. *Nature Communications* 9: 2738.
- Zhou, Y., Li, X., Gao, Y., Liu, H., Gao, Y. B., van der Heijden, M. G.A., & Ren, A. Z. Plant endophytes and arbuscular mycorrhizal fungi alter plant competition. *Functional Ecology* 32 (5): 1168-1179.
- Banerjee, S., Thrall, P.H., Bissett, A., van der Heijden, M.G.A., Richardson, A.E. Linking microbial co-occurrences to soil ecological processes across a woodland-grassland ecotone *Ecology and Evolution* 8 (16), 8217-8230.
- Mariotte P., Mehrabi, Z., Bezemer, T.M., De Deyn, G.B., Kulmatiski, A., Drigo, B., Veen C.F., van der Heijden, M.G.A., Kardol, P., (2018) Plant-Soil Feedback: Bridging Natural and Agricultural Sciences. *Trends in Ecology & Evolution* 33: 129-142. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2017.11.005>
- Wagg, C., Dudenhöffer, J.H., Widmer, F. & van der Heijden, M.G.A. (2018) Linking temporal diversity, stability and asynchrony of soil microbial communities. *Functional Ecology* 32: 1280-1292.
- Ramirez, K.S., Knight, C.G., de Hollander, M., Brearley, F.Q., Constantinides, B., Cotton, A., Creer, S., Crowther, T.W., Davison, J., Delgado-Baquerizo, M., Dorrepaal, E., Elliott, D.R., Fox, G., Griffiths, R.I., Hale, C., Hartman, K., Houlden, A., Jones, D.L., Krab, E.J., Maestre, F.T., McGuire, K.L., Monteux, S., Orr, C.H., van der Putten, W.H., Roberts, I.S., Robinson, D.A., Rocca, J.D., Rowntree, J., Schlaeppi, K., Shepherd, M., Singh, B.K., Straathof, A.L., Bhatnagar, J.M., Thion, C. van der Heijden, M.G.A., de Vries, F., (2018). Detecting macroecological patterns in bacterial communities across independent studies of global soils. *Nature Microbiology* 3: 189–196 (2018). doi:10.1038/s41564-017-0062-x
- Dennert, F., Imperiali, N., Staub, C., Schneider, J., Laessle, T., Zhang, T., Wittwer, R., van der Heijden, M.G., Smits, T.H., Schlaeppi, K., 2018. Conservation tillage and organic farming induce minor variations in *Pseudomonas* abundance, their antimicrobial function and soil disease resistance. *FEMS Microbiology Ecology* 94, fiy075.
- Puerta, V.L., Pereira, E.I.P., Wittwer, R., van der Heijden, M., Six, J., 2018. Improvement of soil structure through organic crop management, conservation tillage and grass-clover ley. *Soil and Tillage Research* 180, 1-9.
- Puerta, V.L., Pereira, E.P., Huang, P., Wittwer, R., Six, J., 2019. Soil microhabitats mediate microbial response in organic reduced tillage cropping. *Applied Soil Ecology* 137, 39-48.