

Jahr des Bodens 2015

Umwelt AARGAU



Tragen wir Sorge zu unserem Boden



**Regierungsrat Stephan Attiger,
Vorsteher Departement
Bau, Verkehr und Umwelt**

Beim Spaziergang in der Natur lassen wir unsere Blicke meistens über die Bäume oder das Wasser schweifen; mit etwas Glück erblicken wir ein Eichhörnchen oder einen schönen Vogel. Dem Boden schenken wir dagegen wenig Beachtung – allenfalls, wenn wir Pilze, farbiges Herbstlaub oder heruntergefallene Kastanien sammeln. Und auch dann blicken wir kaum unter die Oberfläche. Dabei ist es gerade dort ausserordentlich spannend. Der Boden ist ein unendlich vielfältiger Lebensraum: Eine Handvoll Erde beherbergt mehr Organismen, als Menschen auf der Erde leben. Dies zeigt, dass der Boden weit mehr ist als die Oberfläche, auf der wir gehen, unsere Strassen und Häuser bauen oder Lebensmittel anpflanzen. Zusätzlich erfüllt der Boden zahlreiche, teilweise wenig bekannte Funktionen: Er speichert Nährstoffe für die Pflanzen, enthält Rohstoffe, verbessert die Wasserqualität, indem er es filtert, speichert das Wasser und trägt so zum Hochwasserschutz bei, hilft das Klima schützen, indem er Kohlenstoff speichert, und er erzählt uns vieles über unsere Natur- und Kulturgeschichte. Kurz: Der Boden bildet unsere wichtigste Lebensgrundlage.

Es gibt also mehr als genug Gründe, der Ressource Boden Sorge zu tragen – nicht nur in qualitativer, sondern auch in quantitativer Hinsicht. In der dicht besiedelten Schweiz ist er zum knappen Gut geworden. Stichworte dazu sind das anhaltende Bevölkerungswachstum, der massiv gestiegene Wohnflächenbedarf pro Kopf und der Ausbau der Verkehrsinfrastrukturen. Entsprechend wächst auch die Siedlungsfläche scheinbar unaufhaltsam – gemäss Bundesamt für Statistik wurde im Schweizer Mittelland zwischen 1985 und 2009 jede Sekunde fast ein Quadratmeter Land überbaut.

Diesem negativen Trend begegnen wir mit einer gezielten Raumplanung, wie sie auch im neuen Richtplan des Kantons Aargau festgeschrieben ist. Demnach sichern Bund, Kantone und Gemeinden Umfang und Qualität der natürlichen Ressourcen und sorgen für einen haushälterischen Umgang mit dem Boden. Eine weitere Zersiedelung der Landschaft verhindern wir, indem wir gezielt Siedlungen nach innen entwickeln sowie bereits gut erschlossene Standorte und bestehende Infrastrukturen effizient und nachhaltig nutzen. Ansonsten laufen wir Gefahr, dass wir den kommenden Generationen regelrecht den Boden unter den Füssen wegziehen.

IMPRESSUM



Sondernummer «Jahr des Bodens 2015»
aus der Reihe UMWELT AARGAU

Die Verantwortung für den Inhalt liegt bei
der jeweils auf der Titelseite jedes Beitrags
aufgeführten Person bzw. Verwaltungsstelle.

Redaktion und Produktion

Dominik Mösch
Redaktor UMWELT AARGAU
Abteilung für Umwelt
Buchenhof, 5001 Aarau
Tel. 062 835 33 60
Fax 062 835 33 69
E-Mail: umwelt.aargau@ag.ch

Nachdruck

Mit Quellenangabe erwünscht. Belegexemplar
bitte an die Abteilung für Umwelt schicken.

Papier

Gedruckt auf hochwertigem Recyclingpapier.

Titelbild

Ein Maulwurf kommt an die Bodenoberfläche.
©EXTREMFOTOS/Fotolia.com

Rückseite Umschlag

Ein Tausenfüssler umwickelt ein Stück Holz
auf dem Boden.
©Myimagine/Fotolia.com

Umweltinformation



Inhaltsverzeichnis

Titel	Autoren	Seite
Tragen wir Sorge zu unserem Boden	Regierungsrat Stephan Attiger	1
Böden im Aargau – eine grosse Vielfalt	Daniel Schaub	5
Regenwurm, Nematoden und Springschwänze	Dominik Mösch	9
10 Jahre Bodenmikrobiologie-Monitoring	Dominik Mösch, Matthias Hunziker	11
Bodenüberwachung mit unterschiedlichen Messnetzen	Thomas Muntwyler	16
Warum bekommen bei Meliorationen immer die anderen die besten Böden?	Thomas Hersche	19
Ein aussergewöhnliches Projekt an einem unüblichen Standort	Martin Zürrer	21
Vorbildlicher Bodenschutz im Wald	Andreas Freuler	25
Spurensuche im virtuellen Wald	Andreas Freuler	28
Bodenschonende Anbauverfahren	Christoph Ziltener	30
Bodenschutz ist Grundwasserschutz	Christoph Mahr	32
Bodendaten sind wichtig für die Hochwasserprognose	Dominik Mösch, Chris Lienert	34
Das archäologische Bodenarchiv unter Druck	Georg Matter, Christoph Reding	37
Boden als geologisches Archiv	Christian Schlüchter	42
Natur- und Bodenschutz: nicht immer konfliktfrei	Thomas Egloff, Dominik Mösch	44
Etablierung einer biologisch wertvollen Riedfläche	Fabian Züst, Martin Zürrer	46
Artenreiche Wiesen durch Bodenabtrag oder Umbruch	Andreina Reutemann, Salome Lauber	50
Neue Magerwiesen im Eichtalboden	Dominik Mösch	53
Neues Feuchtgebiet im Sennemoos	Roland Haab	57



Foto: Abteilung für Umwelt

Tiefgründige Parabraunerde am KABO-Standort 101he auf dem Neulig in Hellikon.

Böden im Aargau – eine grosse Vielfalt

Daniel Schaub | Abteilung für Umwelt | 062 835 33 60

Die meisten Böden im Kanton Aargau entstanden nach dem Ende der letzten Eiszeit und besitzen ein Alter von rund 10'000 Jahren. Böden entwickeln sich gemäss den natürlichen Bedingungen an einem Standort zu unterschiedlichen Typen. Entsprechend unterscheiden sich die Böden in den verschiedenen Landschaften des Aargaus: Flachgründige Rendzinen sind typisch für den Jura, mächtige Parabraunerden dominieren auf dem Lössplateau des Möhliner Feldes und Moorböden kommen in den Talsohlen der Südtäler vor.

Der Boden ist eine faszinierende Schnittstelle in landschaftlichen Ökosystemen. Dort trifft die unbelebte Geologie auf Tiere, Pflanzen und die Atmosphäre.

Am Ende der letzten Eiszeit gab es im Aargau nur noch an wenigen Stellen Böden, denn die Gletscher hatten sie abgehobelt. Nur an geschützten Lagen blieben sie bestehen (siehe Seite 42 in dieser Broschüre). Aber die Gletscher hinterliessen auf ihrem Rückzug auch Ausgangsmaterial für neue Böden: Moränenschutt, Flussschotter und Löss. Durch Sonne, Regen und Frost verwitterte dieses lockere Gestein und wurde zu Erde umgewandelt. Auf dem entstehenden Boden siedelten sich bald spezialisierte Pflanzen an. Ihre Wurzeln stabilisierten das Ganze. Abgestorbene Pflanzenblätter zogen als Nahrung Bakterien, Pilze, Springschwänze, Würmer und andere Bodenlebewesen an. Diese mineralisierten das organische Material und wandelten es in dunkelfarbigem Humus um.

Ein Boden hat Profil

Verwitterung, Erosion, Auswaschung und Mineralisierung geben dem Boden im Laufe der Jahrtausende ein Profil. Es besteht aus einer typischen Abfolge von Schichten mit unterschiedlicher Farbe und Struktur. Um Bodenschichten von den geologischen Schichten zu unterscheiden, werden sie als Horizonte bezeichnet. Die Prä-

gung des Bodens in Horizonte wird bestimmt durch die an einem Standort vorgegebenen Eigenschaften wie Ausgangsgestein, Relief, Klima, Wassergehalt und Nutzung. Mit anderen Worten: Wird ein Boden gestört, entwickelt er sich danach wieder auf seinen standorttypischen Zustand hin.

Boden hat daher viele Gesichter. Er lässt sich aufgrund seiner Merkmale systematisieren, ähnlich wie Pflanzen und Tiere in Arten eingeteilt werden. Eine Grobeinteilung der Horizonte erfolgt mit Grossbuchstaben – A: Oberboden, B: Unterboden, E: Auswaschungsboden, S: Stauwasserboden

usw. Die zusätzliche Feinabstufung erhält Kleinbuchstaben – h: humos, c: kalkhaltig, r: reduziert, t: tonig usw.

Die Bodendiversität des Aargaus

Der Aargau gliedert sich landschaftlich in die beiden Grossräume Jura im Norden und die Molasse-Hügel des Mittellands im Süden. Voneinander getrennt und auch intern zerschnitten werden diese beiden Landschaftseinheiten durch die flachen Flusstäler von Aare, Reuss, Limmat und Rhein. Diese landschaftliche Anordnung bestimmt auch die Entwicklung der verschiedenen Bodentypen im Aargau.

Die **Rendzina** ist der typische Jura-Boden. Charakteristisch ist das Fehlen eines Unterbodens, denn das im Jura häufige Kalkgestein verwittert fast vollständig und hinterlässt somit nur wenig mineralisches Bodenmaterial. Wegen dieser Flachgründigkeit vermögen Rendzinen nur gering Wasser zu speichern und sie eignen sich beschränkt für den Ackerbau. Dies belegt schon der aus dem Polnischen kommende Name dieses Bodentyps, der das «Rauschen» der Steine beim Pflügen solcher Böden beschreibt.



Foto: Daniel Schaub

Die Rendzina (Profil in Wittnau) entsteht aus der Verwitterung von Kalkgestein. Ein dunkler, humoser und gut gekrümelter Oberboden liegt direkt auf dem Ausgangsgestein.

Die **Braunerde** ist der typische Boden des aargauischen Mittellandes und der Flusstäler. Der Name leitet sich aus dem braun gefärbten mineralischen Unterboden ab, der übergangslos auf den humosen Oberboden folgt. Diese Färbung stammt von dem bei der Bodenentwicklung gebildeten Eisenoxid Goethit. In den Braunerden der Subtropen und Tropen wird dagegen Hämatit gebildet, was diesen Böden ein leuchtendes Rot gibt. Braunerden erreichen Mächtigkeiten bis zu 100 Zentimeter. Dadurch besitzen sie ein grosses Wasserspeichervermögen und sind gute Ackerböden.

Die **Parabraunerde** entwickelt sich aus der Braunerde weiter. Bei leichter Versauerung des Unterbodens werden feine Tonteilchen aus der Bodenmatrix gelöst und mit dem Sickerwasser in den unteren Teil des B-Horizonts verfrachtet. Dadurch entsteht eine neue Profilabfolge. Parabraunerden sind die besten Ackerböden des Aargaus, denn die Tonabnahme oben erleichtert die Bodenbearbeitung und die Tonanreicherung unten vergrössert die Kapazität zur Wasserspeicherung. Allerdings verringert sich dadurch auch die Strukturstabilität, wodurch Parabraunerden anfälliger auf Erosion sind.

Zunehmende Tonanreicherung im Unterboden hemmt die Versickerung des Regenwassers und führt zur Entwicklung eines stauwasser geprägten **Pseudogleys**. Sein Unterboden erhält eine ausgeprägte Marmorierung mit rötlichen und grauen Flecken. Graue Bereiche zeigen Vernässungen und dadurch bedingte reduzierende Verhältnisse an. In trockenen Jahren können Pseudogleye für lange Zeit Wasser an die Pflanzen liefern, in normalen und nassen Jahren wird das Pflanzenwachstum jedoch durch die Vernässung limitiert. Die Entwicklung zu einem Pseudogley kann auch durch Bodenverdichtung nach unsachgemässer Bewirtschaftung einsetzen.



Die Braunerde (Profil in Hirschthal) entsteht aus gut durchlässigem, sandig-lehmigem Moräne- und Molassegestein oder Auelehmen. Der Übergang zwischen A- und B-Horizont ist gleitend und weniger an der Farbe, als an der Struktur der Bodenteilchen erkennbar. Braunerden sind wirtschaftlich sehr produktive Böden.

Die Parabraunerde entwickelt sich auf gut durchlässigen Böden bei fortschreitender Versauerung des Unterbodens. Die Tonauswaschung im oberen Teil des Unterbodens ist am helleren Braunton zu erkennen. Parabraunerden bedecken grossflächig die Lössgebiete des Möhliner Feldes oder des Ruckfeldes sowie kleinräumiger die Schotterterrassen der Flusstäler.

Pseudogleye entwickeln sich durch die zeitweise Vernässung aus Parabraunerden. Die Marmorierung des Profils in Sarmentorf zeigt Bereiche mit oxidierenden (rötliche Flecken) und reduzierenden (graue Flecken) Verhältnissen.

Im Gegensatz zum Pseudogley ist der **Gley** nicht durch Stauwasser, sondern durch hochstehendes Grundwasser geprägt. Es bildet sich daher im Unterboden ein durchgehender, grau gefärbter Reduktionshorizont. Wegen der Grundwasserschwankung und der unterschiedlichen Löslichkeit der Eisenoxide findet sich darüber meist ein durchgehend rötlich-brauner Horizont. Das Entstehen eines Gleys ist nicht an das Ausgangsgestein gebunden, sondern an die hydrogeologischen Verhältnisse und das Relief (beispielsweise eine Muldenlage).

Schotter- und Moränenablagerungen im aargauischen Mittelland sind je nach Alter und Zusammensetzung unterschiedlich dicht gelagert. Dies beeinflusst den regionalen Wasserhaushalt und die Entwicklung der Böden. Ein Beispiel ist die Talsohle des Bünztals, wo der Gletscher nach seinem Rückzug hinter dem Moränenwall zwischen Boswil und Bünzen einen flachen See zurückliess, der mit der Zeit

verlandete. Die Abdichtung durch eingetragene Feinsedimente führte in dieser Geländesenke zur Entstehung eines ausgedehnten Moorgebietes. Moorböden bilden sich aus abgestorbenen Torfmoosen. Wegen der starken Vernässung ist der Abbau stark vermindert. **Moorböden** haben daher einen sehr hohen organischen Gehalt, was sich an der schwarzen Farbe zeigt. Zudem besitzen sie eine lockere Struktur. Im Bünztal wurden die Moorböden zur Torfgewinnung (Brennstoff) bis in die 60er-Jahre des letzten Jahrhunderts grossflächig bis auf den lehmigen Untergrund abgebaut.

Der Boden ist ein Lebewesen

Der Boden lebt. Die meisten Bodenlebewesen sind zu klein, um sie mit blossen Augen zu erkennen. Durch ihre enorme Vielfalt und Masse werden wir solche Lebensgemeinschaften nie vollständig erfassen können. In ihrem Zusammenwirken bilden sie selbst einen Organismus, der Wasser

und Nährstoffe aufnimmt, umwandelt, speichert und wieder verteilt.

Böden sind Individuen. Die Unterschiede zwischen einer Rendzina, einer Parabraunerde und einem Moorboden sind riesig. Böden bilden damit einen Teil der Biodiversität.

Böden reifen und altern. In unseren Klimaverhältnissen geht die Entwicklung von Braunerden zu Parabraunerden und Pseudogleyen. Böden steuern damit auch die Entwicklung (Sukzession) der auf ihnen wachsenden Pflanzengemeinschaften.

Böden besitzen eine enorme Widerstandsfähigkeit (Resilienz). Sie sind perfekt an ihre Umwelt angepasst. Wo einst die Römer für ihre Grenzbefestigung (Limes) in Mitteldeutschland riesige Erdverschiebungen ausführten, haben sich längst wieder standorttypische Parabraunerden entwickelt. Eingriffe wie Aufschütten, Entwässern und Abhumusieren können daher nie nachhaltig sein.



Gleye (Profil in Abtwil) besitzen eine grundwassergeprägte Horizontabfolge mit rostfarbigem Oxidations- und grauem Reduktionshorizont. Der Oberboden hat einen hohen organischen Anteil, was zur fast schwarzen Bodenfarbe in den obersten Bereichen führt.



Foto: Daniel Schaub

Letzter Überrest des drei bis fünf Meter mächtigen Moorbodens in Boswil, der über Seebodenlehm und Moränenmaterial entstanden war.

Regenwurm, Nematoden und Springschwänze

Dominik Mösch | Abteilung für Umwelt | 062 835 33 60

Der Boden ist ein vielfältiger Lebensraum mit einer aussergewöhnlichen Biodiversität. Pro Hektare leben alleine in den obersten 30 Zentimetern bis zu 15 Tonnen Bodenorganismen und die Artenvielfalt ist einiges höher als beispielsweise im oberirdischen Teil eines Waldes. Bodenflora und -fauna sowie das Zusammenspiel aller Organismen beeinflussen die Bodenbildung und eine Vielzahl von Bodenprozessen und -funktionen. Exemplarisch werden im Folgenden Regenwurm, Nematoden und Springschwänze vorgestellt.

Die Lebenswelt im Boden hält wichtige Stoff- und Nährstoffkreisläufe der Erde in Gang. Sie ist damit eine wichtige Grundlage für die Bodenfruchtbarkeit, aber auch für viele weitere Leistungen des Bodens. Bodenorganismen sind im öffentlichen Bewusstsein nur wenig präsent. Einen Regenwurm kennt zwar jedes Kind und Schädlinge, welche die Wurzeln angreifen, machen Pflanzen sowie Landwirten das Leben schwer. Der Grossteil der Bodenorganismen lebt aber weitestgehend unerkannt und unbekannt unter unseren Füßen. Diese unscheinbaren Lebewesen sind enorm zahlreich. In einem Gramm Boden leben 100 Millionen Bakterienzellen, 50'000 Bakterienarten, 1000 Fadenwürmer, 200 Meter Pilzfäden und 30'000 Einzeller.

Der Regenwurm, der Bodenmacher

Regenwürmer sind für fruchtbare und vitale Böden unverzichtbar. Ihr Appetit ist immens: Regenwürmer verschlingen pro Tag bis zur Hälfte ihres Eigengewichts an Nahrung. Auf ihrer Menükarte stehen vor allem Abfallprodukte der Natur wie Pflanzenreste, Ernterückstände, Laub und morsches Holz. Da die Würmer keine Zähne haben, sind sie auf Hilfe angewiesen. Erst wenn Pilze und Bakterien das organische Material zersetzt haben, können die Regenwürmer die Pflanzenreste in ihre Speiseröhre saugen.

Zusammen mit dem organischen Material nehmen die Regenwürmer auch Mineralerde auf. In ihrem Darm vermischt sich dann das Ganze mit Bakterien und Pilzen. Als schlechte Futterverwerter scheiden die Regenwürmer einen grossen Teil davon unverdaut wieder aus. Die Wurmlosung ist ein hochkonzentrierter Dünger, der fünfmal mehr Stickstoff, siebenmal mehr Phosphor und elfmal mehr Kalium als die umgebende Erde enthält. Zudem finden sich in der Losung sogenannte Ton-Humus-Komplexe, die wie ein Kitt wirken und den Boden vor Erosion schützen.

Stetig fressend und grabend tragen die Regenwürmer zur Lockerung des Bodens bei. Bis zu 150 Gänge oder 900 Meter Röhren pro Kubikmeter finden sich in einem ungepflügten Ackerboden. Die Tunnelsysteme sorgen für eine gute Durchlüftung und eine ideale Wasserversorgung des Erdreichs. So sickert Regenwasser schneller ein und die Gefahr, dass bei starkem Regen die oberste Schicht des Bodens weggeschwemmt wird, ist bedeutend kleiner als dort, wo es keine oder nur wenige Regenwürmer gibt.

Regenwürmer spielen zudem eine wichtige Rolle bei der Regulation von Bodenschädlingen, weil sie nützliche Organismen wie Fadenwürmer und Pilzsporen, die zum Beispiel Engerlinge abtöten, im Boden verbreiten. In Obstplantagen ziehen sie mit dem abgefallenen Laub auch Schadorganismen wie Apfelschorf, Rotbrenner (auf Reben) oder Insekten, welche die Blätter angreifen, in den Boden hinein. Sogar im Tod erweisen die Regenwürmer ihre guten Dienste: Sie sind wichtige Eiweisslieferanten für Vögel, Spitzmäuse, Dachse und Ameisen, und sie stärken mit ihrem Stickstoffeintrag die



Foto: Dominik Mösch



Foto: Dominik Mösch

Auf dem Foto links sieht man einen Schaukasten mit Boden und drei Sandbändern. In diesem Kasten leben keine Regenwürmer. Der Kasten rechts ist mit Regenwürmern belebt, die den Boden durchmischen. Dies zeigt sich deutlich an den nicht mehr intakten Sandbändern und den zahlreichen Wurmgängern.



Foto: Heitz und Hans-Jürgen Koch

Das Kopfende des Gemeinen Regenwurms, *Lumbricus terrestris*, schaut aufgerichtet aus dem Erdboden.



Foto: Steve Hopkin/
www.stevehopkin.co.uk

Der *Tomocerus minor* ist eine weltweit verbreitete Springschwanz-Art. Manche Individuen erreichen eine Körperlänge von bis zu 4,5 Millimetern. Am liebsten besiedelt er feuchte, schattige Streuschichten, wo er sich von abgefallenem Laub und Pflanzenresten ernährt.

Fruchtbarkeit des Bodens: Ein toter Regenwurm enthält bis zu 10 Milligramm Stickstoff. Auf einem gesunden Wiesenboden mit 400 Würmern pro Quadratmeter werden so 30 bis 40 Kilogramm Stickstoff pro Hektare und Jahr freigesetzt. Das entspricht ungefähr der Stickstoffdüngung einer wenig intensiv bewirtschafteten Wiese.

Die Nematoden, die Schädlingsbekämpfer

Verletzte Maiswurzeln senden chemische Hilferufe aus, um die Feinde ihrer Feinde anzulocken. Die natürlichen Feinde des Maiswurzelbohrers sind winzige Fadenwürmer – sogenannte Nematoden. Die knapp ein Millimeter grossen Würmer dringen durch Körperöffnungen in die Larven der schädlichen Käfer ein und setzen dort Bakterien frei. Diese Mikroben vermehren sich daraufhin rapide und töten die Larven ab.

Mit mehr als 20'000 Arten sind Fadenwürmer die grösste Gruppe unter den vielzelligen Tieren und ein wichtiger Bestandteil des Bodenlebens. Je nach Art nutzen sie unterschiedliche Futterquellen im Boden. Sie ernähren sich von Pflanzenteilen und Algen oder la-

ben sich an Bakterien oder an Pilzen, deren Stickstoffe sie in pflanzenverfügbare Form wieder freisetzen. Im Gartenbau und in der Landwirtschaft werden gezüchtete Fadenwürmer unter anderem zur Bekämpfung von Erdraupen, Nacktschnecken oder Maulwurfsgrillen eingesetzt. Insbesondere im Kampf gegen Wurzelschädlinge bieten sie sich als wirksame und sichere Alternative zu Pestiziden an, die sich im Wurzelbereich weniger gezielt einsetzen lassen.

Die Springschwänze, die Humusproduzenten

Springschwänze reagieren sehr sensibel auf Umweltveränderungen und werden als Indikatoren für verunreinigte Böden genutzt. Wo die winzigen Tierchen fehlen, ist in der Regel auch die Bodenfruchtbarkeit beeinträchtigt, denn die Springschwänze zählen zu den wichtigsten Humusproduzenten. Sie zernagen Laub und anderes pflanzliches sowie tierisches Material. Damit sind diese kleinen Bodenlebewesen wesentlich an der Bildung von Humus beteiligt. Mit ihrer kulinarischen Vorliebe für Pilze, Algen und Bakterien sorgen einige Springschwanzarten zudem für ein Gleichgewicht unter den Bodenorganismen.

Von blossen Auge sind Springschwänze kaum zu erkennen, aber sie hinterlassen sichtbare Spuren: beispielsweise winzig kleine Kotballen auf abgefallenen Blättern, die wie schwarze Perlen schimmern. Oder Ringe auf der Wasseroberfläche eines Weihers: Mit ihrer namensgebenden Springgabel am

Hinterleib katapultieren sich die millimeterkleinen, flügellosen Insekten wie auf einem Trampolin über das Wasser. Die Springgabel benutzen sie auch auf dem Land. Wenn Feinde nahen, springen sie kurzerhand aus dem Gefahrenbereich. Bei jenen Arten, die in den tieferen Bodenschichten leben, sind diese Gabeln verkümmert, genauso wie die Augen – die brauchen sie im Untergrund nicht.

Rund 40'000 Springschwänze leben in den obersten 30 Zentimetern eines Quadratmeters Wiesenboden, an feuchten Standorten gar bis zu 100'000.

Die Springschwänze können als Indikatoren der Bodenqualität genutzt werden. Da jede Art einen spezifischen Lebensraum besiedelt, lassen sich anhand ihres Vorkommens und ihrer Individuenzahl unter anderem der Nährstoff- und der Säurezustand eines Bodens ablesen. Springschwänze reagieren zudem äusserst sensibel auf Giftstoffe. Bei ungünstigen Bedingungen suchen sie Orte auf, wo sie sich wohler fühlen und sich besser vermehren können. Das Vermeidungsverhalten der Springschwänze gibt also wichtige Rückschlüsse über die Belastung eines Bodens.

Weitere Informationen zu Bodenlebewesen finden Sie unter www.ag.ch/umwelt > Umweltinformationen > Boden > Jahr des Bodens 2015, sowie unter www.boden2015.ch > Aktuelles > Faktenblätter und www.bodenreise.ch.

Dieser Artikel beruht auf den Faktenblättern zu den drei vorgestellten Arten. Die Faktenblätter sind verfügbar unter www.boden2015.ch > Aktuelles > Faktenblätter.

10 Jahre Bodenmikrobiologie-Monitoring

Dominik Mösch, Matthias Hunziker | Abteilung für Umwelt | 062 835 33 60

Der Boden ist durchsetzt mit einer Menge von Organismen. Sie sind Teil des Bodenökosystems und leisten wertvolle Arbeit. Im Rahmen der kantonalen Bodenbeobachtung führt die Abteilung für Umwelt seit 2005 an ausgewählten Standorten im Kanton bodenmikrobiologische Untersuchungen durch. Die Resultate zeigen den Einfluss von Bodennutzung und abiotischen Bodeneigenschaften auf das Vorkommen und die Aktivität der Bodenmikroorganismen. Umgekehrt kann die Bodenbiologie als Indikator für Veränderungen im Boden herangezogen werden.

Boden ist ein vielfältiger Lebensraum für viele Lebewesen. So leben unter einem Quadratmeter Bodenoberfläche, neben Wirbeltieren wie Maulwürfen oder Mäusen, Dutzende bis Hunderte Regenwürmer, Tausendfüssler, Asseln, Spinnen, Insektenlarven, Schnecken und Käfer. Die Mesofauna – dazu zählen Kleinringelwürmer, Bärtierchen, Rädertierchen, Milben, Springschwänze und Fadenwürmer – kommt mit vielen Tausend Individuen vor. Die Mikroorganismen, beste-

hend aus der Mikrofauna (beispielsweise Amöben und Flagellaten) und der Mikroflora (Bakterien, Pilze und Algen), sind zu Milliarden bis Billionen vertreten und machen dabei 80 bis 90 Prozent der Bodenbiomasse aus.

Der Boden als Teil des Ökosystems erfüllt wichtige Funktionen. Viele dieser Ökosystemleistungen stehen im direkten Zusammenhang mit den Bodenlebewesen. So sind sie massgeblich an folgenden Bodenfunktionen beteiligt:

1. Gemeinsam können sie nahezu alle organischen Verbindungen ab- oder umbauen. Daraus resultiert die Nährstoffverfügbarkeit im Boden.
2. Sie durchwühlen und durchmischen den Boden (Bioturbation) und bilden so das Bodengefüge mit.
3. Sie können Schadstoffe wie Mineralölkohlenwasserstoffe oder polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (organische Schadstoffe) durch eine teilweise oder vollständige Umwandlung abbauen.
4. Sie bilden hochmolekulare Stoffe (Huminstoffe), die für die Nähr- und Schadstoffbindung von Bedeutung sind.
5. Sie beeinflussen die Sauerstoffversorgung im Boden und die damit verbundenen Prozesse.

Die Auflistung zeigt, dass die Bodenlebewesen für die Bodenfruchtbarkeit essentiell sind. Im Rahmen der kantonalen Bodenbeobachtung (KABO) werden seit zehn Jahren bodenmikrobiologische Parameter an ausgewählten Standorten jährlich gemessen. Die Hintergründe der bodenbiologischen Messungen im Kanton Aargau und die Ergebnisse der ersten drei Messjahre wurden im UMWELT AARGAU Nr. 46, November 2009, Seite 21 bis 24, ausführlich beschrieben.

Bodenbiologische Parameter als Indikatoren der Bodenqualität

Der Boden – als Lebensraum der Bodenorganismen – wird auf natürliche Weise und durch menschliches Handeln durch chemische, physikalische und biologische Einflüsse gebildet und verändert. Diese widerspiegeln sich in Vorkommen, Diversität und Aktivität der Bodenlebewesen. Verschiedene Studien haben gezeigt, dass Bodenorganismen sensibel auf Veränderungen ihrer Umwelt reagieren. Aus diesem Grund können sie als Indikatoren für die Bewertung der Bodenfruchtbarkeit genutzt werden. Langjährige bodenbiologische Untersuchungen liefern zudem frühzeitig Hinweise auf schädliche Veränderungen im Boden.



Foto: Eckhard Völcker / www.penard.de

Eine Amöbe (Amoeba proteus) als Vertreterin der Mikrofauna. Als gefräßiger Einzeller umschliesst sie mit ihren «Scheinfüsschen» ihre Beute (hier ein Pflanzenstück) und schliesst sie in eine kreisförmige Nahrungsvakuole ein.

Begriffe

Mikrobielle Biomasse: Die mikrobielle Biomasse ist ein Mass zur Beschreibung des Belebtheits- und Aktivitätszustandes des Bodens. Die Grösse des mikrobiellen Biomassepools ist von verschiedenen Umweltfaktoren abhängig (Klima, Bodeneigenschaften, Bodennutzung und -bewirtschaftung). Die Menge an Mikroorganismen ist eine wichtige Kenngrösse des Bodens, da diese Organismen sowohl für die Abbauleistung des betreffenden Bodens ausschlaggebend sind als auch einen Pool von schnell umsetzbaren Nährstoffen darstellen.

Basalatmung: Analog der menschlichen Atmung entsteht beim Abbau organischer Substanz Kohlenstoffdioxid (CO₂). Das produzierte CO₂ ist ein Mass für die aerobe Atmungsaktivität aller Bodenorganismen. Unter ungestörten Bedingungen stellt sich im Boden ein ökologisches Gleichgewicht zwischen den Organismen und deren Tätigkeit ein. Die Respiration in diesem Zustand wird als Basalatmung bezeichnet. Bei einer Störung des Gleichgewichtes ändert sich die Respiration infolge einer Veränderung der mikrobiellen Biomasse.

Metabolischer Quotient: Dieser Quotient ist ein Mass für die energetische Effizienz einer Mikroorganismengemeinschaft und entspricht dem Verhältnis zwischen Basalatmung und mikrobieller Biomasse, die mit der substratinduzierten Respirationmethode (BM-SIR) gemessen wurde. Der Quotient ist eine Kenngrösse für den physiologischen Zustand der Mikroorganismen und gibt einen Näherungswert für den Erhaltungsbedarf der Mikrobenlebensgemeinschaft eines Bodens an. Je grösser der metabolische Quotient ist, desto mehr Substrat wird zu CO₂ veratmet und desto kleiner ist der Substratanteil, der in die mikrobielle Biomasse eingebaut wird.

Untersuchungsmethoden

An ausgewählten Standorten wird jährlich im Frühling vor dem Start der Vegetationszeit und vor der ersten Düngergabe der Oberboden beprobt. Per Definition beträgt die Beprobungstiefe bei Grünlandstandorten 0 bis 10 Zentimeter und bei Ackerstandorten 0 bis 20 Zentimeter. Die vier Mischproben pro Standort werden von der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART analysiert. Dabei werden die mikrobielle Biomasse, die Basalatmung und der metabolische Quotient bestimmt.

Alle Standorte wurden im Jahr 2006 im Rahmen der KABO-Beprobung übergeordnet beurteilt. Dabei wurden für jeden Standort der Bodenkohlenstoffgehalt, der pH-Wert und die Korngrössenverteilung bestimmt. Auf Basis dieser Parameter und der schweizweit ermittelten Regressionsformel können die mikrobiellen Eigenschaften für die untersuchten Standorte mithilfe von Referenzwerten abgeschätzt werden. Eine Abweichung des Messwertes vom Referenzwert bedeutet, dass andere Standorteigenschaften die Mikrobiologie mitbeeinflussen. Weiter dienen Vergleichswerte aus der Literatur, die auf nationaler Ebene erhoben wurden, zur Bewertung der Resultate der Aargauer Standorte. Die KABO-Standorte werden nach der Nutzungsart (Ackerbau, Grünland) kategorisiert. Die Kategorie «Grünland» enthält zudem noch zwei zusätzliche Standorte (Nr. 303, 305), deren nährstoffreicher Oberboden abgetragen wurde. Sie agieren nun als nährstoffarme Magerstandorte. Die Standorte Nr. 304 und 306 liegen unmittelbar neben den «abhumusierten» Flächen, wurden zum gleichen Zeitpunkt wie die Magerstandorte letztmals umgebrochen und dienen als Vergleichsflächen.

Resultate

Generell zeigen die Resultate, dass die Werte der mikrobiellen Biomasse und der Basalatmung bei den Grünlandstandorten höher liegen als bei den ackerbaulich genutzten Flächen. Das bedeutet, dass die Abbauleistung und die Umsetzungsraten bei den Grünlandstandorten höher sind. Grund da-

Die elf KABO-Standorte und die zwei abhumusierten Standorte mit den dazugehörigen Vergleichsflächen

Kürzel	Ortschaft	Nutzung und Bemerkungen	Anzahl Messungen
100Ob	Obermumpf	Ackerland, Bio	9
101He	Hellikon	Ackerland	10
105Me	Merenschwand	Ackerland	7
121Gr	Gränichen	Ackerland mit viel Kunstwiese in der Fruchtfolge	10
122Ku	Küttigen	Grünland, Magerwiese	10
124Ab	Abtwil	Grünland, organischer Boden	7
153Su	Suhr	Ackerland	9
154Ro	Rohr	Grünland, extensiv	9
156Bö	Bözen	Grünland	10
157Sc	Schinznach	Grünland, Reben	9
158Me	Mettau	Ackerland	3
303Ba_abh.	Baden	Grünland, abhumusiert	7
304Ba_Ref.	Baden	Grünland (Referenz), extensiv	7
305Me_abh.	Merenschwand	Grünland, abhumusiert	5
306Me_Ref.	Merenschwand	Grünland (Referenz), extensiv	5

für ist, dass bei Grünlandstandorten der organische Kohlenstoffgehalt naturgemäss höher ist als bei Ackerstandorten. Wenn also die Menge der Nahrungsgrundlage grösser ist, kommen die Mikroorganismen mengenmässig häufiger vor und produzieren dadurch auch mehr CO₂. Die Resultate der letzten zehn Jahre des metabolischen Quotienten zeigen, dass die Daten der Ackerbaustandorte zwischen den Standorten weniger variieren und tendenziell auf tieferem Niveau liegen als jene der Grünlandstandorte.

Im Vergleich zu den berechneten standortspezifischen Erwartungswerten (Referenzwert) für die Ackerstandorte liegen die gemessenen Werte für die mikrobielle Biomasse und die Basalatmung mit Ausnahme vom Standort Obermumpf (100Ob) generell im statistischen Vertrauensbereich. Der biologische Anbau sowie die günstigen Bodeneigenschaften (guter Kohlenstoffgehalt und pH-Wert) führen beim Standort 100Ob möglicherweise dazu, dass die Messwerte sogar im und über dem Bereich der schweizweit gemessenen Maxima-Werte (Vergleichswerte) liegen.

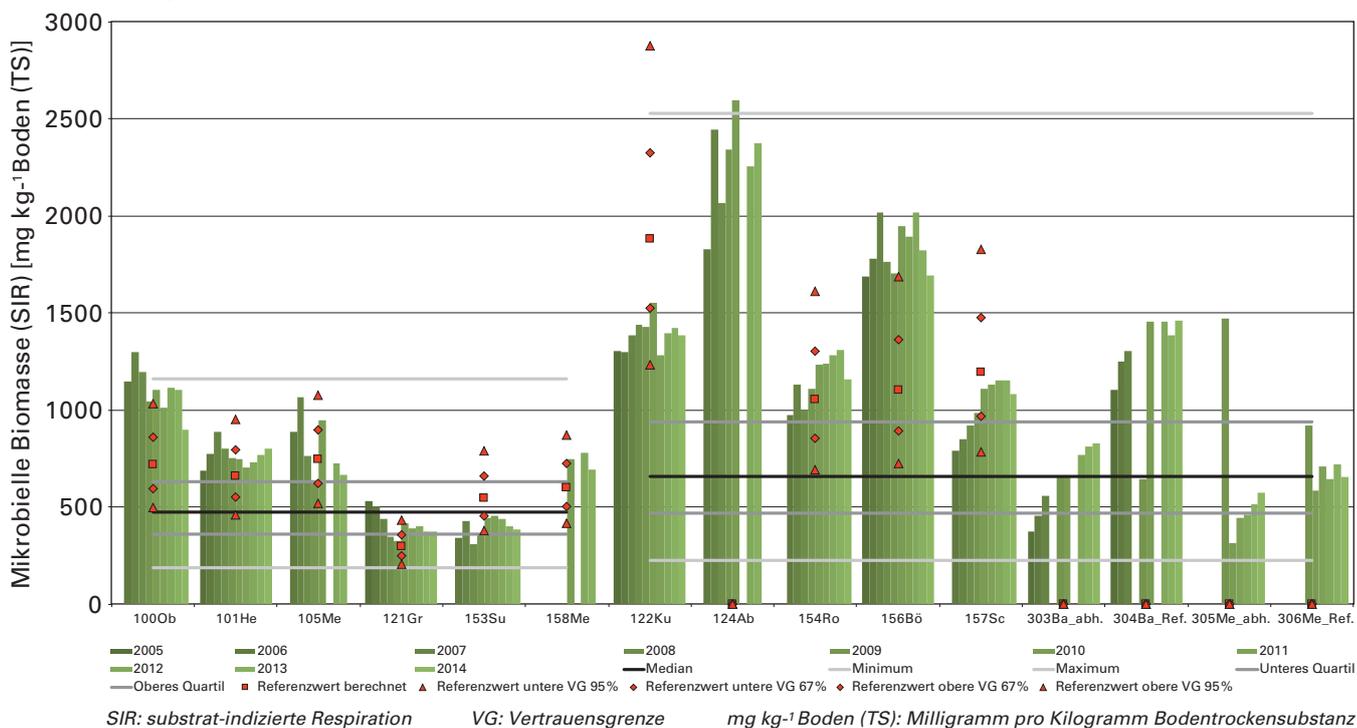
Die Werte der mikrobiellen Biomasse und der Basalatmung von den Grünlandstandorten liegen in den oberen 25 Prozent der Vergleichswerte der Schweiz. Für Grünlandstandorte gibt es im Moment noch keine Referenzwerte, weshalb standortspezifische Erwartungswerte nicht abgeschätzt werden können.

Die Magerwiese von Küttigen (122Ku) ist hinsichtlich des Nährstoffangebots ein Extremstandort. Die Resultate zeigen eine im Vergleich zum standorttypischen Referenzwert tiefe mikrobielle Biomasse und im schweizweiten Vergleich eine überdurchschnittliche Basalatmung auf. Der metabolische Quotient ist während der zehnjährigen Messperiode vergleichsweise hoch. Es scheint, dass die nicht in Massen vorkommenden Mikroorganismen unter diesen äusseren Bedingungen ausharren, dabei eine für sie ungünstige Umsetzungsleistung aufweisen und hinsichtlich des Nährstoffangebots auf bessere Zeiten warten. Denn dann kann die Diversität und Quantität der Mikroorganismen zunehmen und die Stoffwechselprozesse können auf einem besseren Niveau ablaufen.

Von den Ackerbau-Standorten weisen die Flächen Gränichen (121Gr) und Suhr (153Su) die tiefsten Werte bezüglich mikrobieller Biomasse und Basalatmung auf. Die Ergebnisse werden aber durch die standortspezifischen Erwartungswerte bestätigt, wobei der sandige, relativ kohlenstoffarme und schwach saure Standort 121Gr die schlechtesten Bedingungen für die Mikroorganismen darstellt. Beim Standort Gränichen bewegt sich der metabolische Quotient – kaum verändert – im schweizweiten Vergleich um das obere Quartil. Das heisst, er befindet sich im Viertel mit den höchsten Messwerten. Es scheint, dass die Mikroorganismen an diesem Standort nicht die optimalen Lebensbedingungen vorfinden und somit im Vergleich zu anderen Aargauer Ackerstandorten in geringerer Menge vorkommen (mikrobielle Biomasse), im Ganzen weniger aktiv sind (Basalatmung) und ihre Stoffwechsel weniger effizient ablaufen (metabolischer Quotient).

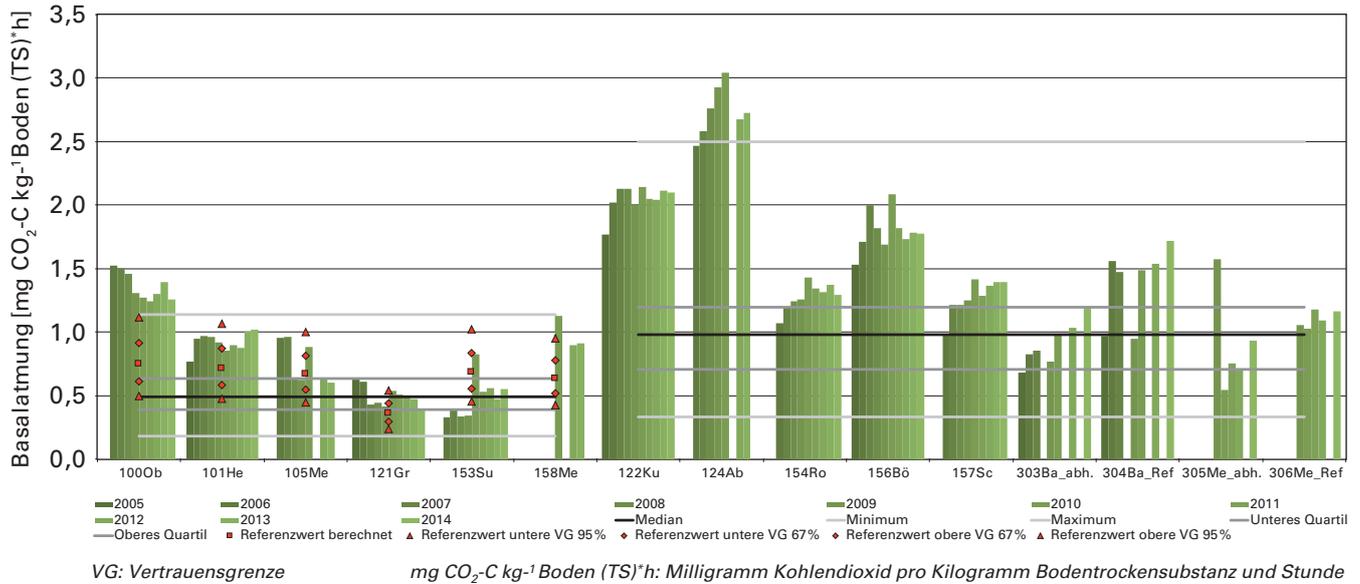
Standort Suhr (153Su) ist ein intensiv genutzter Ackerbaustandort, auf dem Hackfrüchte (beispielsweise Mais) produziert werden. Mehrmaliges Befah-

Veränderung der mikrobiellen Biomasse auf Acker- und Grünlandstandorten



Es zeigt sich, dass Grünlandstandorte (rechts) in der Regel eine höhere mikrobielle Biomasse aufweisen als Ackerstandorte (links).

Veränderung der Basalatmung auf Acker- und Grünlandstandorten



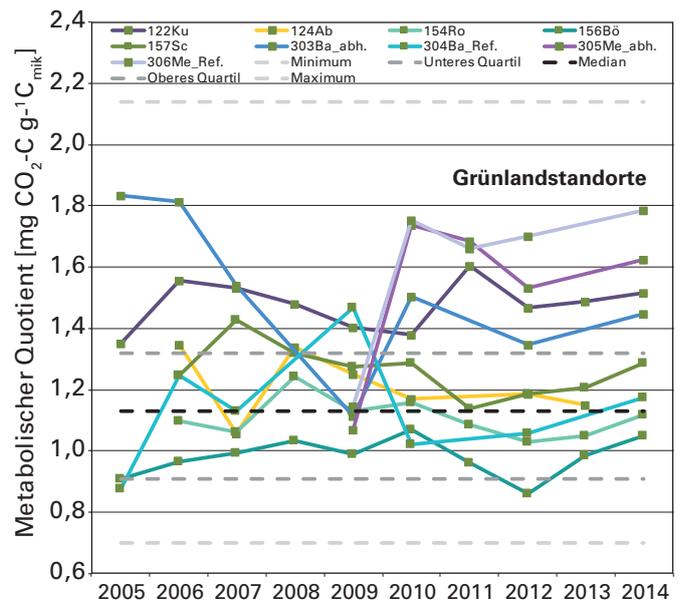
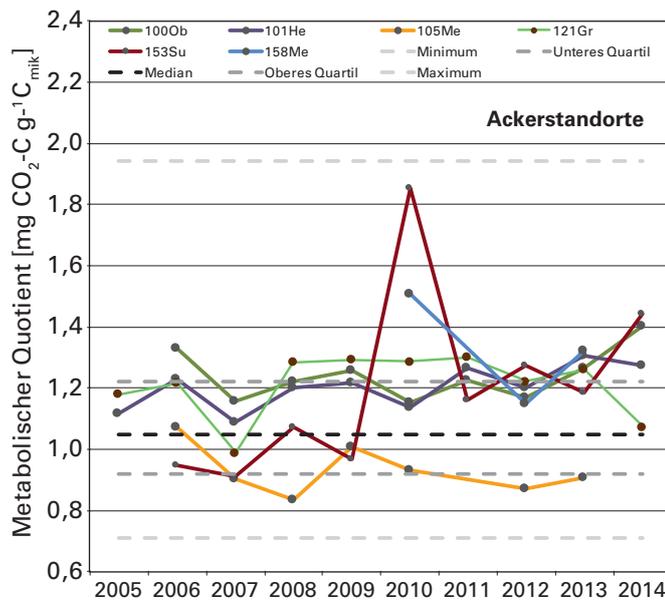
Wenig intensiv bewirtschaftete Flächen weisen oft eine höhere Basalatmung auf (links Ackerstandorte, rechts Grünlandstandorte). Für die Grünlandstandorte existieren bei der Basalatmung keine Referenzwerte.

ren während einem Jahr – auch im Herbst während der Erntezeit – kann zur Schädigung des Bodens führen. Hinsichtlich der mikrobiellen Biomasse liegen die tiefen Messwerte sogar unter dem prognostizierten Erwartungswert. Dieser Standort zeigt als einer der wenigen einen deutlichen Anstieg des metabolischen Quotien-

ten, was vor allem auf die veränderte Basalatmung zurückzuführen ist. Gemäss den untersuchten Parametern scheint dieser Standort bodenbiologisch ungünstig genutzt zu werden. Die höchsten Werte hinsichtlich mikrobieller Biomasse und Basalatmung weist der Standort Abtwil (124Ab) auf. Dies ist mit dem hohen organischen

Gehalt im Boden zu begründen. Die Resultate liegen teilweise über dem maximalen Vergleichswert und ausserhalb der Einsatzgrenze des Referenzwertsystems (grösser 4 Prozent C-Gehalt), weshalb es keine standortspezifischen Abschätzungen für diesen Standort gibt.

Veränderung des metabolischen Quotienten



$mg\ CO_2-C\ g^{-1}\ C_{mik}$: Milligramm Kohlendioxid pro Gramm mikrobieller Biomassen-Kohlenstoff

Die braunen Punkte (links Ackerstandorte) und die dunkelgrünen Quadrate (rechts Grünlandstandorte) stellen Jahre mit Messungen dar. Hohe Werte des metabolischen Quotienten weisen auf eine Störung des Systems und suboptimale Lebensbedingungen für die Mikroorganismen hin.

Beide Flächen in Baden (303Ba_abh., 304Ba_Ref.), die direkt nebeneinander an einem südostexponierten Hang liegen, zeigen einen Anstieg in der mikrobiellen Biomasse und in der Basalatmung. Der metabolische Quotient zeigt eine Tendenz zur Abnahme bei 303Ba_abh. und eine Stagnation mit grosser Variabilität bei 304Ba_Ref. Die bodenbiologischen Parameter weisen demzufolge auf eine Steigerung der mikrobiologischen Aktivität hin, die zu Beginn bedingt durch die Bodenveränderung (Abtrag des Oberbodens bei 303Ba_abh. resp. Umpflügen der Referenzfläche bei 304Ba_Ref.) eine weniger effiziente Ausnutzung des organischen Materials verzeichnete. Die beiden Flächen in Baden werden in dieser Broschüre auf den Seiten 53 bis 56 noch detaillierter beschrieben.

Ein Eingriff in das System wie jener der Abhumisierung an den Beispielen Baden (303Ba_abh.) und Merenschwand (305Me_abh.) zeigt, dass die Werte der mikrobiellen Biomasse und damit verbunden jene der Basalatmung in den darauffolgenden Jahren ansteigen und sich dem Ausgangswert der Referenzflächen annähern. Weiter weisen die im Vergleich zu den anderen Grünlandstandorten hohen Werte des metabolischen Quotienten auf eine Störung des Systems und folglich auf suboptimale Lebensbedingungen für die Mikroorganismen hin.

Fazit

Alle bodenbildenden Faktoren wirken gegenseitig in unterschiedlicher Weise aufeinander ein und bieten den Mikroorganismen verschiedene Lebensbedingungen, was sich in der Häufigkeit, der Aktivität und dem Zustand messen lässt. Wie die Resultate des Monitorings der vergangenen 10 Jahre zeigen, können bodenbiologische Parameter gut als Indikatoren für die Bodenqualität herangezogen werden. So ist gerade nach Veränderungen ein Monitoring auch hinsichtlich der Bodenbiologie sehr ratsam. In diesen Situationen sollte aber aufgrund der grösseren Variabilität (wie bei 303Ba_abh. bis 306Me_Ref.) eine gut aufgelöste und längere Überwachung gewählt werden, um Fehlinterpretationen vermeiden zu können.

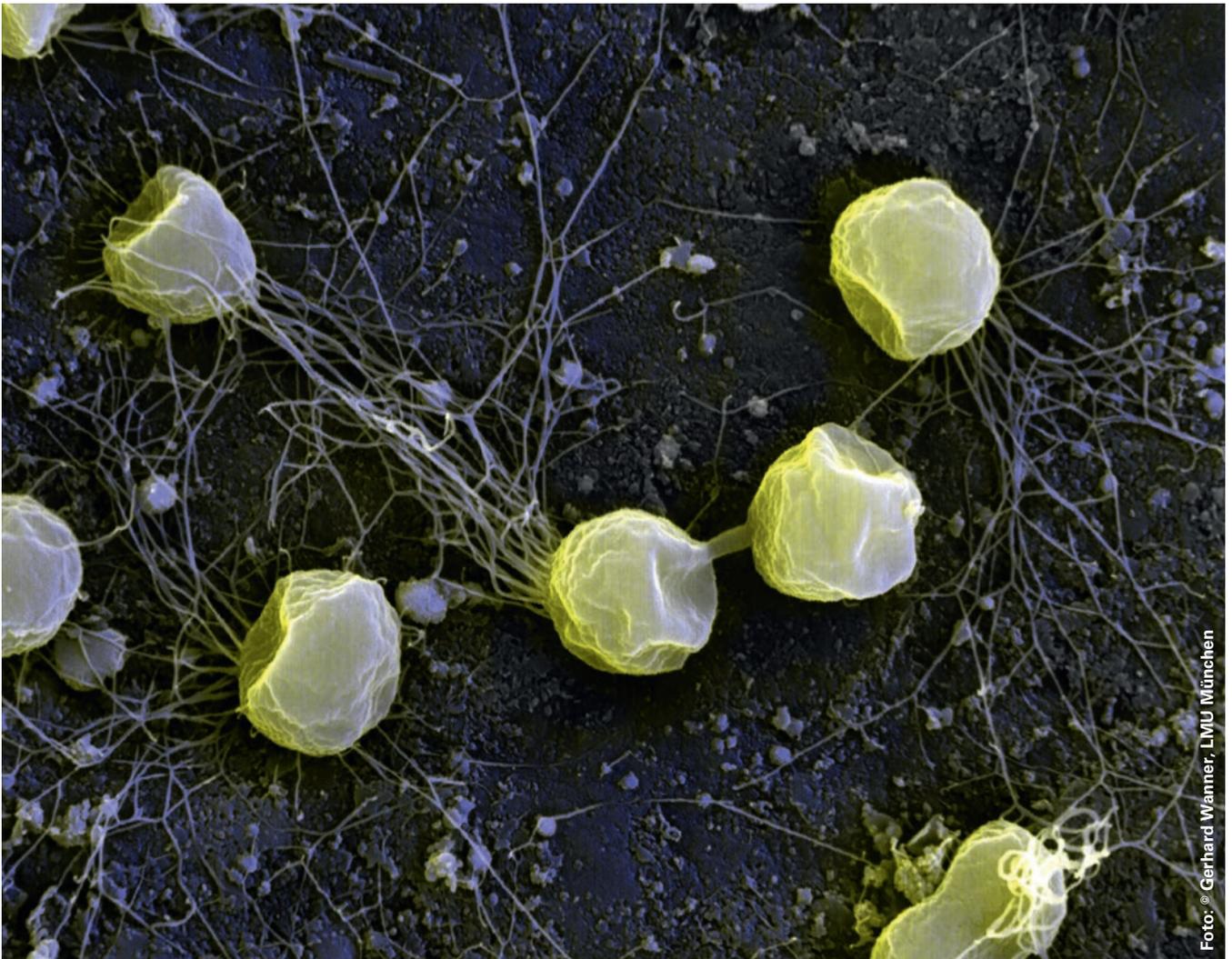


Foto: © Gerhard Wanner, LMU München

Die Archaeen vom Typ *Pyrococcus furiosus* können sich mit ihren Geisseln an festen Oberflächen von Holz, Metallen oder Sand befestigen. Sie wurden erstmals 1986 aus erhitzten Meeressedimenten (90 bis 100 Grad Celsius) am Strand der Insel «Vulcano» in Italien isoliert. Bei ihren Verwandten, den Bodenarchaeen, gelingt dies nur in sehr wenigen Fällen. Sie lassen sich fast nur mittels Gen-Analysen im Bodenmikrobiologie-Pool orten.

Bodenüberwachung mit unterschiedlichen Messnetzen

Thomas Muntwyler | Abteilung für Umwelt | 062 835 33 60

Der Kanton Aargau betreibt seit 1992 das kantonale Bodenbeobachtungsnetz und seit 2012 das Bodenfeuchtemessnetz. Damit werden sowohl die stofflichen Veränderungen als auch die physikalischen Eigenschaften der Böden überwacht und dokumentiert. Die beiden Messnetze unterscheiden sich in ihrem Aufbau und in ihrem Messintervall deutlich.

Die Bodenüberwachung im Kanton Aargau ist im Einführungsgesetz zur Bundesgesetzgebung über den Schutz von Umwelt und Gewässer (EG Umweltrecht, EG UWR) verankert. § 16 sieht vor, dass der Kanton ein Messnetz zur Überwachung der Bodenbelastung und deren Veränderungen betreibt. Er erhebt in regelmässigen Abständen physikalische, chemische und biologische Eigenschaften des Bodens und im Boden enthaltene Schadstoffe. Mit dem kantonalen Bodenbeobachtungsnetz und dem Bodenfeuchtemessnetz wird dieser Gesetzesauftrag umgesetzt.

Das kantonale Bodenbeobachtungsnetz (KABO)

Der Kanton Aargau führt seit 1992 eine Dauerbeobachtung der Schadstoffgehalte der Böden durch. An 21 Standorten auf Landwirtschaftsland und an 52 Waldstandorten werden Bodenproben gestochen. Die Probenahme fläche beträgt 10 mal 10 Meter. Auf dieser Fläche werden 4-mal 25 Einstiche in einer Tiefe von 0 bis 20 Zentimeter entnommen, sodass sich pro Standort 4 Mischproben ergeben. Teilweise werden auch zusätzlich Bodenprofile geöffnet und horizontweise beschrieben sowie analysiert. Untersucht werden die Proben auf die wichtigsten Schwermetalle sowie auf ausgewählte Bodenbegleitparameter wie Körnung, pH-Wert, Humusgehalt usw. Auch bodenbiologische Parameter wie Basalatmung und die mikrobielle Biomasse werden an ausgewählten Standorten untersucht. Nach 1992 und 1996 wurden 2006 alle 73 Standorte im Rah-

men der dritten Hauptuntersuchung wieder beprobt. Die Beprobung findet seit 1996 nur noch alle 10 Jahre statt. Die für das kommende Jahr 2016 vorgesehene Vierterhebung ist aus Spargründen auf unbestimmte Zeit verschoben worden.

Die Resultate werden jeweils in umfassenden Fachberichten ausgewertet und kommentiert. Für die Öffentlichkeit werden die Daten sämtlicher Standorte aufbereitet und zusammen-

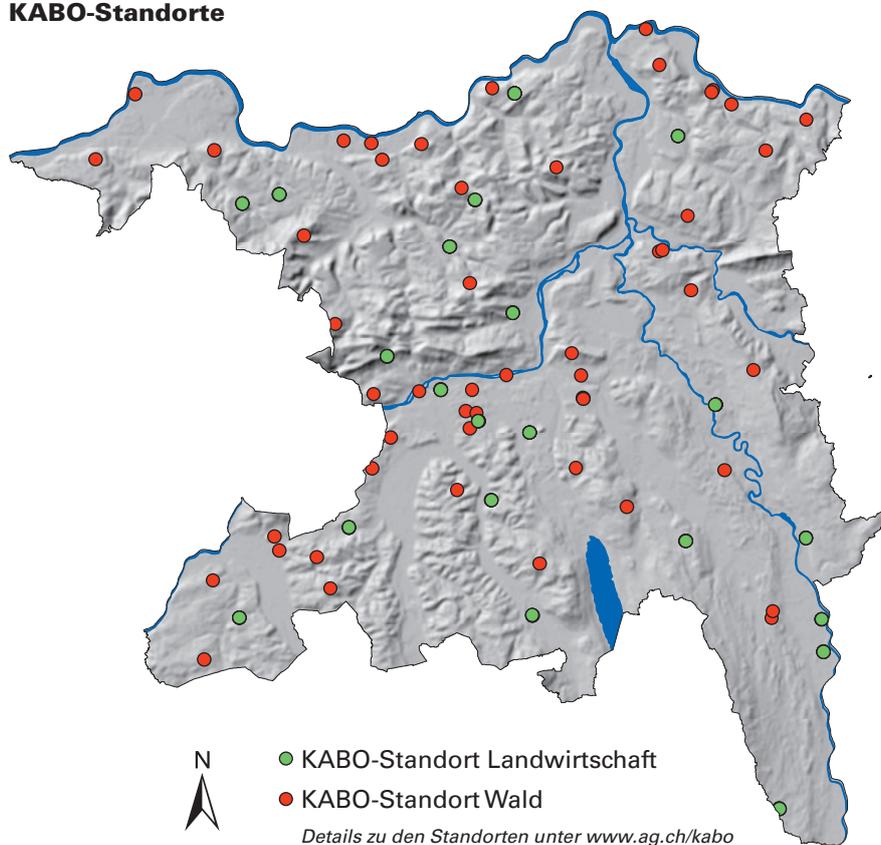
gefasst. Sie können eingesehen werden unter www.ag.ch/kabo.

Mit der Langzeitbeobachtung der im ganzen Kanton verteilten Standorte besteht ein Instrumentarium zur Früherkennung von Schadstoffanreicherungen im Boden. Unzulässige Anreicherungen von Schadstoffen können so frühzeitig erkannt werden, um anschliessend in Kenntnis der Ursachen die Quellen zu bekämpfen.

Entwicklung der Kupfer- und Zinkgehalte in den Aargauer Böden

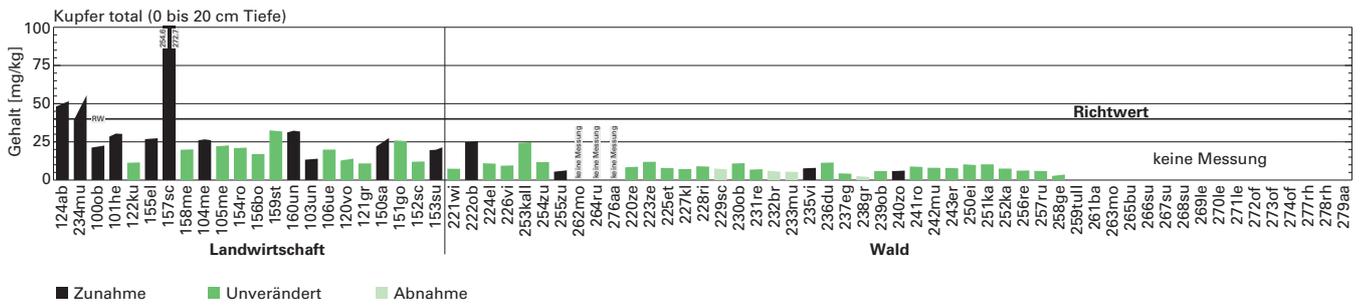
Der Kupfer-Totalgehalt hat in einer Tiefe von 0 bis 20 Zentimeter von 1996 bis 2006 an insgesamt 15 Standorten (20 Prozent) zugenommen. Lediglich an 4 Standorten (5 Prozent) konnten signifikante Gehaltsabnahmen festgestellt werden. An 49 Prozent der Standorte hat sich der Totalgehalt an Kupfer

KABO-Standorte



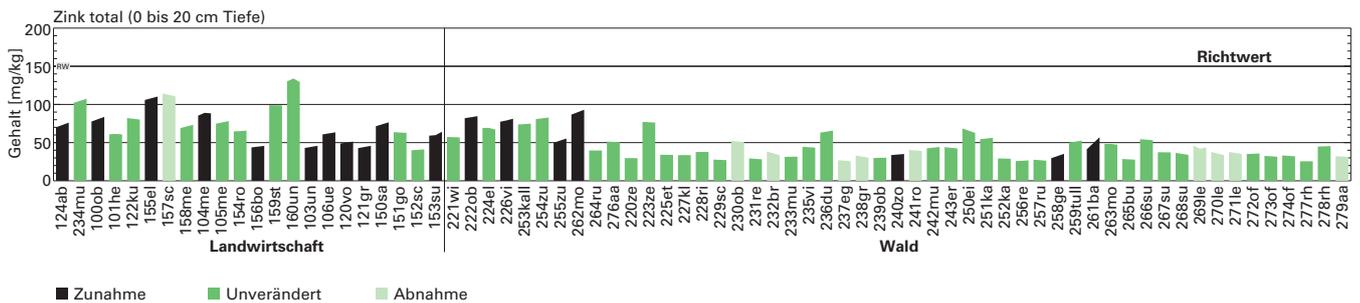
Das kantonale Bodenbeobachtungsnetz (KABO) gibt in verschiedenen Untersuchungen, die periodisch wiederholt werden, Auskunft über Höhe und Veränderungen der Schadstoffbelastung der Aargauer Böden. Quelle: AGIS

Entwicklung der Totalgehalte (0–20 cm Tiefe) von Kupfer (1996–2006) aller Standorte



Der Einsatz von kupferhaltigen Hilfsstoffen in der Landwirtschaft ist für die erhöhten Kupfergehalte der Ackerstandorte verantwortlich. An 15 Standorten hat der Kupfergehalt seit 1996 zugenommen.

Entwicklung der Totalgehalte (0–20 cm Tiefe) von Zink (1996–2006) aller Standorte



Die Entwicklung der Zink-Totalgehalte zeigt bei 24 Prozent der Standorte eine Zunahme auf. Es treten allerdings in der gleichen Zeitspanne auch bei 14 Prozent der Standorte Abnahmen auf.

nicht oder nicht eindeutig verändert. Ein ähnliches Bild zeigt sich für Zink. Total 24 Prozent der Standorte weisen eine Zunahme des Zink-Totalgehaltes auf. Dem stehen allerdings 14 Prozent der Standorte mit einer Abnahme gegenüber. An 62 Prozent der Standorte ist der Zink-Totalgehalt stabil.

Mithilfe des Bodenfeuchtemessnetzes können Aussagen über die Befahrbarkeit der Böden sowie über zulässige Bodenarbeiten gemacht werden. Mit zunehmender Feuchtigkeit nimmt die

Verdichtungsempfindlichkeit des Bodens zu. Nasse und sehr feuchte Böden sind sehr verdichtungsempfindlich und sollten daher nicht verschoben oder befahren werden. Massgebend

Bodenfeuchtemessnetz

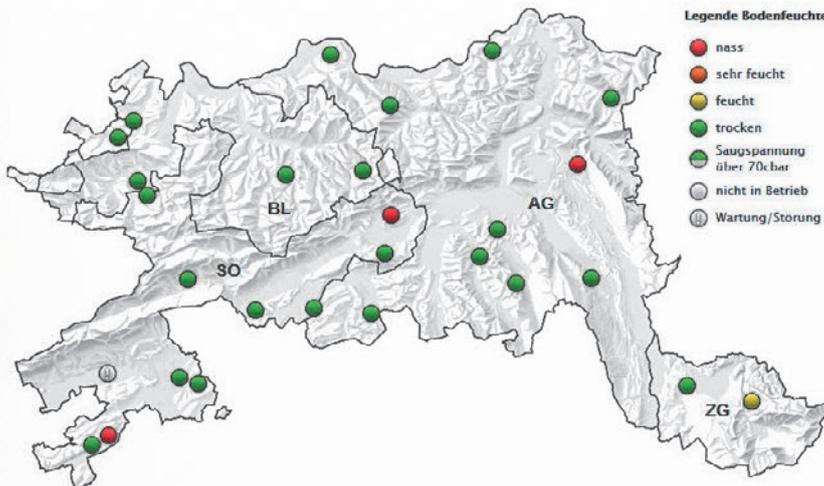
Zusammen mit den Kantonen Solothurn, Basel-Landschaft und seit Kurzem auch Zug betreibt der Kanton Aargau seit 2012 das Bodenmessnetz Nordwestschweiz mit momentan 28 Messstandorten. Davon befinden sich 10 im Aargau. Das Messnetz gibt Auskunft über den Feuchtezustand der Böden. Gemessen werden über dem Boden die Lufttemperatur, der Niederschlag und die Luftfeuchte. Im Oberboden in 20 Zentimeter und im Unterboden in 35 Zentimeter Tiefe werden die Saugspannungen sowie die Bodentemperatur gemessen. Die vollautomatischen Messstationen liefern die Daten laufend in einem viertelstündlichen Intervall. Sie werden im Internet unter www.bodenmessnetz.ch zur Verfügung gestellt.



In unmittelbarer Nähe zum KABO-Standort Gränichen befindet sich auch die Bodenfeuchtemessstation: Mast mit Solarpanel, Regen-, Temperatur- und Luftfeuchtemesser sowie Datalogger und Übertragungseinheit. Vom Mast weg führen in drei Schienen die Kabel zu den 6 Tensiometern. Am Ende jeder Schiene misst ein Tensiometer in 20 und 35 cm Bodentiefe die Feuchte.



Übersicht Standorte



Messwerte SO

- Aetigkofen
- Bellach
- Breitenbach
- Dulliken
- Etziken
- Fulenbach
- Hofstetten-Fluh
- Kestenholz
- Matzendorf
- Mühledorf
- Stüsslingen
- Subingen

Messwerte BL

- Bristlach
- Therwil
- Wenslingen
- Zunzgen

Messwerte AG

- Boswil
- Fislisbach
- Gränichen-Liebegg
- Leutwil
- Mettauertal
- Mohlin
- Schafisheim
- Schneisingen
- Schupfart
- Srenzelbach

Messwerte ZG

- Cham
- Menzingen

Kanton Solothurn

- Fachstelle Bodenschutz

Kanton Aargau

- Fachstelle Bodenschutz

Kanton Baselland

- Fachstelle Bodenschutz

Kanton Zug

- Fachstelle Bodenschutz

Wozu dient das Bodenmessnetz?

Die Bodenfeuchtigkeit ist von entscheidender Bedeutung für eine schonende und nachhaltige land- und forstwirtschaftliche Nutzung unserer Böden und bei baubedingten Erdarbeiten. Das Bodenmessnetz der Kantone Solothurn, Aargau, Baselland und Zug bietet Informationen zum aktuellen Bodenzustand und Entscheidungshilfen für einen bodenschonenden Arbeitseinsatz.

» Aussagekraft der Messungen

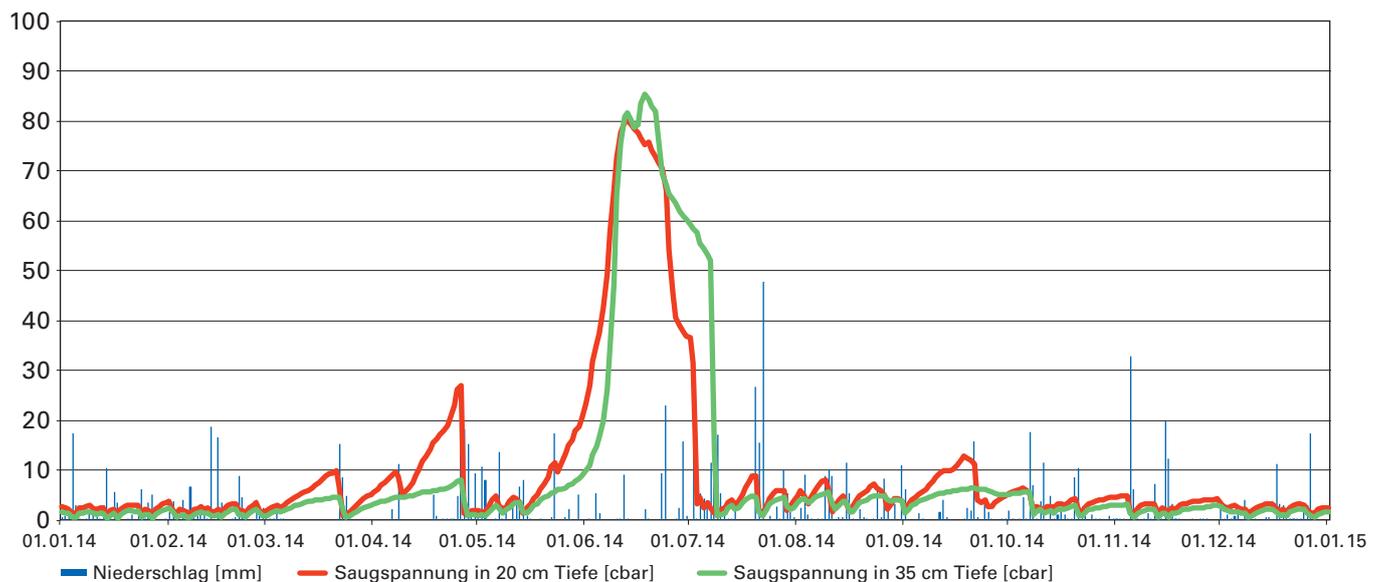
Quelle: www.bodenmessnetz.ch

für die Beurteilung der Befahrbarkeit und Verdichtungsempfindlichkeit sind die Saugspannungswerte im Unterboden (in 35 Zentimeter Tiefe), da der Unterboden empfindlicher auf Verdichtungen reagiert als der Oberbo-

den. Daneben ist auch der aktuelle Niederschlag relevant. Ab einem Niederschlag von mehr als 10 Millimeter während der letzten 24 Stunden sind alle Erdarbeiten kritisch, auch wenn die Saugspannungswerte dies noch

nicht zeigen. Aufgrund der aktuellen Messwerte der Bodenfeuchte und des Niederschlags kann die Zulässigkeit des Maschineneinsatzes abgeleitet werden.

Niederschlagsmenge und Bodenfeuchte am Standort Gränichen



Ein erstes Mal trocknete der Oberboden Ende April ab und erreichte Werte knapp über 25 cbar. Der Unterboden blieb im selben Zeitraum jedoch immer deutlich unter 10 cbar. Richtig trocken – auch im Unterboden – wurde es erst Mitte Juni und dies dauerte bis Mitte Juli. Den wenigen und geringen Niederschlägen in dieser Periode standen erhöhte Temperaturen sowie das Vegetationswachstum entgegen, die dem Boden Wasser entziehen. So schnellten die Saugspannungswerte in die Höhe. Danach liessen die vielen Niederschläge ein Abtrocknen sowohl des Ober- als auch des Unterbodens nicht mehr zu.

Warum bekommen bei Meliorationen immer die anderen die besten Böden?

Thomas Hersche | Landwirtschaft Aargau | 062 835 28 00

Bei einer Gesamtmelioration wird das Grundeigentum völlig neu verteilt. Für einen gerechten Tausch der Flächen braucht es jedoch Regeln und eine Bewertung der Grundstücke, mit der sich alle einverstanden erklären können. Warum aber gibt jeder Grundeigentümer immer den scheinbar besten Boden ab und bekommt meist den schlechtesten? Wem werden dann die guten Böden zugeteilt?

Was im oben stehenden Satz etwas provokativ tönt, ist eine rein subjektive Sicht der Betroffenen. Diese Wahrnehmung ist verständlich, da es ums Grundeigentum geht. Beim Thema Boden geht es schliesslich immer auch um Emotionen. Um das Ganze zu «entemotionalisieren», werden die Böden kartiert und bewertet.

Was geschieht bei der Bodenkartierung?

Mit der Kartierung wird einzig das unterirdische Potenzial eines Bodens erfasst. Der Kartierer – dies kann beispielsweise ein Geologe, eine Geografin, ein Kulturingenieur oder eine Agronomin sein – bestimmt als Erstes die Standorte für die Profilgruben. Diese sollten in etwa gleichmässig im betroffenen Gebiet verteilt sein. Bei der Wahl der Standorte ist es wichtig, dass die Gruben möglichst alle vorhandenen unterschiedlichen Bodentypen repräsentieren.

Es handelt sich bei den Gruben um baggerschaufelbreite, etwa zwei Meter lange Schlitze, bei denen die Abfolge der einzelnen Bodenhorizonte gut sichtbar ist. Im Fall der Gesamtmelioration Küttigen mit einem Perimeter von knapp 400 Hektaren wurden 32 solcher Gruben ausgehoben. Zur besseren Beurteilung kommen auch Handgeräte – wie Spaten oder Handkräuel – zum Einsatz, damit die Bodenhorizonte besser sichtbar gemacht und genauer vermessen werden können.

Die Profilbeurteilung läuft folgendermassen ab: Von jeder Grube werden

zwei Bodenproben im Labor hinsichtlich der Feinerdekörnung und des pH-Wertes (Säuregrad) des Bodens untersucht. Im Oberboden wird zusätzlich auch der Gehalt an organischer Substanz (Humus) bestimmt. Für jedes Profil werden Gründigkeit (durchwurzelbare Bodentiefe) und Wasserhaushalt ermittelt und mit maximal 100 Punkten bewertet. Dieser Wert ist gleichzeitig der Ausgangswert für die weitere Beurteilung. Davon in Abzug gelangt die Bewertung der Feinerdekörnung (Anteil an Sand, Ton usw.) von Ober- und Unterboden. Bei einem lehmigen Ton beispielsweise beträgt dieser Abzug 20 Prozent. Dann wird das Bodenskelett – auch Bodengerüst

genannt – etwas eingehender betrachtet. Dabei gilt: Je höher der Skelettanteil (Steine usw.) im Oberboden, desto höher ist der Abzug. Neben der visuellen Beurteilung der Horizonte kommen auch Nase und Finger zur Anwendung: Der Anteil an organischem Material kann mittels Riechen und die Körnigkeit mittels Tasten beurteilt werden. So riecht Humus «modrig» und Sandkörner sind zwischen den Fingern spürbar.

Die eigentliche Flächenkartierung wird anhand der Resultate aus der Profilbeurteilung vorgenommen. Zusätzlich zu den Gruben werden mit dem Bohrstock im ganzen Untersuchungsgebiet verschiedene Flächen untersucht. Flächen mit vergleichbaren Bodeneigenschaften werden dabei in Klassen gruppiert. So entsteht ein Plan mit Flächen gleicher Bodenkartierungswerte. Dieser Schritt ist sehr wichtig, weil hier die Abgrenzung zwischen den einzelnen Klassen vorgenommen wird. Die so entstandenen Flächen sind nicht parzellenscharf, weil sich die Geologie und der Boden bekanntlich nicht nach den Grundeigentumsgrenzen richtet.



Foto: Thomas Hersche

Bei einer Melioration werden einzelne Bodenprofile angesprochen und erklärt. Interessierte können vor Ort Fragen stellen.

Auf eine solche Bodenkartierung kann noch Jahre später zurückgegriffen werden. Vor allem bodenkundliche Expertisen für Rekultivierungen, ökologische Aufwertungen und Bewässerungen oder andere technische Eingriffe bedienen sich gerne dieser wertvollen Grundlagenarbeit. Aber auch für landwirtschaftliche Ertragswertungen werden die Bodenkarten sehr gerne verwendet. Sie bilden die Grundlage für die Beurteilung der landwirtschaftlichen Nutzungseignung und für die Bewertung der Böden.

Bonitierungswerte als Zielgrösse der Melioration

Die Bewertung der Böden wird Bonitierung genannt. Bei der Bonitierung sind nebst der (unterirdischen) Bodenkarte auch die oberirdischen Gegebenheiten für die Wertermittlung des einzelnen Grundstückes zu berücksichtigen. Folgendes wird beurteilt:

- **Hangabzüge:** Je steiler der Hang, desto grösser sind die Abzüge. Die Kulturenwahl ist an steilen Hängen eingeschränkt, die Bewirtschaftung erschwert.
- **Waldränder:** Schattenwurf und überragende Baumkronen führen zu Abzügen.
- **Exposition:** Nordrichtung gibt Abzug, da den Pflanzen weniger Licht zur Verfügung steht als an südexponierten Stellen.
- **Grundstücksform:** Dreiecke sind ungünstiger zu bewirtschaften als Rechtecke.
- **Böschungen:** Abzug, da diese für die Bewirtschaftung weniger geschätzt werden.
- **Entwässerungsbedürftigkeit des Bodens:** Böden ohne Nassstellen sind wirtschaftlicher.
- **Gräben, Bäche, Gerinne:** Diese werden von den Bewirtschaftern als Hindernisse wahrgenommen. Angrenzendes Land wird deshalb mit einem Punkteabzug «bestraft».

Die Bonitierung ist massgebend für die Berechnung des «Wertes», den jeder Grundeigentümer im Rahmen der Gesamtmelioration einwirft. Die-

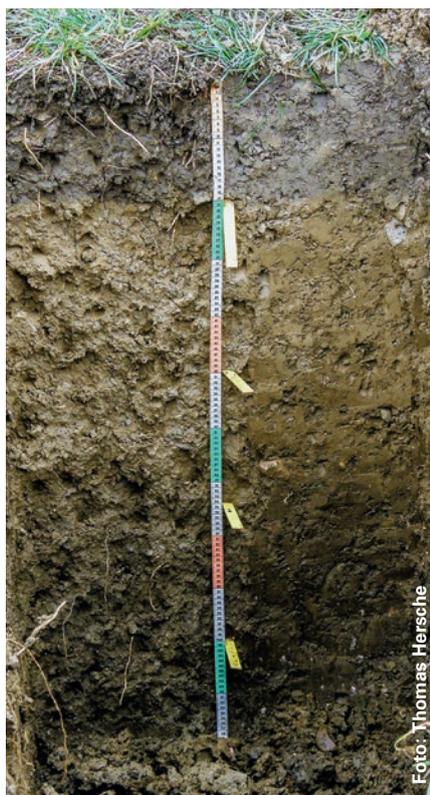
ser «Wert» setzt sich zusammen aus der eingeworfenen Fläche (Quantität) und der Güte des Standortes gemäss der Bonitierung. Nach Abzug der Punkte für die gemeinschaftlichen Bauten und Anlagen wie Wege usw. (allgemeiner Abzug) erhält man schliesslich denjenigen Wert, der den Beteiligten im Rahmen der Neuzuteilung wieder zusteht. Selbstverständlich wird am Ende einer Melioration alles eingeworfene Land (minus dem allgemeinen Abzug) wieder an die Grundeigentümerinnen und Grundeigentümer verteilt. Die Flächen des allgemeinen Abzugs (Wege, Gewässer usw.) gehen normalerweise an die Gemeinde oder an den Kanton.

Einfluss der Politik auf den Bonitierungswert

Das wirtschaftliche Ertragspotenzial von landwirtschaftlichen Grundstücken ist natürlich auch von den Ent-

wicklungen auf den Agrar- und Bodenmärkten abhängig. Hier spielen Preispolitik, Produktions-, Bewirtschaftungs- bzw. Pflegekosten, Direktzahlungen und Beiträge eine nicht zu unterschätzende Rolle. Diesem Einfluss wird mittels einer Korrektur der bei der Bonitierung erreichten Bodenzahl Rechnung getragen. Die vorgebrachte Kritik bei dieser Korrektur ist oftmals, dass sich die politischen Einflüsse ändern können, der Boden an sich aber nicht, weshalb auf eine solche Korrektur verzichtet werden soll.

Bei der öffentlichen Auflage der Bonitierungswerte gibt es kaum Einsprachen. Dies zeigt, dass das System transparent und nachvollziehbar ist. Offenbar ist es dem Bonitierungsverfahren gelungen, der Bewertung der Böden die Emotionen zu nehmen und das Ganze auf eine sachliche Ebene zu stellen.



Bodenprofile: links ein tiefgründiger Boden. Das Ausgangsgestein liegt weiter unten und ist im Bild nicht sichtbar. Rechts ein sehr flachgründiger Boden an einem Jurasüdhang. Nach gut 20 Zentimetern kommt bereits das Ausgangsgestein.

Ein aussergewöhnliches Projekt an einem unüblichen Standort

Martin Zürrer | creato – Genossenschaft für kreative Umweltplanung, Ennetbaden | im Auftrag des PSI und der Abteilung für Umwelt | 062 835 33 60

Der SwissFEL ist der Freie-Elektronen-Röntgenlaser des Paul Scherrer Instituts PSI. Dieses Höchstpräzisionsgerät benötigt einen erschütterungsfreien Standort – aus logistischen Gründen möglichst in der Nähe des Forschungszentrums, das sich auf dem Gebiet der Gemeinden Villigen und Würenlingen befindet. Einen solchen Ort zu finden war keine einfache Aufgabe, denn in dieser Gegend verkehren fast pausenlos schwerste Fahrzeuge und diese versetzen den Untergrund von Strassen, Bahnlinien, Kiesgruben, Äckern und Wiesen in Schwingung. Der Würenlinger Wald, der gleich neben dem Paul Scherrer Institut liegt, wurde als bestmöglicher Standort für den SwissFEL ermittelt. Aber: Bauen im Wald – und dann noch in der vorgesehenen Dimension von rund 740 Metern Länge und bis zu 50 Metern Breite? Das war eine spezielle Herausforderung.

Der erschütterungsfreie Standort war nur eine der Randbedingungen für den erfolgreichen Betrieb der Anlage. Zudem musste sichergestellt sein, dass die Temperatur im Innern des 690 Meter langen Strahlkanals maximal um ein Zehntel Grad variiert. Diese Anforderung konnte nur mit einem

Mangelbiotope

Das neu sehr hohe Lichtangebot auf der Überdeckung, kombiniert mit einem mageren, kiesigen Substrat von einem Meter Mächtigkeit ermöglicht ökologisch wertvolle, selten gewordene Vegetationstypen wie Halbtrockenrasen, trockene Saumgesellschaften, Kies-Pionierfluren auf Kalkschotter und Ruderalvegetation. Für die Anlage der rund zwei Hektar grossen Wiesenfläche ist eine Direktbegrünung mit Schnittgut aus artenreichen Trockenwiesen der näheren Umgebung vorgesehen. Ein Teil wird der Spontanbegrünung überlassen. Auf den Wildübergängen sollen sich Pfeifengraswiesen aus einer Heugrassaat entwickeln.

Standort unter dem Boden erreicht werden, was zusätzlichen Waldboden für die Baugrube in Anspruch nahm und hohe Anforderungen im Umgang mit dem Boden stellte.

Angesichts der aussergewöhnlichen Rahmenbedingungen nahm das PSI von Beginn der Planung Kontakt mit den verschiedenen im Wald relevanten Akteuren auf: der Gemeinde und der kantonalen Baubewilligungsbehörde. Die Arbeitsgruppe Wald wurde gegründet. In diesem Begleitgremium wurden die Voraussetzungen für eine mögliche Bau- und Betriebsbewilligung für den SwissFEL evaluiert. Es zeigte sich, dass eine befristete Bewilligung möglich ist, sofern die Rodungsfläche minimiert und kompensiert wird und Mangelbiotope im Umfang von zirka 40 Prozent der gesamten Rodungsfläche geschaffen werden. Damit waren die Rahmenbedingungen für den Bodenschutz gegeben: Es galt einen Weg zu finden, um die Bodenfruchtbarkeit im Sinne der Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo) für einen späteren Rückbau der Anlage zu erhalten. Dabei musste berücksichtigt werden, dass vor Ort keine Bodenzwischenlager erstellt werden konnten, weil dazu weiterer Wald hätte gero-

SwissFEL

Im Jahr 2016 wird am PSI die nächste Grossanlage in Betrieb gehen: der Röntgenlaser SwissFEL. Er wird sehr kurze Pulse von Röntgenlicht mit Lasereigenschaften erzeugen. Damit werden Forschende extrem schnelle Vorgänge wie die Entstehung neuer Moleküle bei chemischen Reaktionen verfolgen, die detaillierte Struktur lebenswichtiger Proteine bestimmen oder den genauen Aufbau von Materialien klären. Dabei werden die Forschenden Einblicke gewinnen, wie sie mit heute verfügbaren Methoden nicht möglich sind. Die Erkenntnisse werden unser Verständnis der Natur erweitern und zu praktischen Anwendungen führen wie etwa neuen Medikamenten, effizienteren Prozessen in der chemischen Industrie, neuen Materialien in der Elektronik oder alternativen Verfahren der Energieerzeugung.

Quelle: www.psi.ch

det werden müssen. Gleichzeitig dürfen schlussendlich nur 60 Prozent des Bauperimeters mit Boden bedeckt sein, da mit einem Bodenaufbau, wie er im Würenlinger Wald vorliegt, keine Mangelbiotope erreicht werden können. Die beigezogenen Boden-Spezialisten ermittelten zunächst den Ausgangszustand der Böden, um darauf aufbauend eine bodenschutzrechtlich vertretbare Lösung für den Bau des SwissFEL ausarbeiten und umsetzen zu können.

Die Böden im Würenlinger Wald

Der Würenlinger Wald steht auf einer würmeiszeitlichen Schotterebene, auf der sich mässig tiefgründige bis tief-



Typischer Boden am Standort des SwissFEL: Hier handelt es sich um eine mässig tiefgründige Parabraunerde.

gründige normal durchlässige Parabraunerden und saure Braunerden bildeten. Der Skelettgehalt ist – wie auf Schotterfluren zu erwarten – eher hoch. Er macht durchschnittlich etwa einen Drittel des Bodenvolumens aus. Die Feinerdekörnung schwankt je nach Standort und Horizont zwischen lehmreichem Sand und tonigem Lehm. Das Bodengefüge ist, dem pH-Wert von zirka vier entsprechend, labil. Die Bodenmächtigkeit liegt durchschnittlich bei ziemlich genau einem Meter, was bedeutet, dass pro Quadratmeter Boden ungefähr ein Kubikmeter Boden auszuheben und umweltrechtlich konform zu behandeln ist, was für den Bau des SwissFEL eine Bodenaushubkubatur von rund 35'000 Kubikmeter bedeutete.

Herausforderung Oberboden

Während im Bodenschutz-Alltag der Oberboden (volkstümlich «Humus») eher pflegeleicht ist und nach allfälligen baulichen Strapazen in der Regel relativ schnell regeneriert, verlangt der Wald-Oberboden besondere Be-

achtung – nicht zuletzt weil seine Wiederverwendung im Projektperimeter mindestens auf den Standorten, auf denen Mangelbiotop vorgesehen sind, nicht toleriert wurde. Die auf dem Bau übliche Zwischenlagerung bis zur Wiederverwendung war in diesem Fall nicht möglich. Denn der hohe Anteil an organischer Substanz sowie Streu-, Holz- und Wurzelresten begünstigt eine Art Kompostierung und damit eine Nährstofffreisetzung, die nach der Wiederverwendung zu einem unerwünscht starken Bewuchs mit Brombeeren führen würde. Eine Möglichkeit der Wiederverwendung des Oberbodens zur Rekultivierung von anderen Waldungen konnte nicht ausfindig gemacht werden. Aus ähnlichen Überlegungen wurde auch die Vermischung des ganzen Bodenmaterials verworfen. Weil sich keine Wiederverwendungsmöglichkeit (im Sinne einer Abfallvermeidung) abzeichnete, wurde nach Rücksprache mit der kantonalen Fachstelle Bodenschutz eine Verwertungsmöglichkeit in der Kompost- und Energieproduktion geprüft. Im Rahmen eines kleinflächigen Pilotprojektes wurden Machbarkeit, Wünschbarkeit und Kosten dieses Verfahrens beleuchtet. Das Verfahren erwies sich als grundsätzlich möglich – aber für das Vorhaben des SwissFEL schwer vertret- und umsetz-

bar. Die Lösung des Problems musste deshalb in der Ausschreibung der Bauarbeiten an die anbietenden Unternehmungen übertragen werden. Dabei wurde der Unternehmer verpflichtet, mit der Offerte ein nachweislich gesetzeskonformes Oberboden-Verwertungskonzept einzureichen. Die Lösung, die letztlich umgesetzt wurde, basierte auf einem Verzicht auf das Stockfräsen und auf der Aufbereitung des Oberbodens für landwirtschaftliche Rekultivierungen durch Aussieben von Steinen und groben Holz- und Wurzelstücken sowie der Beigabe von Kalk. Die Unternehmung hatte selbst für die Bewilligungen der jeweiligen Oberboden-Verwendung zu sorgen.

Umgang mit dem Unterboden

Der Unterboden sollte gemäss VBBo im Hinblick auf die Wiederherstellung des Waldbodens nach Ablauf der Baurechtsdauer von mindestens 40 Jahren vor Ort gesichert werden. Das bedeutete für den SwissFEL, dass der Unterboden in der Geländegestaltung zur Überdeckung des Baukörpers verwendet werden sollte. Die Rahmenbedingung, wonach Unterboden mit einem Tonanteil von mehr als fünf Prozent für die Bildung von Mangelbiotopen nicht verwendet werden kann, schränkte den Spielraum für die Anlage von durchwurzeltem Boden für



«Sandwich»-Bauweise zur langfristigen Zwischenlagerung des Unterbodens in der als Mangelbiotop ausgestalteten Geländemodellierung

die Betriebszeit stark ein. In den beiden Wildquerungen konnte ein grosser Anteil des Unterbodens angelegt werden – in einer limitierten Schichtstärke, um nach dem Rückbau der Anlage die Chance zu haben, den Boden zur Wiederherstellung des Waldes verwenden zu können. Für mehrere tausend Kubikmeter Unterboden musste eine «Zwischenlagerung» unter der als Mangelbiotope ausgestalteten Oberfläche geplant und realisiert werden. Dieser Teil des Unterbodens wurde quasi im Sandwich zwischen der durchlässigen Kies-Unterlage und dem Kieskörper für das Mangelbiotop eingebaut – selbstverständlich auch in stark limitierter Mächtigkeit, damit der Unterboden durch die Auflast nicht übermässig verdichtet wird. In mehreren Optimierungsschritten konnte auf diese Weise eine ausgeglichene Bodenmaterialbilanz erreicht werden.

Nun ging es noch darum, den Boden während der Bauphase zwischenzulagern. Weil innerhalb des Baurechtsperimeters und im umgebenden Wald keine Zwischenlagerflächen zur Verfügung standen, ging die Bauherrschaft auf die Suche nach geeigneten Zwischenlagerflächen ausserhalb des Waldes. In einem nahe gelegenen Kiesabbaugebiet konnten gut zwei Hektaren zu diesem Zweck gesichert werden. Im noch nicht überbauten Industriegebiet der Gemeinde Untersiggenthal konnte eine weitere Hektare Zwischenlagerfläche zur Verfügung gestellt werden.

Bodenschutz während der Bauphase

Alle Bodenschutzmassnahmen wurden durch die bodenökologische Baubegleitung (BBB) der Bauherrschaft definiert und waren Voraussetzung für die umweltrechtliche Bewilligung für den Bau des SwissFEL. Die Massnahmen basierten auf dem Bauprojekt, dem sehr ambitionösen Zeitplan und dem Einsatz eines Totalunternehmers. Der enge Zeitplan wurde mit der Bauherrschaft so ausgestaltet, dass der Bodenaushub im Frühsommer 2013 und die Rekultivierung im Sommer 2014 stattfanden. Einzig die Holzernte musste in einer bodenökologisch un-

günstigen Zeit durchgeführt werden. Zusammen mit der Bauherrschaft und dem Forst Würenlingen wurde das bodenschonende Vorgehen festgelegt, mit dem ein minimales Befahren des Bodens und eine Minimierung der Arbeitsunterbrüche bei Nässe sichergestellt werden konnten. Dabei wurden die Beteiligten von der neu geschaffenen Bodenschutzstelle der Abteilung Wald des Kantons Aargau unterstützt.

Die anschliessenden Bauarbeiten wurden durch die BBB des Totalunternehmers gesteuert. Seine Bodenschutzmassnahmen mussten den Rahmenbedingungen der Baubewilligung entsprechen. Weil das PSI Bewilligungsinhaberin und damit verantwortlich für die Einhaltung der Auflagen ist, setzte sie auch während des Baus ihre eigene BBB ein. Diese verlangte von der Totalunternehmung laufend Kontrollen der Bodenfeuchte, der bodenrelevanten Arbeitsabläufe und der ausgehobenen Bodenkubaturen und stand der Oberbauleitung des PSI zur Verfügung, wenn es galt Schnittstellen zu bereinigen und unvorhergesehene bodenschützerische und terminliche Risiken auszuräumen. Eine wichtige Schnittstelle bildete das Zusammenspiel des Totalunternehmers mit der Unternehmung, die für die Zwi-

schonlagerung des Bodens sorgte und ihrerseits eine BBB einsetzte. Während der Bodenabtrag fahrplangetreu erfolgte, bahnten sich im Frühling 2014 Verzögerungen für die Rekultivierung an. Damit auch im verregneten Spätsommer und Herbst 2014 die Zwischenlager abgebaut und der Unterboden sachgemäss in der Geländegestaltung des SwissFEL verwendet werden konnte, hatte die Totalunternehmung rechtzeitig entschieden, die Unterbodenzwischenlager grossflächig mit einer Plastikfolie abzudecken, um sie möglichst trocken konservieren zu können. Dank dieser Massnahme konnten die Bodenarbeiten im Herbst und Spätherbst bodenschonend abgeschlossen werden und es kam zu keinen bodenschutzbedingten Projektverzögerungen.

Neue Aufgaben des Bodenschutzes

Der Bodenschutz und damit die BBB konzentriert sich in der Regel auf die chemischen und physikalischen Belastungen, die in der VBBo geregelt sind. In den letzten Jahren zeigt die Praxis aber, dass biologische Risiken an Bedeutung gewinnen. Auch in der Realisierung des SwissFEL wurde dem Umgang mit gebietsfremden Pflanzen, sogenannten invasiven Neophyten, gros-



Foto: creato

Der Unterboden wird unter einer Plastikabdeckung zwischengelagert, damit er möglichst trocken konserviert werden kann.

ses Gewicht beigemessen. Zum einen gab es vor dem Bau neophytenbelastete Standorte, deren Boden entsorgt wurde. Zum andern lagen die Unterbodenzwischenlager in Gebieten, in denen Sommerflieder, Goldruten und das Berufskraut gedeihen. Es galt zu vermeiden, dass diese Pflanzen über Samen oder Pflanzenteile mit dem Unterbodenmaterial in den Wald gelangen, zumal sie sich dort wegen fehlender Konkurrenz bevorzugt ausbreiten könnten. Somit ist auch die Materialbewirtschaftung und damit der Bodenschutz in der Verantwortung, die häufig unterschätzten Risiken, die von invasiven Neophyten ausgehen, zu minimieren. Ob das im Rahmen des SwissFEL gelungen ist, werden die Erfolgskontrollen in den nächsten Jahren zeigen. Der Schlüssel zum Erfolg liegt allerdings in der Land- bzw. Forstwirtschaft, die allein die Möglichkeit haben, aufkommende Neophytenherde rechtzeitig zu bekämpfen.

Bilanz aus Sicht des Bodenschutzes

Das Gebäude für den Freie-Elektronen-Röntgenlaser SwissFEL konnte trotz aussergewöhnlicher Rahmenbedingungen für den Bodenschutz im gesteckten Zeitrahmen gebaut werden. Zum fast reibungslosen Bauablauf haben verschiedene Faktoren beigetragen. Die Bauherrschaft hat in der Planung rechtzeitig erkannt, dass der Schutz des Bodens hohe Ansprüche stellt. Sie hat zusammen mit Fachpersonen und den Behörden einen Weg gesucht, um die Fruchtbarkeit des Bodens bestmöglich zu erhalten. Die besondere Situation, dass das PSI mit dem SwissFEL auf bestimmte Zeit im Würenlinger Wald zu Gast sein darf und danach wieder Wald zu erstellen hat, war dem Verständnis für den Bodenschutz bestimmt förderlich. Dadurch dass das PSI bereits in der Unterausschreibung strengste Bodenschutzbestimmungen definierte, erhielt der Boden von Beginn weg bei allen Akteuren die nötige Bedeutung. Die Unternehmung setzte zur Ausnutzung der kurzen, günstigen Zeitfenster auf einen sehr leistungsfähigen Maschinenpark und auf den standard-

mässigen Einsatz von Baggermatten. Aus Sicht des BBB der Bauherrschaft wurde das Mögliche getan, um nach Ablauf der Konzession eine gute Basis zu haben, damit der Standort des SwissFEL nach einigen Jahrzehnten als Wald wiederhergestellt werden kann. Der Rückbau und die Rekultivierung als Waldboden werden – eine vergleichbare Rechtslage vorausgesetzt – noch stärkere Anstrengungen erfordern, zumal mindestens ein Teil des Unterbodens durch die wieder-

holten Bewegungen und durch die lange Lagerung ohne Pflanzenbewuchs reversibel an Qualität eingebüsst haben wird.

Dieser Artikel entstand auf Anregung der Abteilung für Umwelt und in Zusammenarbeit mit dem SwissFEL-Projektleiter des PSI, Gerold Janzi.



Foto: Heli Partner AG, Sitterdorf

Der Bau für den SwissFEL ist rund 740 Meter lang und bis zu 50 Meter breit. Gut ersichtlich sind die mit Unterboden angelegten Wildübergangszonen, die bereits begrünt sind. Auf der Überdeckung mit Kies-Sand werden selten gewordene Vegetationstypen wie Halbtrockenrasen, trockene Saumgesellschaften und Kies-Pionierfluren angesiedelt.

Vorbildlicher Bodenschutz im Wald

Andreas Freuler | Abteilung Wald | 062 835 28 50

Bei der Holzernte werden in Aargauer Wäldern moderne Maschinen eingesetzt. Diese sind effizient und erleichtern die schwere und gefährliche Arbeit. Ihr Nachteil ist das hohe Gewicht und die damit verbundene Belastung des Waldbodens. Um die Auswirkungen der Befahrung örtlich zu beschränken, werden die Maschinen neben den Waldstrassen nur auf definierten Fahrlinien eingesetzt, den sogenannten Rückegassen. Einzelne Aargauer Förster verzichten im ihnen anvertrauten Wald sogar auf jegliche Befahrung des Bodens.

Bei Urs Gesell und seinem Team vom Forstbetrieb Muhlen-Hirschthal-Holziken gibt es seit 1999 keine Rückegassen mehr. Die schweren Forstmaschinen sind nur auf den Waldstrassen unterwegs. Andreas Freuler, Fachspezialist Boden der Abteilung Wald, hat mit Urs Gesell Vor- und Nachteile dieser Methode diskutiert und über seine Beweggründe gesprochen.

Die letzten Winter waren nass und die Böden kaum je gefroren. Wann mussten Sie das letzte Mal einen Holzschlag unterbrechen, weil der Boden für eine Befahrung zu nass war?

Das kommt bei uns nicht mehr vor. Die Forstmaschinen werden nur auf den Waldstrassen eingesetzt. Dadurch sind wir witterungsunabhängiger bei der Holzernte. Auch für den Forstunternehmer, der mit seinen Maschinen für uns im Einsatz ist, bedeutet dies eine grössere Planungssicherheit.

Wie bringen Sie das Holz vom Bestand an die Waldstrasse ohne solche Rückegassen?

Wir kombinieren moderne Forstmaschinen mit der motormanuellen Holzernte. Das heisst, die Forstwarte fällen die Bäume im Bestand mit der Motorsäge und ziehen sie mittels Seilwinde an die Strasse. Dort rüsten sie die untersten Meter des Baumes auf und lagern das Stammholz entlang der Waldstrasse. Der obere Teil des

Baumes und die Krone bleiben vorerst liegen. Sie werden später mit dem Vollernter entastet und auf die gewünschte Länge zugesägt.

Ihr Holzernteaufwand dürfte höher ausfallen als bei einem herkömmlichen Holzernteverfahren mit Rückegassen. Auch die Schäden an den verbleibenden Bäumen dürften höher sein. Wie mindern Sie diese Effekte?

Wir haben ein derart dichtes Netz an Waldstrassen, dass die Distanzen zum Zuziehen der Bäume meist nicht sehr weit sind. Der Aufwand, bis das Holz an der Strasse liegt, ist dennoch grösser als bei Holzernteverfahren mit Rückegassen. Dafür kann der Vollernter die Stämme ohne viel Fahrbewegung aufarbeiten und da die Maschine ausschliesslich von der Waldstrasse aus arbeitet, kann sie dies auch bei nasser Witterung tun. Der Maschinist kann also auch dann noch arbeiten, wenn er an anderen Orten die Arbeit bereits unterbrechen müsste. Die Maschine hat daher praktisch keine Stillstandszeiten und tut genau das, was sie am effizientesten kann: Bäume aufrüsten. Insgesamt sind die Kosten dadurch nicht wesentlich höher als bei einem konventionellen Holzschlag. Die Forstunternehmer offerieren ihre Arbeit bei uns nicht teurer als anderswo.

Das Risiko für Schäden an den verbleibenden Bäumen ist tatsächlich grösser. Für mich wiegt das Risiko eines



Förster Urs Gsell mit vitalen Buchen und üppiger Verjüngung

Bodenschadens aber viel schwerer als das Risiko eines Schadens an einem Baum. Ein Baum ist das Produkt, der Boden hingegen die Produktionsgrundlage. Bodenschäden haben weit langfristige Konsequenzen als ein Schaden an einem Baum. Erfahrene Forstwarte, eine sorgfältige Arbeitsweise und geeignete Verfahren mindern die Schäden zudem beträchtlich. So entasten wir beispielsweise die Bäume bereits im Bestand mit der Motorsäge, falls eine schützenswerte Verjüngung vorhanden ist. Mit dem Traktor müssen wir dann nur noch den Stamm an die Strasse ziehen und wir vermeiden so Schäden an den verbleibenden Bäumen.

Für mich stellt sich auch die Frage, ob unsere Waldbewirtschaftung nur billig sein muss. Auch mit dem rationellsten Holzernteverfahren sind wir im Durchschnitt teurer als das angrenzende Ausland. Die Produktion von wenig rentabler Massenware, beispielsweise Hack- oder Industrieholz, sollte nicht auch noch Schäden an der Sub-

stanz hinterlassen. Warum leisten wir uns als Gesellschaft nicht eine teure Bewirtschaftung des Waldes? Als Gegenwert gibt es hervorragendes Trinkwasser, ein harmonisches Waldbild und wenigstens physikalisch intakte Waldböden für unsere zukünftigen Generationen.

Sie arbeiten nun seit 16 Jahren ohne Rückegassen. Was waren die Beweggründe?

Dieser Entschluss brauchte seine Zeit. Ausschlaggebend waren Beobachtungen von Bäumen, die bereits im jungen Alter Schadensbilder zeigten. Ich fragte mich, was wohl die Gründe sein könnten. Verschiedene Kurse über Pilze und den Waldboden gaben mir Einblick in die verborgene Welt im Boden. Waldboden wird nicht bearbeitet, nicht (aktiv) gedüngt und ist zumindest vor direktem Kontakt mit Pestiziden geschützt. Dies macht Waldböden zu einem hervorragenden Trinkwasserfilter und -speicher. Waldböden sind die letzten grossflächig intakten Böden in der Schweiz. Waldboden ist Lebensraum für eine enorme Vielfalt an grösstenteils unbekanntem Lebewesen. Niemand kennt deren Bedeutung für das Ökosystem Wald. Mittels feinsten Wurzelgeflechts kommunizieren Pflanzen und Pilze, sie tauschen Stoffe aus und können sich gegenseitig helfen oder bekämpfen. Über die Auswirkungen dieses Austausches weiss man nur wenig.

Was man aber weiss: Ein Baum braucht eine grosse Krone und gesunde Wurzeln für ein gutes Wachstum. Die Grösse der Krone beeinflusst mich mit waldbaulichen Massnahmen, für die Gesundheit der Wurzeln braucht es den bestmöglichen Schutz des Bodens. Vieles kann ich nicht direkt beeinflussen, so beispielsweise den Eintrag von schädlichen Stoffen über die Luft oder die Veränderung des Klimas. Aber durch den Verzicht auf das Befahren des Waldbodens reduziere ich den Stress auf den Waldboden, die Bäume und den Wald als Ganzes. Mittlerweile arbeiten wir seit 16 Jahren ohne Rückegassen und haben gute Erfahrungen gemacht. Die Auswirkung von früheren Befahrungen wird man noch lange sehen. So wächst bei-



Foto: Abteilung Wald

Die Tannenverjüngung auf der ehemaligen Rückegasse (Bildmitte) wächst sichtbar langsamer als links und rechts des verdichteten Bodens.

spielsweise die Verjüngung auf ehemaligen Rückegassen deutlich langsamer als im angrenzenden Bestand.

Der Boden wird so optimal geschont. Gibt es weitere Vorteile dieser Art der Bewirtschaftung?

Mit jeder Rückegasse produziert man innere Waldränder. Dort sind die Bäume zum Beispiel anfälliger auf Sonnenbrand. Eine Rückegasse kann eine Windschneise bilden und Sturmschäden provozieren. Diese Effekte haben wir nicht. Vieles sieht man aber nicht auf den ersten Blick wie die Wurzelschäden durch das Befahren. Insbesondere in der Vegetationszeit, wenn die Wurzeln im Saft sind, ist die Gefahr von Wurzelschäden gross. Einen weiteren Vorteil sehe ich im veränderten Waldbild. Der Wald wirkt für mich harmonischer, ruhiger. Die Waldbesucher schätzen dies.

Sehen Sie auch Nachteile in diesem System?

Wenn wir die Bäume mit allen Ästen an die Strasse ziehen und dort aufarbeiten, haben wir entlang der Strassen eine Konzentration von Biomasse. Diese Biomasse fehlt uns im Bestand drin und kann langfristig zu einer Nährstoffverarmung führen. In Zukunft werden wir vermehrt einen Teil der Kronen im Bestand vom Stamm trennen.

In Gebieten mit sehr grossen Abständen zwischen den Waldstrassen kann die Distanz zum Zuziehen der Bäume unverhältnismässig gross werden. In solchen Fällen arbeiten wir mit einem Unternehmer mit Pferden oder selten auch mit einem Seilkran wie im Gebirge. Dies ist zwar teurer, aber nur auf einem kleinen Teil der Betriebsfläche nötig. Mit Pferden rücken wir nur zwei bis fünf Prozent der jährlich genutzten Holzmenge. Auf das Betriebsergebnis hat dies keinen Einfluss. Auf die Ruhe im Wald hingegen sehr.

Hatten Sie mit Widerständen zu kämpfen bei der Umstellung?

Nein. Diese Art zu Arbeiten wird vom Personal mitgetragen. Mein Vorarbeiter sieht durch seine Tätigkeit als Holzerlei-Instruktor viele Wälder in der ganzen Schweiz und dies bestätigt ihn darin, keinen Waldboden zu befahren. An Waldumgängen mit den Behörden und der Bevölkerung sprechen wir dieses Thema immer wieder an und bekommen positive Rückmeldungen. Überhaupt stossen wir auf reges Interesse sowohl in der Schweiz als auch aus dem Ausland. In diesem Jahr hatten wir beispielsweise eine Exkursion mit Förstern aus Österreich und Kroatien und für das nächste Jahr habe ich eine Anfrage aus den USA.

Holzrücken mit Pferden

Pferde sieht man heutzutage vor allem als Reittiere im Wald. Es gibt sie aber noch, die schweren Arbeitspferde, mit denen Holz an die Strasse gerückt wird. Auch bei Urs Gsell kommen sie regelmässig zum Einsatz. Laut Ernst Rytz, Präsident der IG Arbeitspferde, entsprechen die Rückeleistung und die Rückekosten im Schwachholz (30 bis 40 Zentimeter Stammdurchmesser, 5 Meter Länge) und bei Rückedistanzen bis 100 Meter der Leistung und den Kosten eines Verfahrens mit Traktor und Seilwinde. Laut einer Studie der Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg verursacht das Vorliefern mit Pferden zudem nur etwa die Hälfte der Schäden im Vergleich zum Verfahren mit Traktor und Seilwinde.

Eignet sich dieses Konzept für jeden Forstbetrieb?

Den Wald ohne Rückegassen möglichst schonend zu bewirtschaften ist keine Frage des Könnens, sondern des Willens. Das geht in jedem Forstbetrieb. Was uns sicherlich hilft, ist die hohe Dichte an Waldstrassen. Interessierten Forstbetrieben empfehle ich, das Verfahren in dichten, geschlossenen Beständen auszuprobieren. Die Leistung ist hoch und die Schäden an den verbleibenden Bäumen sind im Vergleich zu Verfahren mit Rückegassen erstaunlich gering.



Foto: Abteilung Wald

Holzrücken mit Pferden ist bei langen Zuzugsdistanzen eine geeignete Alternative zur Befahrung des Waldbodens mit dem Traktor.

Vollernter

Ein Vollernter fällt Bäume, entastet diese, schneidet die Stämme auf die gewünschte Länge zu und nimmt eine erste Sortierung des Holzes aufgrund der Qualität vor. Vollernter sind hochspezialisierte und teure Maschinen, deren Bedienung viel Erfahrung erfordert. Insbesondere im Schwachholz liegt die Arbeitsleistung um ein Vielfaches über derjenigen eines Forstwartes mit der Motorsäge. Die Holzernte mit Vollerntern ist ausserdem sicherer und ergonomischer als jene mit der Motorsäge. Ein Vollernter hat in der Regel eine Kranreichweite von 10 Metern. Bäume ausserhalb dieser Reichweite müssen in den Kranbereich hineingefällt oder mit dem Seil vorgeliefert werden.



Foto: Abteilung Wald

Spurensuche im virtuellen Wald

Andreas Freuler | Abteilung Wald | 062 835 28 50

Zum Schutz des Waldbodens und als Hilfe im Arbeitsalltag empfiehlt die Abteilung Wald das Dokumentieren der Feinerschliessung. Ein seit Sommer 2014 zur Verfügung stehendes digitales Terrainmodell erleichtert die Erfassung von Rückegassen erheblich.

Um Bodenschäden zu vermeiden, verzichten einzelne Förster in ihren Revieren auf die Befahrung des Waldbodens (Artikel «Vorbildlicher Bodenschutz im Wald» in dieser Broschüre auf Seite 25). In der Regel wird für die Waldbewirtschaftung aber ein System von Rückegassen angelegt. Ziel dieser Feinerschliessung ist die Bewirtschaftung von möglichst viel Fläche mit möglichst wenig Befahrung. Die Feinerschliessung reduziert das Risiko von Bodenschäden und Schäden an den

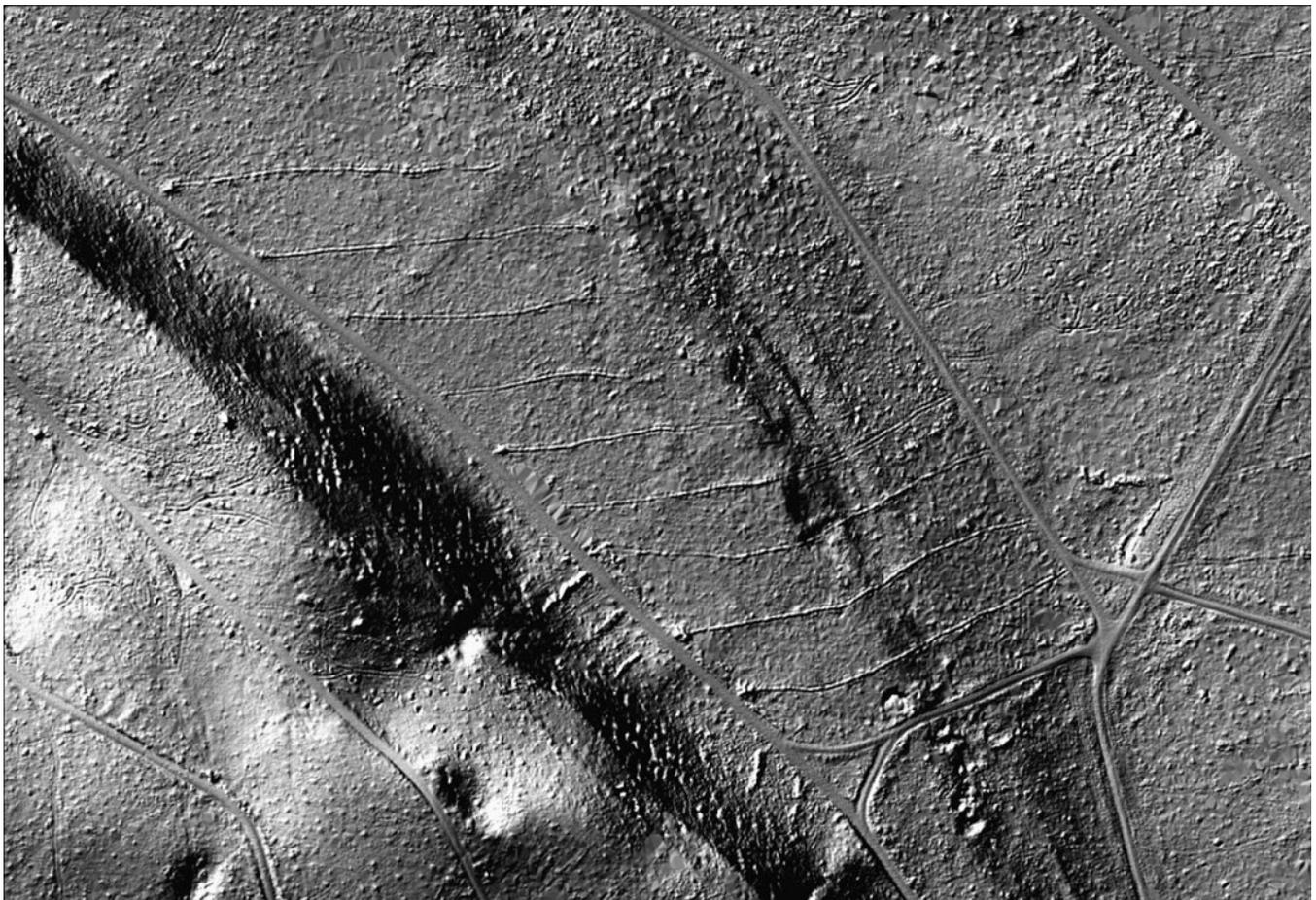
verbleibenden Bäumen auf eine kleine Fläche bzw. auf wenige Bäume. Sie dient zudem der Arbeitssicherheit, der Übersicht und der Effizienz. Eine Befahrung bedeutet immer eine Störung des Waldbodens. Von einer einmal eingerichteten Feinerschliessung soll daher nicht mehr abgewichen werden.

Fernerkundung erleichtert die Erfassung

Die Abteilung Wald empfiehlt, die Feinerschliessung zu digitalisieren. Bisher

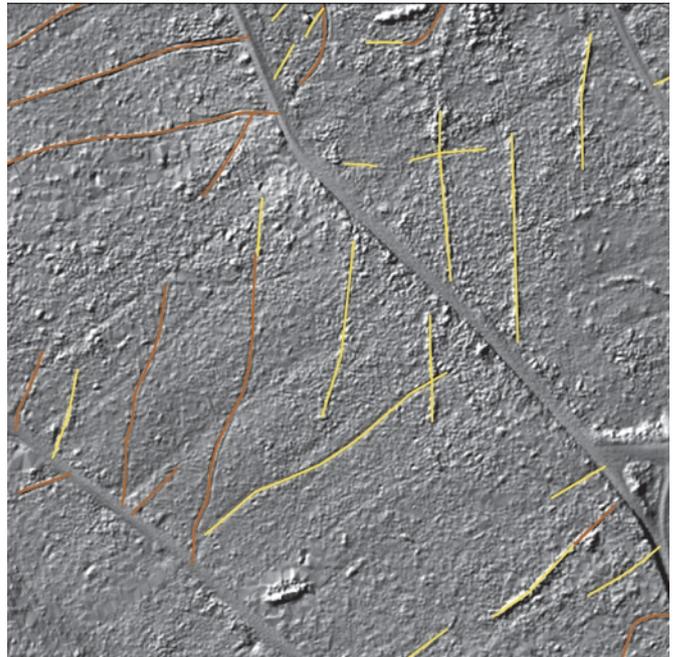
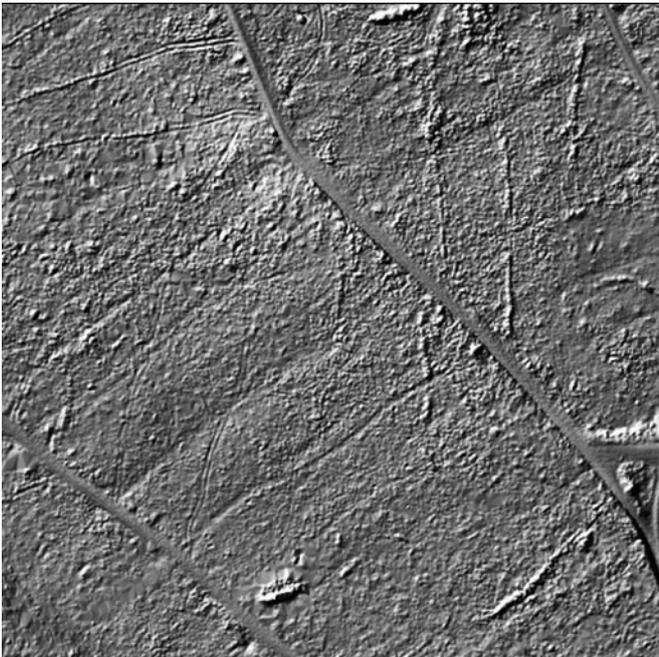
wird dies mit hochpräzisen GPS-Geräten gemacht. Solche Aufnahmen sind aber zeitaufwändig. Es können in einer Stunde etwa drei Hektaren digitalisiert werden. Als Vorarbeit zu den Aufnahmen mit GPS wird auf Orthofotos nach Fahrspuren gesucht. Diese Spuren können am Computer digitalisiert werden und helfen, den Aufwand draussen zu reduzieren. Allerdings sind nur wenige Spuren direkt auf den Orthofotos sicht- und somit digitalisierbar.

Im Jahr 2014 wurden für den Kanton Aargau im Auftrag der Abteilung Wald LiDAR-Daten (Light Detecting And Ranging) aufgenommen. Aus einem Flugzeug wurde unter anderem die Bodenoberfläche mit Laser-Impulsen abgetastet. Die Punktdichte ist mit über 10 Punkten pro Quadratmeter sehr hoch. Das aus diesen Daten er-



LiDAR-Terrainmodell mit deutlich sichtbaren Fahrspuren

Kartendaten: AGIS



Beispiel für die Klassierung der Spuren: Deutlich sichtbare Spuren sind braun, vermutete Spuren gelb eingezeichnet.

Kartendaten: AGIS

stellte Terrainmodell ist entsprechend detailliert und zeigt auch feine Höhenunterschiede. So werden Asthaufen, Wurzelstöcke aus Windwurf, Gräben und auch Fahrspuren sichtbar. Da die Daten sehr genau sind (Höhengenauigkeit 5 bis 7 Zentimeter, Lagegenauigkeit horizontal 2 bis 15 Zentimeter), können die Spuren mit einem Geographischen Informationssystem (GIS) direkt nachgezeichnet werden.

Möchte ein Forstbetrieb in einem Gebiet seine Feinerschliessung digitalisieren und optimieren, so reduziert sich der Aufwand mit Hilfe des LiDAR-Terrainmodells erheblich. In einem

Feinerschliessung

Bei der Waldpflege werden grosse Maschinen eingesetzt. Diese sind effizient und ermöglichen sicheres und bestandesschonendes Arbeiten. Die Maschinen arbeiten entweder von der Waldstrasse aus oder auf dafür definierten Rückegassen. Dies sind baumfreie Schneisen. Das System der Rückegassen wird auch als Feinerschliessung bezeichnet.

ersten Schritt werden alle gefundenen Spuren digitalisiert. Dabei erfolgt eine Klassierung in «deutlich sichtbare» und in «vermutete» Fahrspuren. «Deutlich sichtbar» ist eine Spur, wenn die linke und rechte Radspur zu sehen sind. Als «vermutet» werden längliche Objekte in plausibler Breite und Lage – aber ohne sichtbare Radrillen – klassiert. Als zweiter Schritt folgt die Beurteilung der Spuren durch den Förster. Bei deutlich sichtbaren Spuren muss der Förster entscheiden, ob die betreffende Spur Teil des Feinerschliessungssystems ist oder ob sie im bereinigten System nicht mehr verwendet wird. Gehört die Spur zum System, wird sie als Rückegasse digitalisiert. Dies kann mit Lokalkenntnissen in der Regel vom Büro aus gemacht werden. Bei den vermuteten Spuren braucht es oft eine Überprüfung im Wald, um festzustellen, ob es sich um eine Fahrlinie handelt. Vereinzelt sind solche Objekte auch durch die Betrachtung eines Orthofotos bereits im Büro identifizierbar.

Mit dieser Methode reduziert sich die zeitintensive Arbeit mit dem GPS deutlich. So konnten in einem Forstrevier ohne Lokalkennntnis 70 Prozent der vorhandenen Rückegassen direkt im Büro digitalisiert werden. Der Zeit-

bedarf für die Spurensuche mit LiDAR beträgt etwa eine Stunde für 100 Hektaren. Nebst der Effizienzsteigerung können mit dem LiDAR-Terrainmodell vergessene und in dichtem Bewuchs nicht mehr sichtbare Fahrlinien gefunden werden. Die so entdeckten Spuren können anschliessend wieder benutzt werden. Der Einsatz des LiDAR-Terrainmodells trägt damit wesentlich dazu bei, möglichst viel Waldboden unberührt zu erhalten.

Das LiDAR-Terrainmodell kann in den Online-Karten im Geoportal des Kantons Aargau angeschaut und im Geodatenshop bezogen werden (www.ag.ch/geoportal). Die Förster können es zudem als Hintergrundkarte in der BKOnline, der GIS-Arbeitsplattform für die Bestandeskartierungen, einblenden. Die Abteilung Wald unterstützt und berät die Förster bei der Digitalisierung und Optimierung der Feinerschliessung.

Boden schonende Anbauverfahren

Christoph Ziltener | Landwirtschaftliches Zentrum Liebegg | 062 855 86 82

In landwirtschaftlichen Lehrmitteln und Merkblättern ist zu lesen, dass fruchtbarer Boden eine der wichtigsten Grundlagen für die Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln ist. Zudem wird Boden als der zentrale Produktionsfaktor in der Landwirtschaft beschrieben. Die Art und der Zeitpunkt der Bodenbearbeitung sowie der Hilfsstoffeinsatz beeinflussen die Bodenfruchtbarkeit. Die Landwirtschaft ist grundsätzlich bemüht, Verdichtung, Erosion und Schadstoffanreicherung zu vermeiden.

Landwirtschaftlich genutzte Böden haben einen grossen Stoffumsatz. Bei ackerbaulicher Nutzung wird nach der Bodenbearbeitung gesät, Dünger ausgebracht und Pflanzenschutzmittel appliziert oder es werden mechanische Pflegemassnahmen vorgenommen. Wenn die Pflanzen reif sind, erfolgt die Ernte. Erntereste werden danach abgeführt. Stroh beispielsweise wird als Einstreu für die Liegeflächen der Nutztiere verwendet. Teilweise werden die Nebenprodukte der Ernte aber auch liegengelassen und stehen so

den Bodenlebewesen als Nahrungsgrundlage zur Verfügung. Dabei kann beobachtet werden, wie Regenwürmer Stroh und Pflanzenreste in ihre Wurmgänge hineinziehen. Regenwürmer sind so in der Lage, Erntereste in den Boden einzumischen.

Bodenbearbeitung kann sich auch negativ auswirken

Landwirte machen weltweit bei der Bodenbearbeitung dasselbe, teilweise allerdings mit schweren Maschinen und grossem Aufwand. Wirtschaftli-

cher Druck, stetiges Flächenwachstum und begrenzte Zeitfenster für die Feldarbeiten haben die Landtechnik in den vergangenen vierzig Jahren enorm verändert. Die beeindruckenden Leistungen der Maschinen für Bodenbearbeitung, Saat, Pflege und Ernte sowie den Abtransport haben aber auch ihre Schattenseiten. Die Maschinen wurden mit den Jahren zunehmend schwerer und verdichten teilweise den Boden. Dadurch kann der Boden das Niederschlagswasser regelmässig nicht mehr genügend aufnehmen. Bei grossen Regenereignissen fliessen vermehrt Wassermassen oberflächlich ab und schwemmen im schlechteren Fall Boden, Nährstoffe und Pflanzenschutzmittel in die Gewässer, wo sie schädigend wirken. Aber auch intensive Bodenbearbeitung, die zu sehr feinem Boden führen kann, kann verdichtend wirken, da das Porensystem im Boden vorübergehend zerstört wird.



Foto: Hansjörg Fürter, Landwirtschaftliches Zentrum Liebegg

Beim Strip-Till-Verfahren wird nur streifenweise der Wurzelraum der zu säenden Kulturpflanze, beispielsweise Mais, gelockert.

Was tun, damit der Boden besser geschützt wird?

Pflügen ist im Ackerbau ein traditionelles, bekanntes und bewährtes Anbauverfahren, das jedoch auch seine negativen Seiten hat. Das Wenden des Bodens ist ein massiver Eingriff in seine Struktur und das Bodenleben. Daher suchten Landwirte, Forscher und die Landtechnikindustrie seit den 80er-Jahren nach alternativen Anbauverfahren. Diese sollten den Eingriff in den Boden reduzieren, aber gleichzeitig auch vergleichbare und

stabile Erträge ermöglichen. Im Zentrum stand, den Boden zu lockern, ohne ihn zu durchmischen, ihn nur noch flach oder bei Reihenkulturen nur noch streifenweise zu lockern oder die Sätechnik so anzupassen, dass überhaupt keine Bodenbearbeitung mehr nötig ist. Das Ziel war dabei immer, die Bodenstruktur möglichst intakt zu belassen und Ernterückstände der Vorkultur an der Oberfläche zu haben, da der Boden so besser geschützt bleibt. Unter dem Begriff «konservierende Bodenbearbeitung» werden die unter-

schiedlichen Anbauverfahren mit reduziertem Bodeneingriff zusammengefasst.

Wandel bei Anbauverfahren und Landtechnik

In der Zeit vor der konservierenden Bodenbearbeitung waren Sämaschinen für den regelmässigen Aufgang der Kulturpflanzen auf ein ebenes und sauberes Saatbeet ohne Ernterückstände angewiesen. Mit der aufkommenden konservierenden Bodenbearbeitung entwickelte die Landtechnikindustrie Sämaschinen, die auch auf unebenen Äckern mit einer Mulchschicht von Ernteresten gleichmässige Pflanzenbestände ermöglichten.

Vorteile der konservierenden Bodenbearbeitung

Die Mulchsaat beispielsweise machen sich Lohnunternehmer bei der Zuckerrübenenernte im Herbst jeweils zunutze, weil diese Parzellen wegen der Tragfähigkeit des Bodens nach Niederschlägen eher wieder befahren werden können. Die Vorteile von konservierenden, bodenschonenden Anbauverfahren sind ein verbesserter Erosionsschutz, eine höhere Tragfähigkeit, um Verdichtungen vorzubeugen, weniger Abschwemmung von Nährstoffen und weniger Nitratauswaschung sowie eine höhere Bodenfeuchtigkeit, damit bei Trockenheit mehr Bodenwasser für die Pflanzen zur Verfügung steht. Diese Vorteile können mit Blick auf den Klimawandel, der vermehrt extreme Witterungsereignisse wie Starkregen oder Trockenperioden mit sich bringt, sehr wichtig werden.

Eigene Direktzahlungsart für schonende Bodenbearbeitung

Da bodenschonende Anbauverfahren erhöhte Anforderungen an Landwirte und Landwirtinnen stellen und die Risikobereitschaft dafür teilweise fehlt, können sie sich nur langsam in der Praxis durchsetzen. Aus diesen Gründen wurde mit der Agrarpolitik ab 2014 eine neue Direktzahlungsart definiert, die mit Flächenbeiträgen die pfluglosen Anbauverfahren Direkt-, Mulch- und Streifenfrässaat sowie Strip Till fördert.

Konservierende Anbauverfahren

- **Direktsaat:** Direktsaat ist ein Anbausystem, bei dem das Saatgut direkt in den Boden abgelegt wird. Spezielle Scheiben- oder Meisselsäschare öffnen oder lockern lediglich einen schmalen Schlitz im Boden und legen den Samen darin ab. Um die Kultur vor Konkurrenz durch die Begleitflora zu schützen, wird im Voraufbau ein Totalherbizid und im Nachaufbau bei Bedarf ein für die jeweilige Kultur gebräuchliches Herbizid eingesetzt.
- **Mulchsaat:** Bei der Mulchsaat wird auf eine wendende Bodenbearbeitung verzichtet. Gesät wird direkt in eine Mulchschicht auf oder nahe der Ackeroberfläche. Diese Mulchschicht kann aus Ernterückständen oder Pflanzenresten der Haupt- bzw. Zwischenfrucht bestehen.
- **Streifenfaat:** Ziel der Streifenfaat ist ein besserer Schutz des Bodens vor Erosion und eine Verbesserung der Bodenstruktur. Dabei wird unterschieden zwischen der Streifenfrässaat und dem Strip-Till-Verfahren. Bei der **Streifenfrässaat** werden 25 bis 30 Zentimeter breite Streifen in den Wiesenbestand, die Zwischenkultur oder das Stoppelfeld gefräst. Anschliessend wird direkt in diese Streifen gesät. Bei **Strip Till** wird nur streifenweise der Wurzelraum der zu säenden Kulturpflanze gelockert.

Quelle: Gemäss Lehrmittel Pflanzenbau für Lernende in der Landwirtschaft im 1. Lehrjahr



Beim Mulchsaat-Verfahren wird eher flach gearbeitet. Nach der Saat bleiben Pflanzenreste an der Bodenoberfläche liegen.

Bodenschutz ist Grundwasserschutz

Christoph Mahr | Abteilung für Umwelt | 062 835 33 60

Aus dem Grundwasser beziehen wir unser wichtigstes Lebensmittel – das Trinkwasser. Ein gesunder Boden filtert und reinigt das Niederschlagswasser, bevor es ins Grundwasser gelangt. Aktiver Bodenschutz in der Nähe von Trinkwasserfassungen leistet einen wichtigen Beitrag zum Grundwasserschutz und dient somit uns allen.

Dank seiner Struktur wirkt der Boden als Filter, der gelöste oder gasförmige Stoffe zurückhält. Für die Versorgung der Pflanzen mit Nährstoffen ist diese Filter- und Speichereigenschaft sehr wichtig. Aufgrund seiner biologischen Aktivität ist der Boden gleichzeitig ein Reaktor, in dem zahlreiche Umwandlungsprozesse stattfinden. Solche Abbauprozesse verringern die Konzen-

trationen der wirksamen Substanzen von vielen in der Landwirtschaft verwendeten Hilfsstoffen wie beispielsweise Pflanzenschutzmitteln. Abbauprozesse vermindern aber gleichzeitig auch das Risiko, dass die Stoffe in hohen Konzentrationen aus dem Wurzelbereich ins Grundwasser ausgewaschen werden.

Der Boden wirkt als Biofilter

Pflanzenschutzmittel sind wasserlöslich und im Grundwasser unerwünscht. Ihr Eintrag in den Untergrund erfolgt durch Niederschläge. Die Verlagerung der Pflanzenschutzmittel in die Tiefe ist direkt abhängig von der Bewegung des Wassers im Boden. Von Bedeutung sind im Weiteren die Wechselwirkungen mit festen Bodenbestandteilen (Sorptions) sowie mit Organismen (Abbau). Durch eine Anlagerung (Adsorption) an Bodenpartikel oder eine Aufnahme (Absorption) in organische Bestandteile des Bodens kann die Verlagerung in die Tiefe unter Umständen stark verzögert werden. Je länger Pflanzenschutzmittel im biologisch aktiven Oberboden verweilen, umso grösser ist die Chance, dass ungenutzte Pflanzenschutzmittel abgebaut werden. Entsprechend nimmt bei langer Verweildauer die Gefahr einer Auswaschung ab.

Reinigungsprozesse im Untergrund

Bei der Versickerung des Niederschlagswassers spielen sich im belebten Boden, das heisst im Oberboden und im Unterboden, Reinigungs-

Nutzungseinschränkungen in Grundwasserschutzzonen

Innerhalb der Grundwasserschutzzonen gelten Nutzungseinschränkungen und Bestimmungen, die nach den Zonen S3 bis S1 differenziert sind. Die folgende Auflistung ist nicht abschliessend und enthält nur die wichtigsten Punkte.

Zone S3

- Keine grundwassergefährdende Industrie- und Gewerbebetriebe
- Kein Materialabbau
- Keine Deponien
- Keine Einbauten unter den höchsten Grundwasserspiegel
- Nachweis von dichten Abwasserleitungen alle fünf Jahre

Zone S2

- Alle Einschränkungen der Zone S3
- Bauverbot
- Keine Grabungen und Terrainveränderungen
- Kein Einsatz grundwassergefährdender Pflanzenschutzmittel
- Gülleverbot
- Abwasserleitungen im Doppelrohrsystem

Zone S1

- Es sind nur Tätigkeiten erlaubt, welche der Trinkwassernutzung dienen.



Foto: Abteilung für Umwelt

Das Bodenprofil zeigt die Aufteilung des Bodens in Ober- und Unterboden. Vor allem in den obersten 30 Zentimetern (Humus) finden die biologischen Abbauprozesse statt.

prozesse ab, die für die Qualität des Grundwassers ausschlaggebend sind. Feste Teilchen werden in den Bodenporen ausfiltriert und gelöste Stoffe werden durch Sorption oder biochemische Prozesse zurückgehalten. Ein Grossteil der Belastungen des versickernden Niederschlagswassers kann im Oberboden und Unterboden zurückgehalten beziehungsweise abgebaut werden. Demgegenüber fin-

det unterhalb des Bodens ein überwiegend vertikaler Transport des Wassers statt. Rückhalte- sowie Abbauprozesse spielen dort nur noch eine untergeordnete Rolle. Im Grundwasser werden die meisten gelösten Stoffe relativ rasch über grössere Distanzen transportiert und verdünnt.

Bodenschutz in Grundwasserschutzzonen

In der Nähe von Grundwasserfassungen ist es sehr wichtig, dass möglichst keine Eingriffe in die schützende Deckschicht erfolgen.

In der gesamten Grundwasserschutzzone ist deshalb gemäss der Gewässerschutzverordnung (GSchV) die Ausbeutung von Kies, Sand und anderem Material verboten. Die Grundwasserschutzzonen werden in drei Zonen

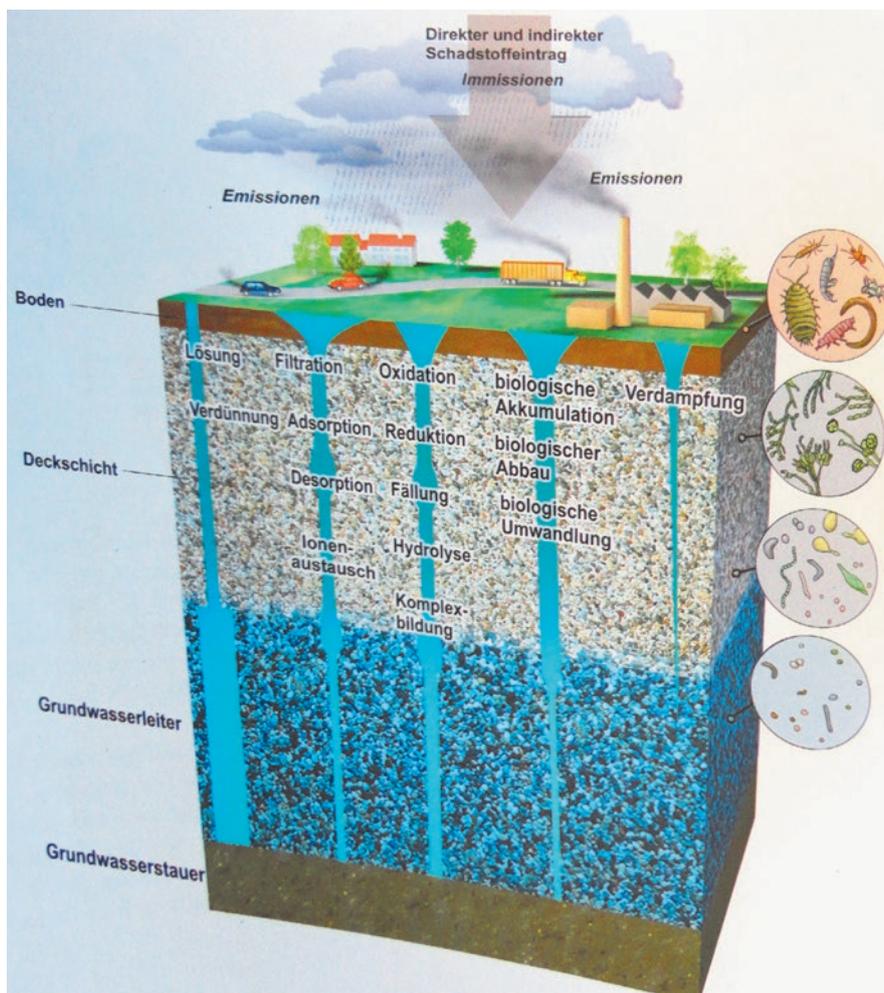
aufgeteilt. Die Zone S1 beinhaltet den unmittelbaren Fassungsbereich und schützt die Fassung vor Beschädigungen und der direkten Verunreinigung.

In der engeren Grundwasserschutzzone S2 sind alle Grabungen und Terrainveränderungen untersagt, welche die schützende Deckschicht nachteilig verändern. Die landwirtschaftliche Nutzung ist zwar gestattet, es ist aber eine schonende Beweidung und ein möglichst hoher Wiesenanteil anzustreben. Eine intensive Landwirtschaft führt ausserdem dazu, dass mehr Nitrat ins Grundwasser ausgewaschen wird. Die Zone S3 (weitere Schutzzone) bildet eine Pufferzone um die Zone S2. Sie soll gewährleisten, dass bei einer drohenden Gefahr genug Zeit und Raum bleibt, um zu reagieren.

Ein gesunder Boden schützt das Grundwasser

Die belebte Bodenschicht wirkt als natürlicher Filter und baut Schadstoffe ab. Damit der Boden diese Funktion wahrnehmen kann, muss er intakt bleiben. Ein Boden verliert seine Schutzfunktion, wenn er:

- abgegraben oder erodiert wird;
- versiegelt wird;
- zu stark verdichtet wird;
- Schadstoffen ausgesetzt wird;
- einseitig ausgelaugt oder gedüngt wird;
- ständig durchnässt wird;
- vollständig ausgetrocknet wird;
- seiner schützenden Vegetation beraubt wird.



Waldböden sind perfekte Grundwasserschützer

Standortgerechte Laubmischwälder mit geringem Nadelholzanteil sind den Nadelwäldern in tieferen Lagen aus der Sicht des Grundwasserschutzes vorzuziehen, weil diese weniger Schadstoffe anreichern und mehr Nitrat binden können. Zusätzlich garantieren der hohe Humusgehalt vieler Waldböden, die damit verbundene Vielfalt an Bodenorganismen sowie die ganzjährig gute Durchwurzelung und Bodenbedeckung fast überall im Wald eine gute Filterfunktion. Um eine unerwünschte Nitratauswaschung aus Waldböden zu verhindern, dürfen die Bäume im Einzugsgebiet von Trinkwasserfassungen nicht grossflächig gefällt werden. Ausserdem ist der Einsatz von Erntemaschinen wegen der Gefahr der Bodenverdichtung auf Waldwege und Rückegassen zu beschränken.

Elimination von Schadstoffen: Die senkrechten Säulen zeigen durch ihre Breite, wo und durch welche Prozesse im Boden und im Untergrund Schadstoffe vorwiegend zurückgehalten bzw. abgebaut werden.

Quelle: Wegleitung Grundwasserschutz, BUWAL

Bodendaten sind wichtig für die Hochwasserprognose

Dominik Mösch | Abteilung für Umwelt | 062 835 33 60
Chris Lienert | Abteilung Landschaft und Gewässer | 062 835 34 50

Das Bodenmessnetz Nordwestschweiz liefert im Aargau an 10 Standorten Informationen zum aktuellen Boden- und Witterungszustand. Die Daten werden unter anderem für die Hochwasserprognose verwendet. Je gesättigter ein Boden mit Wasser ist, desto geringer ist sein zusätzliches Speichervermögen und desto höher der Oberflächenabfluss, der schliesslich zu Hochwasserereignissen führen kann.

Eine der wichtigsten Bodenfunktionen ist die Wasserspeicherung. Boden besteht zu mehr als 50 Prozent aus unterschiedlich grossen Poren. Das Wasser wird in diesem Porensystem im Boden zurückgehalten. Die Gesamtzahl der Poren, das Porenvolumen, ist abhängig von der Bodenart, dem Gehalt an organischer Substanz, der Bodenentwicklung und der Bodenbewirtschaftung. Auch Wurzel- und Tierröhren sowie Schrumpfungsrisse bei sehr

trockenen Böden gehören dazu. Ein Waldboden hat ein höheres Porenvolumen als ein intensiv genutzter Ackerboden bei gleichen Bodeneigenschaften, da die Bewirtschaftungsform die Ausbildung des Porensystems beeinflusst. Ein typischer Boden im Aargauer Mittelland kann 500 Liter Wasser pro Quadratmeter speichern. Dies entspricht in etwa dem halben Jahresniederschlag.



Infiltrationsversuch in einem Maisfeld. Mit Lebensmittelfarbe eingefärbtes Wasser wird gleichmässig auf die Bodenoberfläche gegeben. In den Grobporen versickert das Wasser relativ rasch. Im Bereich der Pflanzen dienen die Wurzelkanäle als Transportroute in die Tiefe. Links neben den Pflanzen befindet sich eine Fahrspur, in der die Versickerung infolge Verdichtung gehemmt ist.

Das Wasser kann in den Grobporen (über 10 Mikrometer gross) in den Boden versickern und bleibt in mittelgrossen Poren (0,2 bis 10 Mikrometer) pflanzenverfügbar gespeichert. Das Wasser in den Feinporen (kleiner als 0,2 Mikrometer) ist nicht pflanzenverfügbar. Die Wurzeln können es nicht aufnehmen, da es zu stark gebunden ist.

Je besser das Porensystem ausgeprägt ist, desto mehr Wasser kann gespeichert werden. Bei verdichteten Böden sind vor allem die Grobporen zusammengepresst. Lufthaushalt und Wasserspeicher sind somit stark beeinträchtigt. Stehendes Wasser, das nicht versickern kann, und eingeschränktes Pflanzenwachstum sind typische Merkmale solcher Böden.

Bodenfeuchtemessnetz

An 10 Standorten im Kanton Aargau werden im Rahmen des Bodenfeuchtemessnetzes Nordwestschweiz (www.bodenmessnetz.ch) Niederschlag, Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur über der Erde sowie die Bodenfeuchte in Form der Saugspannung und die Bodentemperatur in 20 und 35 Zentimeter Bodentiefe gemessen. Für die Wahl der Messstationen wurde an jedem Standort ein Bodenprofil gegraben. Dadurch sind die Bodeneigenschaften wie Bodenart, Bodengefüge und auch die Lagerung der einzelnen Bodenteilchen zueinander genau bekannt. Anhand dieser Bodengrundlagen ist die theoretische Wasserversickerung und Wasserspeicherung ohne Einfluss von Bewirtschaftung, Vegetation und Entwässerungsmassnahmen (Drainagen) abschätzbar. Für den Zusammenhang zwischen Boden und Hochwasser sind von den Messwerten, die im Bodenmessnetz Nordwestschweiz verfügbar sind, der Niederschlag und die Bodenfeuchte (ausgedrückt durch die Saugspannung) von entscheidender Bedeutung neben den standörtlichen Bodeneigenschaften. Wenn mehr Niederschlags-



Foto: Dominik Wösch

Wird Boden bei nassen Bedingungen befahren, wird er verdichtet und Oberflächenwasser kann nicht mehr versickern. Der Porenraum ist in diesem Bereich massiv geschädigt und das Gras sprichwörtlich erstickt.

wasser auf den Boden fällt, als dieser je intensiver die Niederschläge sind aufnehmen kann, fließt das Wasser und je langsamer die Niederschläge als Oberflächenwasser ab. Der Anteil vom Boden aufgenommen werden an Oberflächenwasser ist umso höher, können. Wenn das Wasser den gesam-

ten Porenraum ausfüllt, spricht man von einem wassergesättigten Boden. Bei ton- und schluffreichen Böden ist der Anteil an Oberflächenwasser meist höher als bei sandigen Böden und bei verdichteten Böden höher als bei nicht verdichteten. Wenn der Boden bereits weitgehend wassergesättigt ist, spricht die Saugspannungswerte der Messstationen 0 betragen, ist der Anteil an Oberflächenwasser besonders gross, da der Boden kaum noch zusätzliches Wasser aufnehmen und speichern kann. Im Bodenmessnetz Nordwestschweiz sind die Böden in der vegetationsfreien Zeit und während der Wintermonate ab Oktober bis März meist sehr nass bis wassergesättigt. Aber auch in niederschlagsreichen Perioden während der Vegetationszeit können die Böden rasch wassergesättigt sein (Beispiel Sommer 2014).

Niederschlag und Bodenfeuchte sind ausschlaggebend

Um Hochwasserprognosen und eine umfassende Lagebeurteilung für Hochwassergefahren machen zu können, sind aktuelle und historische Daten

Datenquellen für die Niederschlagsdaten in HydroWeb

- Kanton Aargau: Bodenmessnetz Nordwestschweiz, Abteilung für Umwelt
- Kanton Aargau: Messnetz an Abwasserreinigungsanlagen und Regenbecken, Abteilung für Umwelt
- Kanton Aargau: Messnetz Strassenmeteo, Abteilung Tiefbau
- Kanton Aargau: Messnetz Agrometeo, Landwirtschaft Aargau
- Kanton Zürich: Messnetz Hydrometrie, ausgewählte kantonale Stationen
- Kanton Luzern: Messnetz Hydrometrie an Abwasserreinigungsanlagen und Regenbecken, Dienststelle Umwelt und Energie
- Kanton Luzern: Messnetz Strassenmeteo, Dienststelle Verkehr und Infrastruktur
- MeteoSchweiz: Messnetz Swissmetnet, Stationen auf Aargauer und benachbartem Kantonsgebiet
- Eidgenössische Forschungsanstalt Wald, Schnee und Landschaft WSL: Stationen auf Aargauer Kantonsgebiet
- Privater Eigentümer MeteoGroup: Stationen auf Aargauer Kantonsgebiet

Datenquellen für die Abfluss- und Wasserstandsdaten in HydroWeb

- Kanton Aargau: Messnetz Hydrometrie und Hochwasserrückhaltebecken, Abteilung Landschaft und Gewässer
- Kanton Luzern: Messnetz Hydrometrie, ausgewählte Stationen
- Kanton Zürich: Messnetz Hydrometrie, ausgewählte Stationen und Hochwasserrückhaltebecken
- Bundesamt für Umwelt BAFU: Messnetz Hydrometrie, Stationen auf Aargauer und benachbartem Kantonsgebiet
- Landesamt für Umwelt, Messungen und Naturschutz, Baden-Württemberg, Deutschland: Messnetz der Hochwasservorhersagezentrale, ausgewählte Stationen Zuflüsse Rhein

Die Integration der Niederschlagsdaten des Bodenmessnetzes Nordwestschweiz und weiterer oben erwähnter Messnetze hat erheblich dazu beigetragen, die Datengrundlage bezüglich Niederschlag im Kanton Aargau zu verdichten und zu verbessern. Mit bescheidenem Aufwand können weitere automatisierte Messnetze oder einzelne Stationen bestehender Messnetze in HydroWeb für die online-Visualisierung integriert werden.

von Abflüssen an Gewässern, von Niederschlagsdaten sowie Bodenfeuchteinformationen nötig. Der Niederschlag bildet den Input für den Abfluss in die Gewässer. Die Abflussbildung ist wesentlich vom Wasserspeichervermögen der Böden abhängig. Je nach Sättigungsgrad der Böden wird der Niederschlag schneller oder

langsamer oberflächlich abflusswirksam. Die Bodenfeuchte beeinflusst damit die Abflussbereitschaft eines Einzugsgebiets entscheidend mit. Zusammen mit Niederschlagsdaten und den momentanen Abflüssen kann mit Bodenfeuchteinformationen somit besser eingeschätzt werden, wie sensibel ein Gewässer auf noch weiteren Nie-

derschlag reagiert. Solche Informationen bilden die Grundlage für die Beurteilung von sich anbahnenden Hochwassergefahren. Diese Beurteilungen ihrerseits sind grundlegend für die Arbeit des Hochwasserpikettendienstes des Kantons Aargau.

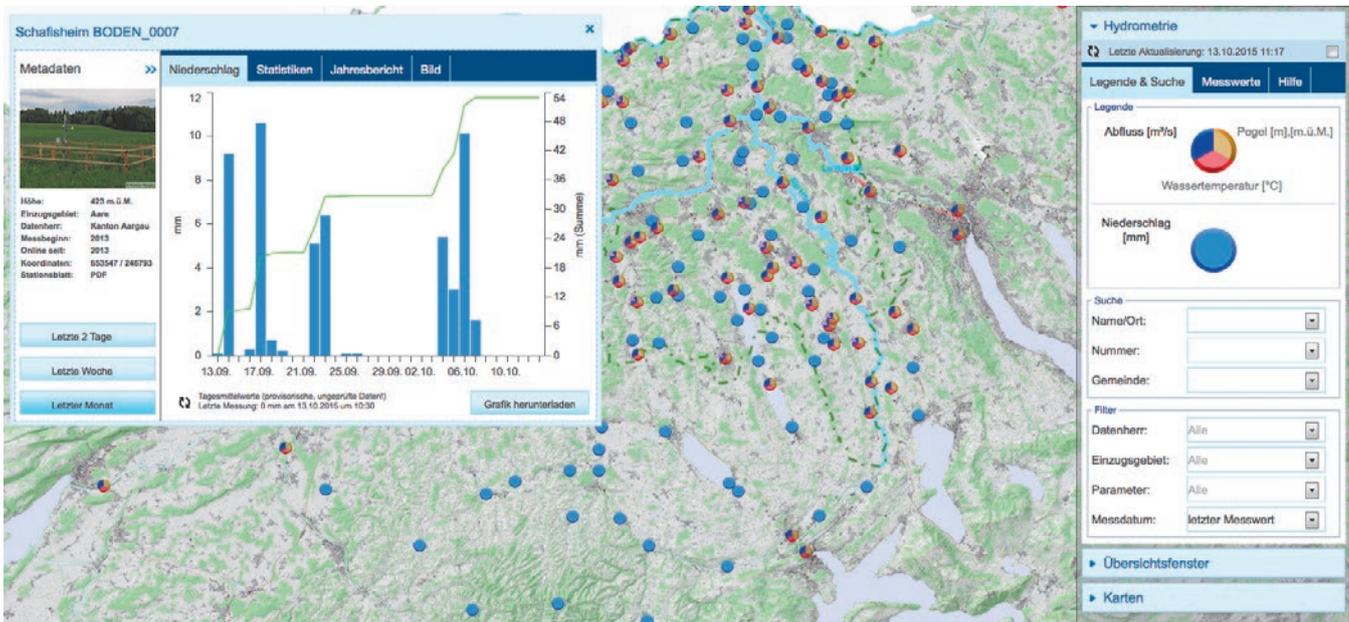
Um einfach und rasch an das gewünschte Datenmaterial zu gelangen, werden relevante Daten online und automatisiert erhoben und sehr zeitnah auf dem Internet publiziert. Vom Bodenmessnetz Nordwestschweiz werden seit Messbeginn (Mitte 2013) die Bodenfeuchte- und Niederschlagsdaten in der zentralen Hydrometrie-Datenbank (WISKI) geführt. Aus dieser Datenbank heraus werden die Niederschlagsdaten des Bodenmessnetzes auf der Web-Plattform HydroWeb des Fachbereichs Hydrometrie integriert und zusammen mit weiteren Niederschlags-, Abfluss- und Wasserstandsdaten seit September 2014 veröffentlicht. Auf HydroWeb werden eine ganze Reihe von Abfluss-, Wasserstands- und Niederschlagsdaten aus unterschiedlichen Datenquellen zusammengeführt und einheitlich im kantonalen AGISviewer visualisiert (www.ag.ch/hydrometrie/karte).

Was versteht man unter Saugspannung?

Der Boden besteht aus festen Bestandteilen (Matrix) und dazwischenliegenden Hohlräumen. Diese sind strukturiert und stellen ein zusammenhängendes System für den Gas- und Wasserhaushalt im Boden dar. Bei Wassersättigung (beispielsweise nach starkem Niederschlag oder in der Vegetationsruhe) sind alle Poren mit Wasser gefüllt. Bedingt durch die Schwerkraft entleeren sich grosse Poren aber sehr schnell. In den mittleren und feinen Poren dagegen wird das Bodenwasser aufgrund der hier wirkenden Kapillarkräfte festgehalten.

Diese Kraft, physikalisch gesehen ein Unterdruck, nennt man Saugspannung. Sie entspricht auch der Kraft, welche die Pflanzenwurzeln aufbringen müssen, um dem Boden überhaupt Wasser entziehen zu können.

Die Saugspannung stabilisiert mit zunehmendem Unterdruck die festen Bodenteilchen immer besser und hat damit einen direkten Einfluss auf die mechanische Belastbarkeit des Bodens. Bei hoher Saugspannung ist daher auch die Tragfähigkeit des Bodens viel grösser und die Gefahr von Bodenschäden durch Verdichtung ist klein. Hingegen ist bei feuchtem oder gar nassem Boden und der damit verbundenen geringen Saugspannung die Verdichtungsgefahr viel grösser.



Hier ist die Hochwasserlage von Anfang Mai 2015 aufgezeigt. Abfluss-, Wasserstand- und Wassertemperaturdaten sind mit drei-geteilten Kreissymbolen (blau, grün, rot) und Niederschlagsdaten mit hellblauen Kreissymbolen dargestellt. Bei den Symbolen sind Fähnchen mit den aktuellsten Messdaten eingetragen. Im zusätzlichen Datenfenster in der Mitte der Karte werden das Säulendiagramm und die bemerkenswerte Summenkurve (zirka 50 Millimeter an einem Tag) des Niederschlags von Schafisheim gezeigt. Diese Station ist Teil des Bodenmessnetzes Nordwestschweiz.

Quelle: www.ag.ch/hydrometrie/karte

Das archäologische Bodenarchiv unter Druck

Georg Matter | Christoph Reding | Kantonsarchäologie Aargau | 062 835 23 00

Für viele Epochen der Vergangenheit sind die im Boden liegenden archäologischen Hinterlassenschaften die einzigen Informationsquellen. Hauptsächlich wegen der momentanen Baudynamik steht dieses archäologische Bodenarchiv unter Druck. Zahlreiche und grossflächige Bodeneingriffe führen dazu, dass wichtige kulturhistorische Quellen innert kurzer Zeit und unwiederbringlich verschwinden.

Historische und archäologische Stätten sind ein wesentlicher Teil der reichhaltigen Aargauer Kulturlandschaft und prägen Landschaft und Regionen. Am Zusammenfluss der grossen Flüsse des Mittellandes gelegen, mit fruchtbaren Böden und einer attraktiven Siedlungslandschaft, hat dieses Gebiet die Menschen in allen Epochen angezogen. Die Relikte, welche diese Menschen uns hinterlassen haben, werden als archäologische Hinterlassenschaften bezeichnet. Dazu gehören sämtliche vom Menschen erzeugten Gegenstände, Bauwerke, Geländeformationen usw.

Der Aargau – ein Archäologie-Kanton!

Im Aargau sind bislang rund 2500 archäologische Fundstellen aktenkundig. Sie umfassen einen Zeitraum von zirka 100'000 Jahren bis in die Neuzeit. Einige davon – wie das römische Legionslager von Vindonissa, das spätantike Kastell Kaiseraugst oder die Habsburg – sind von internationaler Bedeutung. Die Kantonsarchäologie und andere Institutionen bewahren in ihren Sammlungen etwa 2,5 Millionen Fundobjekte auf. Als ältester Fund aus dem Kanton Aargau gilt ein Faustkeil vom Möhliner Feld. Er diente einst einem Neandertaler als Werkzeug. Der sogenannte Silberschatz von Kaiseraugst gehört zweifellos zu den spektakulärsten archäologischen Funden der Schweiz.

In einigen Regionen, Talschaften und Siedlungszellen des Aargaus ermöglicht der archäologisch-historische

Kenntnisstand mittlerweile Rückschlüsse auf die Siedlungslandschaft früherer Epochen. Dabei zeigt sich, dass bestimmte Kulturen ausgewählte Lagen als Standort ihrer Siedlungen wählten, die von geologischen, klimatischen, verkehrstechnischen, politischen und rechtlichen Faktoren sowie der Verfügbarkeit von Ressourcen – insbesondere Trinkwasser – abhängen. Die Erhaltungsbedingungen für deren archäologische Hinterlassenschaften basieren stark auf geologischen Faktoren wie der Überdeckung aufgelassener Siedlungsreste durch nachfolgende Schwemmschichten. Diesbezüglich verfügen die Talböden der Aargauer Juralandschaften mit ihren Schwemmfächern, lehmigen Ablagerungen und gemässigten Ab-

flussgeschwindigkeiten aktuell über das grösste Potenzial. So konnten 2014 in Kaisten in einer Baugrube deutlich getrennte Siedlungshorizonte aus sechs Epochen (Jungsteinzeit bis Frühmittelalter) nachgewiesen werden. Die Kriterien für die Ortswahl dieser Ansiedlungen waren hier offenbar über die Jahrtausende dieselben, ohne dass die nachfolgende Siedlungsgeneration von der vorhergehenden Kenntnis hatte.

Das archäologische Bodenarchiv

Der Grossteil der archäologischen Hinterlassenschaften schlummert noch unentdeckt im Aargauer Untergrund. Die Archäologie spricht dabei von einem «Bodenarchiv», auch wenn der Begriff «Archiv» nicht ganz korrekt ist, weil er eigentlich eine gesteuerte, strukturierte Ablage und Bewirtschaftung der Archivalien voraussetzt. Im Sinne der Funktion als Wissensspeicher ist der Begriff jedoch zutreffend. Jede archäologische Struktur, jeder archäologische Fund trägt eine Fülle von Informationen in sich. Es handelt sich quasi um Datenträger, und der



Kaisten Herrengasse: Archäologische Untersuchung eines Schichtenprofils mit sechs Siedlungshorizonten aus der Jungsteinzeit bis ins Frühmittelalter



Archäologische Grabung im sogenannten Schutthügel des römischen Legionslagers Vindonissa um 1940: Die meterhohen Abfallschichten aus Jahrzehnten Lagernutzung sind ein Wissensspeicher erster Güte.

Boden ist folglich ein gigantischer kulturhistorischer Datenspeicher. Solange sie ungestört in ihrem ursprünglichen Fundkontext im Boden liegen, sind diese Datenträger optimal geschützt und ein unverfälschter Informationsgehalt ist sichergestellt. Dieses Bodenarchiv entstand, je nach Epoche und Örtlichkeit, in einem mehr oder weniger kontinuierlichen, Jahrtausende währenden Prozess. Wie der Begriff «Hinterlassenschaften» bereits aussagt, geschah dies weitestgehend nicht als willentlicher Vorgang, sondern als unbeachtetes oder zweitrangiges Nebenprodukt menschlicher Ak-

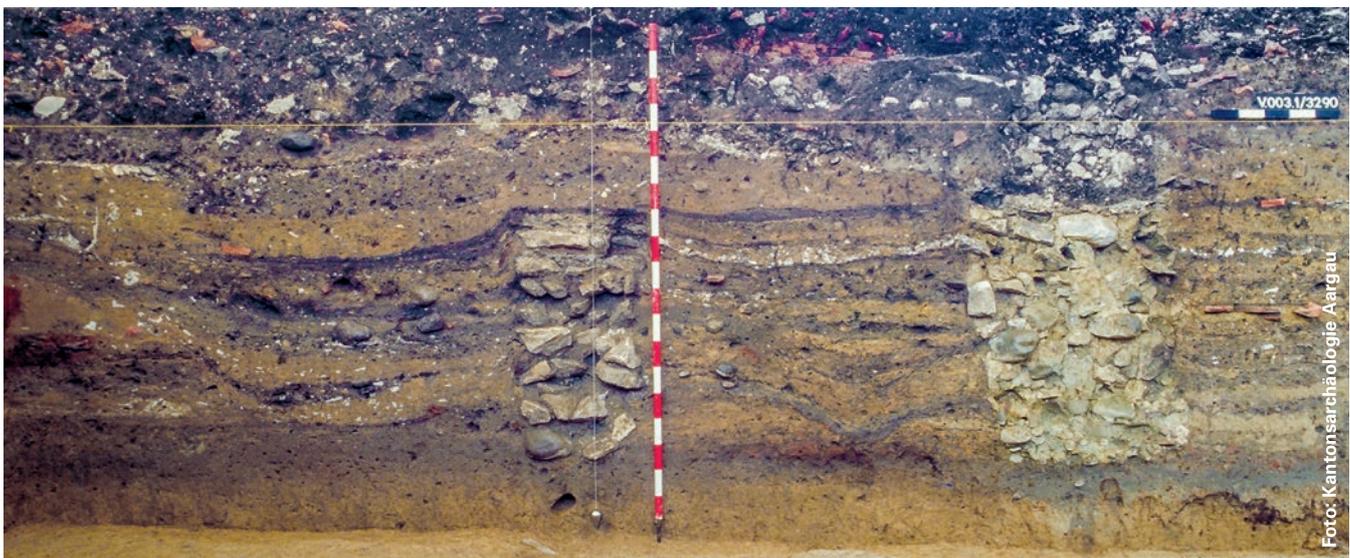
tivitäten. Entsprechend besteht die wohl wichtigste Fundgattung – die sogenannten Kleinfunde – vorwiegend aus Abfall vergangener Zivilisationen. Dabei handelt es sich um Keramikfragmente, Knochen oder auch Produktionsabfälle. Ihr Informationsgehalt ist bedeutend, lassen sich daran Alltagskultur, Speiseplan und vieles mehr der damaligen Menschen untersuchen. Aber auch Zerstörungshorizonte von Brandkatastrophen usw. liefern einzigartige Einblicke in die Vergangenheit. Von gleicher Bedeutung sind auch die willentlich in den Boden eingebrachten Hinterlassenschaf-

ten wie Baustrukturen, Grabstätten, Hortfunde. Unter Hortfunden versteht man eine Ansammlung von beliebigen Gegenständen, die der Besitzer zusammen vergrub.

Die unbeobachtete Zerstörung des Bodenarchivs bedeutet einen totalen Informationsverlust. Aber auch eine moderne archäologische Ausgrabung kann nicht sicherstellen, dass das gesamte Informationspotenzial der ausgegrabenen Strukturen und Funde zu 100 Prozent erschlossen wird. In Anbetracht künftiger, qualitativ immer besserer sowie zerstörungsfreier archäologischer Untersuchungsmethoden ist man deshalb heute bemüht, das Bodenarchiv so weit möglich unversehrt zu belassen und zu schützen – zumal die Bildung von archäologischen Hinterlassenschaften vergangener Epochen abgeschlossen ist und wir es folglich mit einer nicht erneuerbaren Ressource zu tun haben.

Die Rolle der Kantonsarchäologie Aargau

Nur wer seine Vergangenheit kennt, kann seine Gegenwart und Zukunft bewusst gestalten. Dieses Wissen um das kulturelle Erbe verankert die Menschen und stiftet Identität und Lebensqualität. Für viele Epochen der Vergangenheit sind die archäologischen Hinterlassenschaften die einzigen Informationsquellen. Ihr Schutz liegt deshalb im öffentlichen Interesse und ist entsprechend gesetzlich verankert. Das



Schichtenprofil im römischen Legionslager Vindonissa (Grabung Spillmannwiese): Dies ist ein Beispiel für eine rein anthropogene Bodenbildung. Gut sichtbar sind die zwei Mauerfundamente.



Die auf dem Kulturgesetz basierenden Aufgaben der Kantonsarchäologie als Wirkungskreis

kantonale Kulturgesetz vom 31. März 2009 definiert den Auftrag der Kantonsarchäologie Aargau als zuständige Fachstelle. Er basiert inhaltlich auf dem Schweizerischen Zivilgesetzbuch ZGB sowie auf verschiedenen, von der Schweizerischen Eidgenossenschaft ratifizierten internationalen Konventionen zum Schutz und zur Pflege des kulturellen Erbes.

Im Wesentlichen sind es fünf Hauptaufgaben, welche die Kantonsarchäologie zu erfüllen hat:

- Schützen und Erhalten
- Untersuchen und Dokumentieren
- Sammeln und Inventarisieren
- Auswerten und Erforschen
- Vermitteln

Die primäre Aufgabe besteht darin, die archäologischen Hinterlassenschaften im Kanton zu erhalten und zu schützen. Wenn eine Erhaltung nicht möglich ist, führt die Kantonsarchäologie auf der Grundlage wissenschaftlicher Standards archäologische Untersuchungen durch oder veranlasst diese. Ziel ist es, die archäologischen Befunde vor der Zerstörung zu dokumentieren und die Funde sicherzustellen. Das Fundmaterial und die Dokumentationen werden archiviert und für kommende Generationen aufbewahrt – als Wissensspeicher und Grundlage für die Forschung.

Erst durch die Erforschung dieser Grundlagen findet der eigentliche Erkenntnisgewinn statt. Die gewonnenen Erkenntnisse werden der breiten Bevölkerung und der Forschung zugänglich gemacht und vermittelt. Das Wissen der Aargauerinnen und Aargauer um ihre Vergangenheit ist wiederum eine wichtige Voraussetzung für die langfristige Erhaltung und den Schutz der archäologischen Hinterlassenschaften im Kanton.

Die fachgerechte Untersuchung und Dokumentation der gefährdeten oder der Zerstörung anheimfallenden archäologischen Hinterlassenschaften verursacht oftmals beträchtliche finanzielle Aufwendungen, die durch die öffentliche Hand zu erbringen sind. Entgegen der landläufigen Meinung

verursachen die Einsätze der Kantonsarchäologie praktisch kaum bauliche Verzögerungen – geschweige denn sogenannte Baustopps. Um reibungslose Abläufe gewährleisten zu können, bemüht sich die Kantonsarchäologie ihre Anliegen rechtzeitig in die Planungsverfahren einzubringen und bei Bedarf Voruntersuchungen wie Prospektionen oder Sondierungen vorzunehmen. Damit gegenseitige Planungssicherheit für die Realisierung der Bauvorhaben, aber auch der Schutz und die Dokumentation der gefährdeten archäologischen Hinterlassenschaften gewährleistet werden kann, ist die Kantonsarchäologie auf die Kooperation von Bauherrschaften und Behörden angewiesen.

Das Bodenarchiv unter Druck

Der allgemeine Wohlstand, die hohe Mobilität, der Bevölkerungszuwachs, der rentable Bausektor sowie die maschinelle Effizienz führen heute zu einer Überprägung der Landschaft in einem nie dagewesenen Ausmass. Die damit verbundenen Bodeneingriffe zerstören grossflächig und tiefgründig das archäologische Bodenarchiv. Laut aktuellen Erhebungen wird im Aargau zurzeit alle 23 Sekunden 1 Quadratmeter Boden überbaut. Die beständig zunehmende Zahl dieser Bodeneingriffe ist mit den der Kantonsarchäologie zur Verfügung stehenden Ressourcen nicht zu bewältigen. Auch der vorgängig zum Bodeneingriff angestrebte Schutz und damit Erhalt der gefährdeten archäologischen Hinterlassenschaften ist nur in wenigen Fällen realisierbar. Im Siedlungsgebiet führt die bauliche Verdichtung, seit Kurzem auf Gesetzes- und Richtplanebene verankert, zu grossflächigen Eingriffen in die archäologische Substanz. Oftmals sehen die Planungen Grossüberbauungen mit Mehrfamilienhäusern und ausgedehnten Tiefgaragen vor. In den ländlichen Siedlungskernen werden diese auf den seit Jahrhunderten freiliegenden Gartenarealen der alten Bauernhäuser realisiert, oftmals auch unter Einbezug – das heisst Umbau oder Abbruch – der alten Bauten selbst. In diesen auch «Hoschtet» oder «Bündten» genannten Hinterhofarealen, schlummern oftmals weitge-



Frühmittelalterliches Gräberfeld von Zurzachs Wasenacher: Eine Seite des Bodenarchivs liegt offen – das Interesse der Öffentlichkeit an den Grabungen ist gross.

hend ungestörte Siedlungshorizonte aus prähistorischer und mittelalterlicher Zeit. Aber auch traditionelle archäologische Hotspots wie Vindonissa, Kaiseraugst, Baden und Bad Zurzach bleiben durch diese Entwicklung nicht verschont. Während in Windisch die Entwicklung bereits weit fortgeschritten ist, steht Bad Zurzach erst am Anfang dieser Umwälzungen.

Auch ausserhalb der Siedlungsgebiete steht das archäologische Bodenarchiv unter Druck. Der moderne Ackerbau – insbesondere die seit Jahrzehnten andauernde maschinelle Bewirtschaftung mittels tiefem Pflügen sowie die eingebrachten Düngersalze – verursacht in ganzen Landstrichen eine schleichende Zerstörung von archäologischen Hinterlassenschaften. Nur dank dem unermüdlichen Einsatz freiwilliger Bodenforscher kann punktuell wenigstens ein Teil der freigeplügten Fundobjekte geborgen werden. Gerade die LIDAR-Laserscans von 2014 zeigen, dass auch in bislang unversehrten Geländekammern, in Wäldern und Randzonen durch die neu

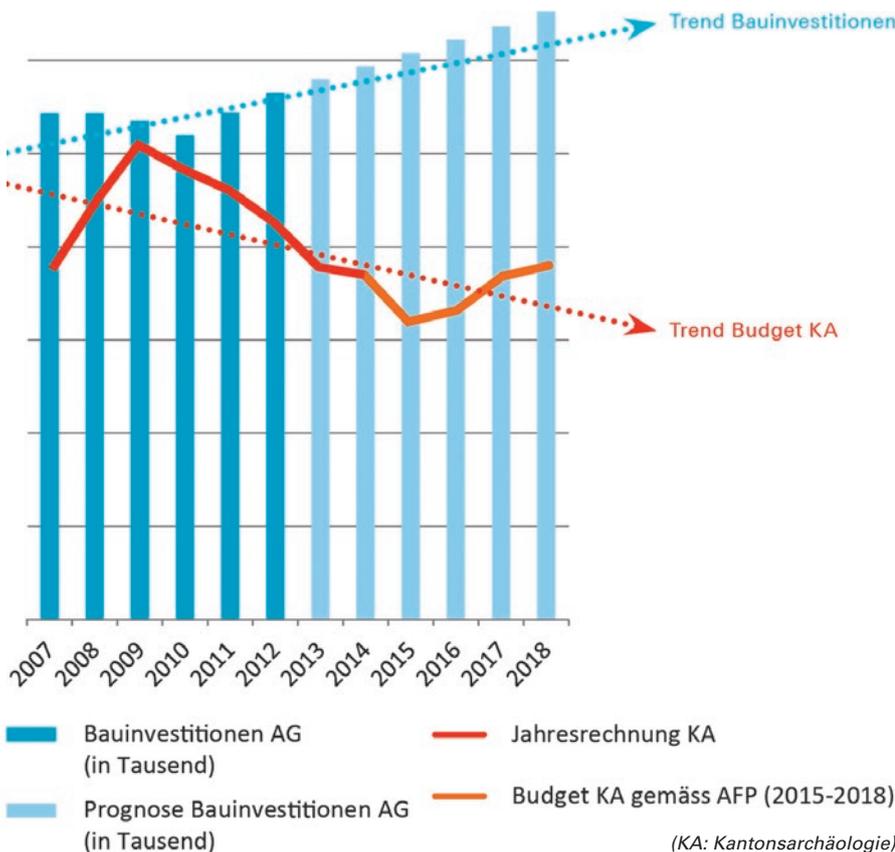


Überprägung der Landschaft: Die LIDAR-Aufnahme (links) zeigt die eisenzeitlichen Grabhügel im Wald in der Grossrüti in Oberlunkhofen. Es ist gut sichtbar, dass die Grabstätten durch die Fahrspuren der Forstmaschinen beeinträchtigt sind. Das Orthofoto (rechts) zeigt dasselbe Areal. Hier sieht man kreisrunde Strukturen in der Landwirtschaftszone. Diese weiteren Grabhügel werden wohl leider dem Ackerbau zum Opfer fallen.

maschinell betriebene Waldwirtschaft sensible archäologische Hinterlassenschaften wie jahrtausendealte Wehranlagen, Grabhügel und Verkehrsver-

bindungen überprägt werden. Mit der LIDAR-Laser-Technik können Höhenunterschiede von wenigen Zentimetern erfasst werden. So erhält man ein dreidimensionales Bild des nackten Erdbodens – inklusive aller Formen, die unterirdisch verborgene Bauwerke verraten.

Gegenläufige Trends: Vergleich der jährlichen Bauinvestitionen mit den Ausgaben für Archäologie im Aargau



Der Blick in die Zukunft

Die oben beschriebenen grossflächigen Bodeneingriffe eröffnen der Wissenschaft und Forschung einen noch nie dagewesenen Einblick in das archäologische Bodenarchiv. Bei fachgerechter Dokumentation ermöglichen die dabei zu Tage tretenden Informationen, Abschnitte der Geschichte des Aargaus zu überprüfen oder neu zu schreiben. Die Ergebnisse haben direkten Einfluss auf das Verständnis und den Umgang der heutigen und künftigen Bewohner des Aargaus mit ihrem Lebensraum und leisten einen wichtigen Beitrag zur Identitätsbildung dieses Kantons.

Diese Aufgaben teilt die Kantonsarchäologie mit vielen anderen Fachstellen wie der kantonalen Denkmalpflege oder dem Ortsbildschutz. Natürlich ist ohne die Preisgabe von Alt-hergebrachtem kein Fortschritt möglich. Ein reflektierter Umgang mit dem archäologischen und denkmalpflege-



Foto: Kantonsarchäologie Aargau

Preisgabe von Kulturgut: Dieser römische Ziegelbrennofen in Hunzenschwil-Ziegelacker muss einem Bauvorhaben weichen.

rischen Kulturgut zwischen mehrwertbildender Preisgabe und identifikationsstiftender Bewahrung ist aber gerade in der jetzigen dynamischen Entwicklung des Kantons wichtiger denn je. Gefordert sind hier neben den Fachstellen insbesondere die Gemeindebehörden und die Bauherrschaften.

Die heute entstehenden Eingriffe und Ablagerungen wie Abbaustellen, Deponien, Siedlungs- und Infrastrukturbauten usw. sind die archäologischen Hinterlassenschaften der Zukunft. Die kommunalen Haushaltskehrrichtdeponien der 1960er- bis 1980er-Jahre – wenn sie bis dato nicht saniert wor-

den sein sollten – werden für künftige Archäologen eine wahre Fundgrube an Informationen zum Alltag dieser Zeitspanne bieten. Heute verbrennen wir unseren Abfall, exhumieren oder kremieren unsere Toten und speichern unser Wissen immer mehr digital und nicht mehr physisch. Dies dürfte den Archäologen und Archäologinnen der Zukunft für die Erforschung unserer Epoche – trotz aller übrigen Monumente, die wir unweigerlich hinterlassen werden – ganz neue Probleme bereiten.

Spannend ist die Projektion der Erfahrungen der Archäologie auf die Zukunft – beispielsweise im Zusammenhang mit einer nachhaltigen, über mehrere 100'000 Jahre funktionierenden Markierung eines künftigen Endlagers für hochradioaktive Abfälle. In Anbetracht der Herausforderungen, die bereits die rückblickende Interpretation von 6500 Jahren Siedlungsgeschichte im Aargau bietet, ist die vorausschauende Markierung eines atomaren Endlagers auf eine Dauer von einer Million Jahre eine echte Herkules-Aufgabe!



Foto: Kantonsarchäologie Aargau

Archäologische Hinterlassenschaften heute und morgen: Im Vordergrund sieht man die Fundamentreste des spätrömischen Wachturms von Schwaderloch – im Hintergrund das Atomkraftwerk Leibstadt.

Boden als geologisches Archiv

Christian Schlüchter | Institut für Geologie, Universität Bern | im Auftrag der Abteilung für Umwelt | 062 835 33 60

Im Boden – in der Verwitterungsdecke der Erdoberfläche – ist geologische Zeit archiviert. Je länger eine Landschaftsoberfläche der Zersetzung ausgesetzt ist, umso mächtiger ist die verwitterte Schicht. Je nach geologischer Geschichte solcher Oberflächen sind Böden verschieden mächtig. Böden, die nicht mehr mit der heutigen Oberfläche im Zusammenhang stehen und durch jüngere Ablagerungen zugedeckt sind, also nicht mehr weiter wachsen, werden als Paläoböden bezeichnet. Im Nordosten des Kantons Aargau gibt es sogar einen sogenannten Riesenboden.

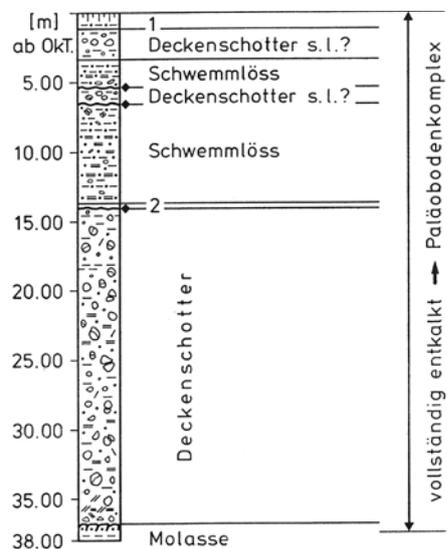
Der Boden als geologische Oberfläche und somit als Interaktion von Geo-, Bio- und Atmosphäre ist nicht einfach die oberste Schicht der Landschaft, auf der es «dann grünt». Wir kennen den Boden aus Garten und Landschaft als braune, meistens entkalkte Verwitterungsschicht. Durch die geologische Brille betrachtet ist diese Schicht ein besonderer Leithorizont. Ein Leithorizont ist eine Schicht, die man über grosse Strecken verfolgen kann und die überall gleiches geologisches Alter hat. Und dieser Horizont «wächst» in die Tiefe, ohne dass neues Material dazukommt. Die mineralische Umwandlung geschieht nur in Abhängigkeit vom lokalen Klima (Temperatur und Niederschlag), von der Vegetationsdecke und dem Faktor Zeit. Böden sind weiter entwickelt, wenn die entsprechende Verwitterung über längere

Zeit ungestört verläuft. In unserer Umgebung bedeutet dies, sie sind mächtiger, die braune Schicht im Garten reicht also tiefer in den Untergrund. Das heisst nichts anderes, als dass Böden eine erdgeschichtliche Dimension besitzen. Sie repräsentieren Zeit, die für eine Datierung der Landschaft herangezogen werden kann. Der Boden, der sich heute im Mittelland bildet, ist nicht überall gleich mächtig – und demzufolge nicht überall gleich alt. Dort, wo die Gletscher der letzten Eiszeit frisches Material abgelagert haben (Moräne, Schotter, Lössdecke) sind die Böden weniger mächtig als dort, wo die letzteiszeitlichen Gletscher nicht hingekommen sind. Nur ganz spezielle geologische Fundstellen beweisen dann eine ehemals mit Vegetation bewachsene Bodenoberfläche.

Paläoböden

Bei den Paläoböden wird unterschieden zwischen fossilen Böden und reliktschen Böden. Bei fossilen Böden sind die Bodenmerkmale, die unter den heute herrschenden Umweltbedingungen nicht mehr erklärt werden können, überdeckt, sodass sich der Boden nicht weiterentwickeln konnte. Die Bodenmerkmale sind somit konserviert. Liegen solche Böden wieder an der Erdoberfläche, zum Beispiel durch Erosion, so kann entsprechend des herrschenden Klimas wieder eine Bodenbildung einsetzen. Solche reliktschen Böden sind oft von der aktuellen Bodenbildung überprägt. Paläoböden sind nie vollständig erhalten. Sie werden in vegetationsarmen, eiszeitlichen Verhältnissen je nach Lage auf einem Hügel eher abgetragen oder in einer Mulde in der Mächtigkeit an-

Paläoböden aus dem Lehrbuch



- ♦ Erosionsdiskordanz
- 1 Deckschicht mit rezenter Bleicherde
- 2 Umlagerungshorizont

Der untere, verbraunte, tiefenverwitterte Schotter ist von frischem, letzteiszeitlichem Schotter überlagert (Bernisches Aaretal). Vor Ablagerung der jüngeren Schicht sind die obersten Meter vom verwitterten Schotter abgetragen worden. Der humose Teil des Paläobodens fehlt.



Einzelgeröll aus tiefenverwittertem Schotter mit Lösungsspuren durch Wurzelwachstum

Quelle: Christian Schlüchter

Natur- und Bodenschutz: nicht immer konfliktfrei

Thomas Egloff | Abteilung Landschaft und Gewässer | 062 835 34 50
Dominik Mösch | Abteilung für Umwelt | 062 835 33 60

Unsere Landschaft ist im Laufe der letzten 100 Jahre nährstoffreicher geworden. Deshalb wird als Naturschutzmassnahme in ausgewählten Fällen der Oberboden abgetragen, um so nährstoffarme Bedingungen zu schaffen. Denn seltene Pflanzenarten sind schlechte Nährstoffverwerter und bei hohen Nährstoffgehalten im Boden gegenüber ihren Konkurrenten chancenlos. Oberbodenabtrag ist aber Bodenzerstörung und diese ist grundsätzlich unerwünscht.

Es mag überraschen, dass Naturschutz nicht immer automatisch auch Bodenschutz ist. Vielmehr gibt es bisweilen sogar Situationen, wo sich die Anliegen von Natur- und Bodenschutz unvereinbar gegenüberstehen. Hauptziel des Bodenschutzes nach dem Umweltschutzgesetz ist die dauerhafte Erhaltung der natürlichen, standorttypischen Bodenfruchtbarkeit. Jeder Boden hat eine lange Entstehungsgeschichte. Die Aargauer Mittellandböden haben sich so seit dem Ende der letzten Eiszeit vor rund 12'000 Jahren zu entwickeln begonnen. Ein 20 Zentimeter mächtiger, toniger Oberboden im Jura entstand beispielsweise aus der Verwitterung von rund zwei Meter Kalkstein, was abhängig vom jeweiligen Klima mehrere Jahrtausende dauert. Auf der anderen Seite ist das Hauptziel des Naturschutzes die langfristige Erhaltung von wildlebenden Pflanzen- und Tierarten sowie ihrer Lebensräume (Biotope). Dabei stehen Arten und Lebensräume im Zentrum, die vor wenigen Jahrzehnten noch verbreitet waren, heute aber selten sind. Was hat das nun mit dem Boden zu tun? Sehr viel, denn zwischen dem Nährstoffgehalt des Bodens und der Artenvielfalt besteht eine enge Beziehung. Etwas vereinfacht ausgedrückt lässt sich sagen: Je nährstoffarmer ein Boden ist, desto mehr Pflanzenarten gedeihen.

Fette Böden

Unsere Böden wurden im Verlauf des letzten Jahrhunderts zunehmend fetter. Dies lag hauptsächlich an der Entdeckung und Entwicklung der Mineraldünger (Kunstdünger). Dank dieser Möglichkeit konnten in der Landwirtschaft mehr Wiesen gedüngt und damit häufiger gemäht werden, was zum starken Rückgang artenreicher Wiesen führte und den Begriff Magerwiesen (für schwach wüchsige, wenig produktive Wiesen) erst entstehen liess. Vorher standen den Landwirtschaftsbetrieben nur die hofeigenen Dünger (Mist, Gülle, Jauche) zur Verfügung, und diese reichten in der Regel nur zum Düngen der hofnahen Flächen. Daneben gibt es aber auch – durch das Ausgangsgestein der Bodenbildung bedingt – natürliche nährstoffreiche Böden wie zum Beispiel die nährstofflich begünstigten Lössböden im Möhliner Feld.

Bodenabtrag zugunsten wertvoller Pflanzenarten

Wollen wir auf einer Wiese mehr Pflanzenarten, muss der Nährstoffgehalt im Boden sinken. Wird mit dem Düngen aufgehört, führt dies nicht automatisch zu einer Rückentwicklung zu einer mageren Wiese, denn die meisten Böden verfügen im Oberboden, in ihrer Humusschicht, über ein grosses Nährstoffreservoir. Gerade Phosphor – zusammen mit Stickstoff und

Kalium einer der drei Hauptnährstoffe für die Pflanzen – wird nur in ganz wenigen Böden ausgewaschen und steht den Pflanzen somit noch jahrelang zur Verfügung. Die Abmagerungskur kann also Jahrzehnte dauern. Können bedrohte Arten so lange warten? In gewissen Fällen wird deshalb im Rahmen einer Naturschutzmassnahme das Nährstoffdepot radikal beseitigt und der Oberboden abgetragen. Damit werden ideale Lebensbedingungen für Pflanzenarten geschaffen, die auf nährstoffarme Standorte angewiesen sind. Die Rückentwicklung zu einer artenreichen Wiese wird so beschleunigt. Bei einem Bodenabtrag wird zudem das Samenreservoir entfernt, was die Startbedingungen ebenfalls verbessert.

Abgetragener Boden gilt nach Artikel 7 des Umweltschutzgesetzes als Abfall und ist als nicht vermehrbare Gut und endliche Ressource nach Möglichkeit wiederzuverwerten. Die Wiederverwertung ist von einer allfälligen stofflichen Belastung, den physikalischen Bodeneigenschaften und einem bewilligungsfähigen Verwertungsprojekt abhängig. Ziel muss jeweils sein, den abgetragenen Boden in der Region wiederinzubauen, beispielsweise zur Sanierung alter Auffüllungen. Unsere Landschaft ist, gesamthaft betrachtet, im Laufe der letzten 100 Jahre nicht nur stark mit Nährstoffen befrachtet worden, sie wurde auch trockener. In unserer Kulturlandschaft sind nicht nur magere sondern auch nasse Standorte zur Mangelware geworden. Zahlreiche Moore wurden entwässert, was unter anderem zur Folge hatte, dass sich der Torfboden zunehmend abbaute und Nährstoffe freisetzte. Wegen dieser Absackung wurden erneut Entwässerungsmassnahmen getroffen und so setzte sich ein Teufelskreis in Gang, der so lange anhält, bis der ganze organische Boden abgebaut und zersetzt ist. Auch

andere nasse Böden wurden entwässert (drainiert), um die Bedingungen für die Nahrungsmittelproduktion zu verbessern. Andere Massnahmen trugen ebenfalls dazu bei, den Grundwasserstand abzusenken. Bäche beispielsweise wurden begradigt und tiefergelegt, um einen raschen Abfluss von Hochwasser zu gewährleisten. Moore und Nasswiesen sind aus diesem Grund im Mittelland zu einem Mangelbereich geworden, was sich unter anderem darin äussert, dass ein grosser Anteil der gefährdeten Arten der Roten Listen auf feuchte und nasse Lebensräume angewiesen ist. Im Rahmen der Wiederherstellung von Feuchtgebieten dient ein Bodenabtrag nebst dem Nährstoffexport auch dazu, den Standort nasser zu machen, wieder näher zum Grundwasser zu kommen. Gleichzeitig müssen die früheren Entwässerungsmassnahmen rückgängig gemacht oder zumindest gestoppt werden.

Nicht nur Vorteile

Ein Abtrag des im Allgemeinen rund 20 bis 25 Zentimeter mächtigen Oberbodens kann noch ganz andere, auf den ersten Blick nicht sichtbare, Probleme mit sich bringen. Mit der Abschälung wird die gesamte Profilmächtigkeit um mindestens 25 bis 35 Prozent reduziert und damit auch im gleichen Ausmass die Fähigkeit des Bodens überschüssiges Niederschlagswasser zu speichern sowie im Hinblick auf den Grundwasserschutz zu filtern und zu reinigen. Mit dem Abschälen verschwindet auch die für die Bodenstruktur und Bodenstabilität enorm wichtige organische Substanz – der Humus. Dieser ist auch für die Filter- und Reinigungsfunktion entscheidend. Gekappte Standorte sind daher anfälliger für Oberflächenverschlammung, Verdichtung und Erosion sowie für die Auswaschung von luftseitig eingetragenen Schadstoffen ins Grundwasser. Ein nicht zu unterschätzender unerwünschter Nebeneffekt kann auch

die Besiedlung neuer, magerer Standorte durch invasive Neophyten sein. Dies verlangt in den ersten Jahren regelmässige Kontrollgänge. Und zu guter Letzt muss bedacht werden, dass sich natürlicherweise auf einem gekappten Boden über kurz oder lang wieder eine neue Humusschicht entwickeln wird.

Erste Erfahrungen

In den nachfolgenden Artikeln wird die für die Planung eines Naturschutzvorhabens notwendige und umfassende bodenkundliche Feld- und Laboruntersuchung vorgestellt. An den Beispielen Schwerzi, Ehrendingen und Eichthalboden, Baden, werden jeweils die beiden Verfahren Oberbodenabtrag und Aushagerung durch Nährstoffentzug ohne Eingriff ins Bodenprofil vorgestellt. Bei beiden Standorten liegen die Eingriffe einige Jahre zurück, sodass eine erste boden- und vegetationskundliche Erfolgskontrolle der umgesetzten Massnahmen möglich ist.



Foto: Josef Fischer

*Blick in die Naturschutzzone Schorenschachen in der Gemeinde Mühlau (Aufnahme vom 31. Mai 2014). Ehemals intensiv genutzte Kulturlandfläche, auf der 1990 zirka 35 Zentimeter Oberboden abgetragen worden sind. Diese Naturschutzzone war, bevor man sie schuf, ein Mosaik von Riedwiesen sowie ehemaligen Fettwiesen und Äckern. Im Vordergrund eine kleine Herde des Fleischroten Knabenkrauts (*Dactylorhiza incarnata*).*

Etablierung einer biologisch wertvollen Riedfläche

Fabian Züst | Martin Zürrer | myx GmbH, Uster | in Zusammenarbeit mit der Abteilung Landschaft und Gewässer | 062 835 34 50

Das Naturschutzgebiet Ischlag/Grossmooswälder – in einer Waldlichtung der Gemeinde Abtwil gelegen – soll vergrössert werden. Auf Basis der Bodeneigenschaften und der Nährstoffuntersuchungen wurden verschiedene Methoden zur Aushagerung in Erwägung gezogen und ein Oberbodenabtrag als zielführende Massnahme formuliert. Die von Boden- und Naturschutz gefundene Kompromisslösung sieht vor, einen Teilabtrag zu realisieren und mit dem anfallenden Bodenmaterial degradierte Landwirtschaftsböden aufzuwerten.

Voraussetzung für die Etablierung artenreicher Pflanzengesellschaften sind geringe Nährstoffgehalte im Boden. Wichtiger Einflussfaktor für die Ausprägung der Vegetation ist dabei auch der Bodenwasserhaushalt. Kernpunkt in einem ökologischen Aufwertungsprojekt ist deshalb die Formulierung von standortgerechten Massnahmen zur langfristigen Etablierung eines neuen Nährstoff- und Wasserhaushaltsregimes. Fundierte Kenntnisse der Bodeneigenschaften und des Nähr-

stoffangebots sind deshalb wichtig für die Planung.

Bodeneigenschaften und Wasserhaushalt

Massnahmen zur ökologischen Aufwertung, die den Bodenaufbau direkt verändern, haben vor allem in vernässeten Böden einen grossen Einfluss auf den Wasserhaushalt. Zudem hat die heterogene Ausprägung des Bodens direkt zur Folge, dass die gleiche ökologische Aufwertungsmassnahme an

verschiedenen Orten einen unterschiedlichen Effekt auf das Pflanzenwachstum hat. Die genaue Kenntnis der Bodeneigenschaften ist daher der Grundstein einer zielführenden Planung.

Vom Gebiet Ischlag/Grossmooswälder liegt eine detaillierte Bodenkarte im Massstab 1:1000 vor, welche die Bodeneigenschaften darstellt. Die Böden sind sowohl in den bestehenden Riedflächen als auch in der Projektfläche durch Hang- und Stauwasser vernässt. Ein Grossteil der drainierten Projektfläche ist stauwassergeprägt.

Nährstoffverhältnisse

Die Verfügbarkeit der Hauptnährstoffe und Spurenelemente bestimmt neben der Verfügbarkeit von Wasser und Licht das Wachstum und die Konkurrenzfähigkeit von bestimmten Vegetationstypen. Für die Etablierung von artenreichen Pflanzengesellschaften ist hauptsächlich das Element Phos-



Blick auf das Gebiet Ischlag/Grossmooswälder in einer Waldlichtung der Gemeinde Abtwil. Auf einer Fläche von rund einer Hektare sollen hier die Voraussetzungen für die Etablierung einer biologisch wertvollen Riedfläche geschaffen werden. Es wird eine Vegetation vergleichbar mit derjenigen der Nachbarparzelle (vorne) angestrebt. Als mögliche Massnahme wird ein Oberbodenabtrag ins Auge gefasst.

phor wichtig. Seine Verfügbarkeit ist an die Bodeneigenschaften gekoppelt und unterliegt wie diese einer kleinräumigen Variabilität.

Ein Vergleich der Nährstoffgehalte der Projekt- mit der Referenzfläche im Gebiet Ischlag/Grossmooswälder zeigt, dass der Phosphorgehalt auf der Projektfläche deutlich höher ist als in der benachbarten Riedwiese und der Nährstoffzustand gemäss landwirtschaftlichen Düngungsrichtlinien als angereichert gilt. Ein Blick zurück in die Chronologie der Bewirtschaftung zeigt, dass der Nährstoffeintrag zwischen 1982 und 1996 erfolgte, als die Fläche als Intensivgrünland genutzt und gedüngt wurde. Zweimal wurde versucht, Ackerbau zu betreiben.

Seit knapp 20 Jahren wird die Fläche nicht mehr gedüngt und als Ökofläche mit maximal zwei Schnitten pro Jahr bewirtschaftet. Der Nährstoffge-

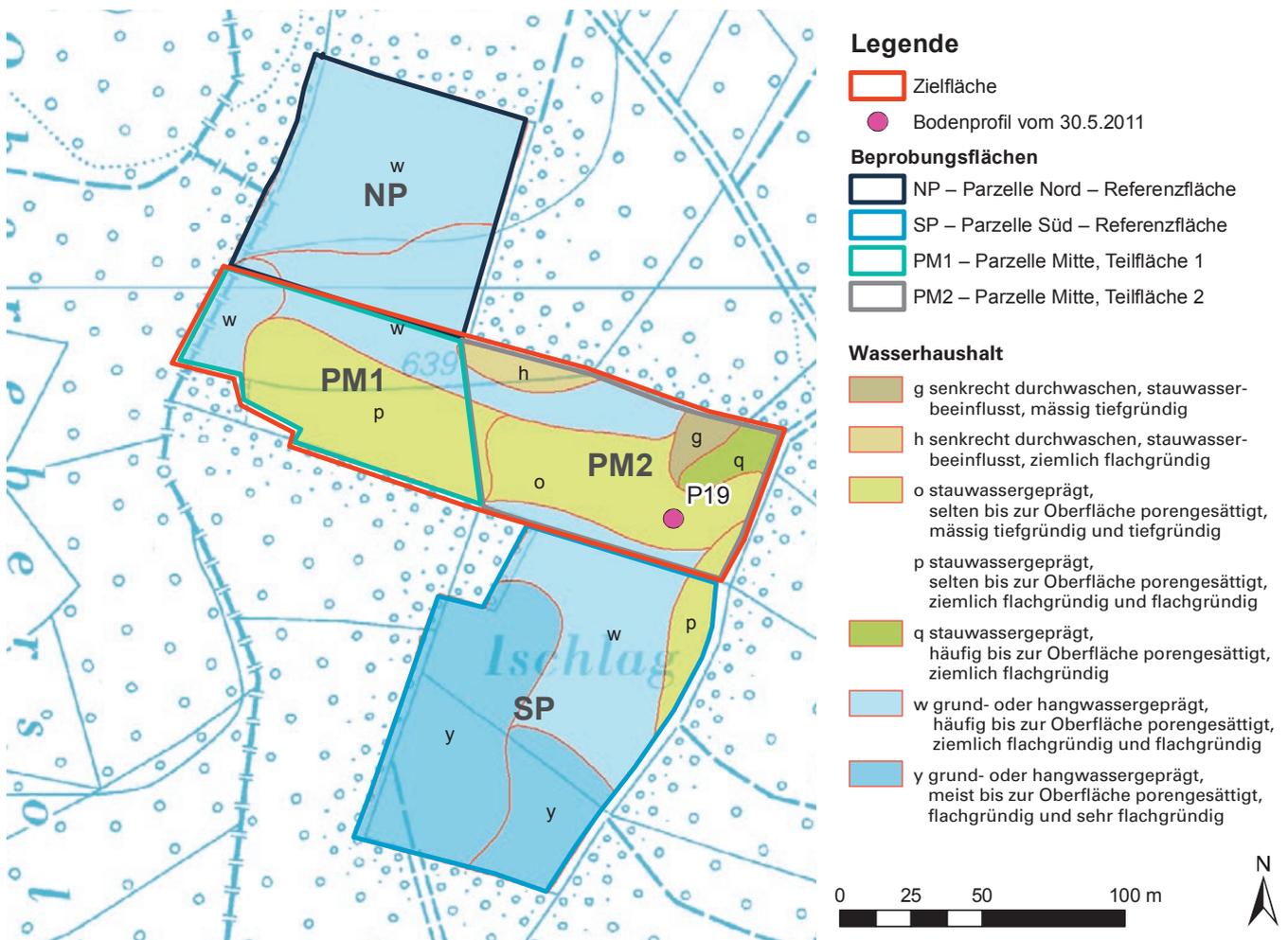
halt ist aber immer noch sehr hoch. Dies zeigt, dass der mit den Intensivierungsversuchen eingebrachte Phosphor an diesem Standort über Jahrzehnte im Boden verbleibt. Trotz der extensiven Bewirtschaftung ist der

Phosphor-Vorrat im Boden noch so hoch, dass eine biologisch wertvolle Naturwiese – vergleichbar mit jener in der unmittelbaren Nachbarschaft – nur mit weiteren Massnahmen erreicht werden kann. Bei den angren-

Massnahmen zur Aushagerung

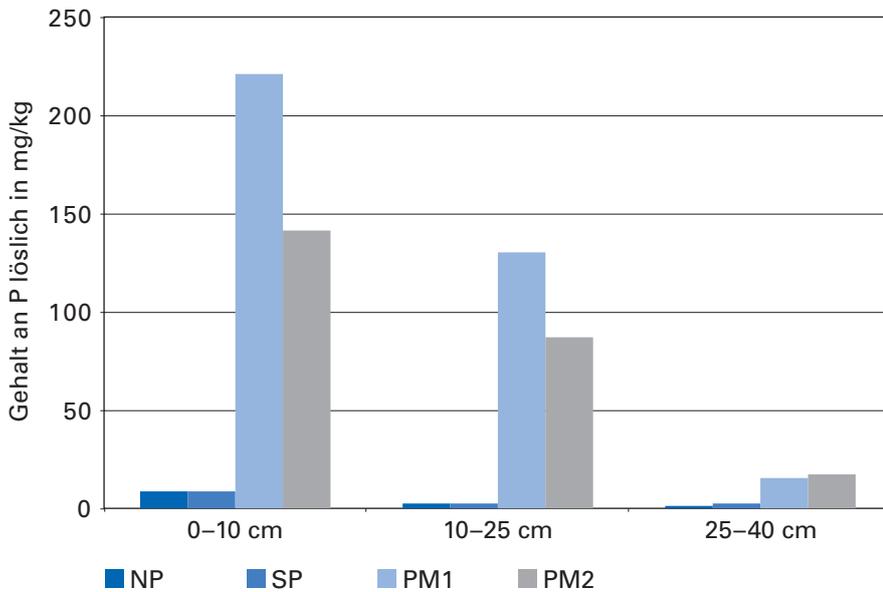
- **Nährstoffzehrung:** Der Boden wird nicht mehr gedüngt. Das Erntegut wird abtransportiert, um die darin enthaltenen Nährstoffe dem Kreislauf zu entziehen.
- **Bodenabtrag:** Abtrag der oberflächennahen Bodenschichten zum Entzug von Nährstoffen. Veränderung des standorttypischen Bodenaufbaus über lange Zeit. Abgeschürfter Boden wird abgeführt und verwertet.
- **Bodenumbruch:** Umbruch der Bodenschichten zur Veränderung des Pflanzenbestands und zur Umverteilung und Mobilisierung von Nährstoffen. Der Boden bleibt vor Ort und wird im Aufbau geringfügig beeinflusst.
- **Verschliessen von Drainagen:** Das Wasser verbleibt im Boden, wobei sich ein neuer Bodenwasserhaushalt ähnlich dem Zustand vor der Entwässerung etabliert (höhere und konstantere Grundwasserstände).

Bodenkarte Ischlag/Grossmooswälder mit Erfassungsmassstab 1:1000



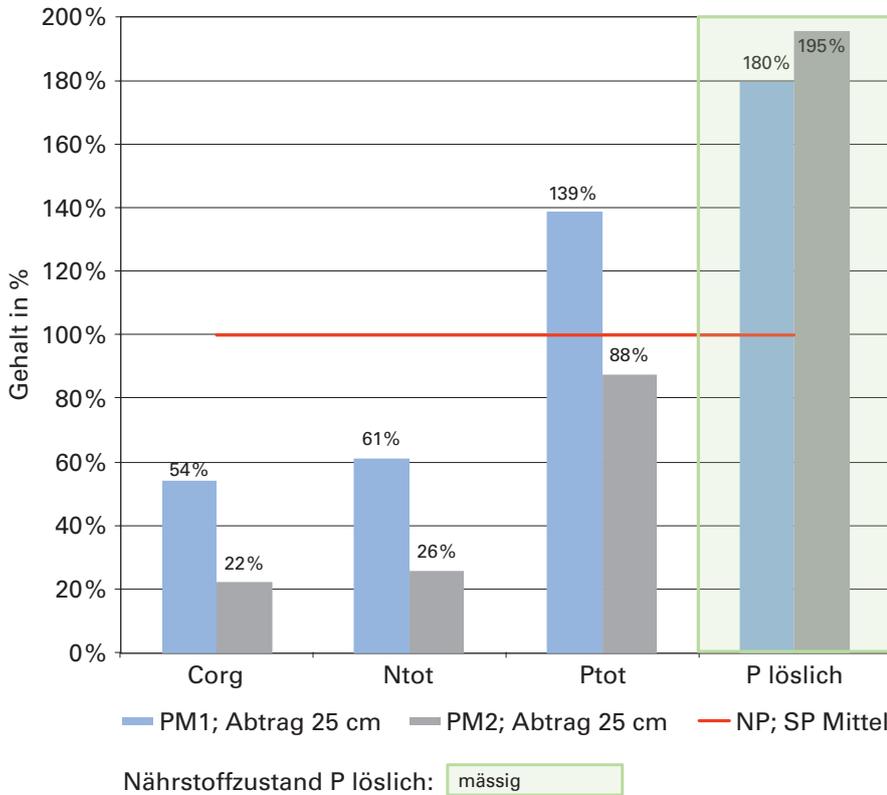
Die Darstellung als Wasserhaushaltskarte charakterisiert die Gründigkeit des Bodens (der für Pflanzen erschliess- und nutzbare Wurzelraum). Braune Farbtöne zeigen gut durchlässige, grüne und blaue Farbtöne vernässte Böden.

Aktuelle Phosphorkonzentration der Teilflächen



Verfügbares Phosphor auf vier Teilflächen im Ischlag: Die Aushagerungsflächen (PM1 und 2) weisen im Vergleich zu den Referenzflächen (NP, SP) einen sehr hohen Gehalt auf. Die Konzentrationen nehmen mit der Tiefe ab. In 25 bis 40 Zentimeter Tiefe liegen sie aber immer noch über den Gehalten im Oberboden der Referenzflächen.

Mögliche Nährstoffgehalte nach einem Oberbodenabtrag



Gehalte an organischem Kohlenstoff (Corg), Stickstoff (Ntot) und Phosphor (Ptot, P löslich) in Prozent der Abweichung zu den Referenzflächen nach einem Oberbodenabtrag von 25 Zentimetern. Die Gehalte an verfügbarem Phosphor (P löslich) sind trotz Abtrag noch doppelt so hoch wie auf den Referenzflächen.

zenden, als Referenz dienenden, Wiesen handelt es sich um Pfeifengras-Streuwiesen mit mehreren Orchideen-Arten und weiteren seltenen Kräutern wie dem Abbisskraut (*Succisa pratensis*) und der Kuckuckslichtnelke (*Lychnis flos-cuculi*).

Beurteilung der Planungsgrundlagen

Folgende Massnahmen zur Reduktion von Nährstoffen haben sich in ökologischen Aufwertungsprojekten bewährt:

- jährlich mehrfacher Schnitt;
- Bodenabtrag;
- Bodenumbruch mit anschliessendem Ausbringen von geeignetem Saatgut;
- Vernässung durch das Aufheben von Drainagesystemen.

Der Erfolg ist abhängig von der zielgerichteten Ausgestaltung der Massnahmen. Wie viele Nährstoffe können dem Boden in welchem Zeitraum entzogen werden? Wie viel Boden muss abgetragen werden, damit durch die reduzierte Nährstoffverfügbarkeit die Konkurrenzkraft der Zielvegetation unterstützt wird? Gibt es Alternativen zum Bodenabtrag? Welcher Grad der Vernässung fördert die angestrebten Arten? Ist die Mobilisierung von Nährstoffen durch permanente Vernässung ausreichend limitiert?

Formulierung von Massnahmen

Das Erreichen des Ziel-Nährstoffgehalts ist davon abhängig, wie stark sich der Ziel- vom Ausgangsgehalt unterscheidet und von der Zeitspanne, in welcher der Zielzustand erreicht werden soll.

Die Bewirtschaftungsgeschichte im Ischlag zeigt, dass die Nährstoffzehrung durch extensive Grünlandnutzung gering ist. Die Wirkung eines Bodenumbruchs, der zu einer Umverteilung und Mobilisierung der Nährstoffe führt, ist stark abhängig von der Bodenzusammensetzung und vom Gehalt der Nährstoffe mit zunehmender Tiefe. Auf der Projektfläche ist der Boden lehmig und der Phosphorgehalt in 25 bis 40 Zentimeter Tiefe fast doppelt so hoch wie im Oberboden der Referenzfläche. Nach einem Bodenbruch wird ein höherer Phosphorgehalt erhalten bleiben.

So ist im vorliegenden Fall anzunehmen, dass weder die Nährstoffzehrung noch ein Bodenbruch – beides bodenverträgliche Massnahmen – in absehbarer Zeit zum gewünschten Zielzustand führen. Ein Abtrag von Bodenmaterial zum schnellen Nährstoffzug scheint unumgänglich. Beim heutigen Wissensstand bleibt in Bezug auf das Erreichen des gesteckten Vegetationsziels dennoch eine Planungsunsicherheit bestehen, da vor allem durch den Bodenabtrag und den veränderten Wasserhaushalt vollständig andere Bodeneigenschaften entstehen werden.

Das Beispiel zeigt, dass die Planung von Aufwertungsmassnahmen anhand von Nährstoffgehalten im Boden letztlich immer noch unsicher ist, weil für die meisten ökologisch wertvollen Pflanzengesellschaften zu wenig brauchbare Referenzwerte vorhanden sind und weil keine Informationen zur mittelfristigen Verfügbarkeit von Nährstoffen greifbar sind. Im Projektgebiet Ischlag/Grossmooswälder sind immerhin in unmittelbarer Nachbarschaft Referenzflächen vorhanden, an denen sich die Formulierung der Zielnährstoffgehalte und der geeigneten Massnahmen orientieren kann.

Abwägung von Schutzinteressen

Beinhaltet die Aufwertungsmassnahme eine Veränderung oder einen Verlust des standorttypischen Bodenaufbaus, beispielsweise durch Abtrag des

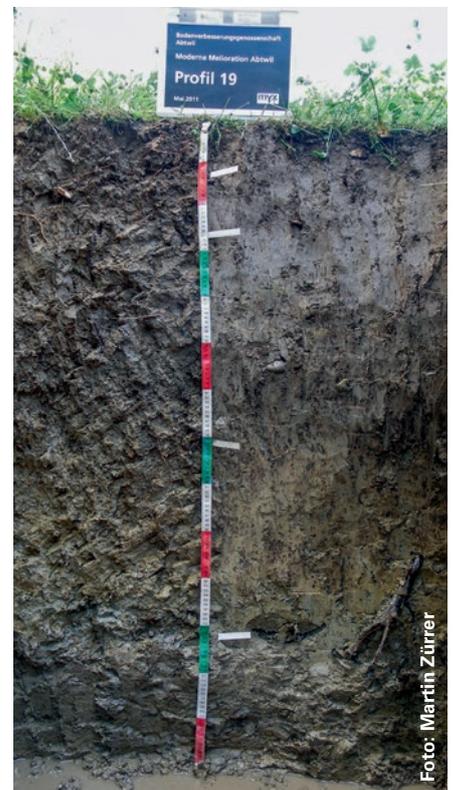
Oberbodens, so wird im Sinn der Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo) die Bodenfruchtbarkeit beeinträchtigt, was dem Auftrag des Bodenschutzes zuwider läuft. Deshalb benötigen die Vollzugsbehörden des Bodenschutzes nachvollziehbare Grundlagen, um unter bestimmten Umständen einem Oberbodenabtrag zuzustimmen.

Aufgrund der Nährstoffsituation und -dynamik wird ein Bodenabtrag im Projektgebiet als unumgänglich erachtet, sollen in nützlicher Frist günstige Voraussetzungen für die Etablierung der Zielvegetation geschaffen werden. Anfallendes Bodenmaterial soll wieder als Boden verwendet werden, nach Möglichkeit zur Verbesserung einer pflanzenbaulich ungenügenden Rekultivierung oder eines degradierten Bodens. Bei degradierten Böden haben sich die Bodeneigenschaften durch natürliche Einflüsse beziehungsweise zu intensive Nutzung verschlechtert.

Die Schutzinteressen des Boden- und Naturschutzes widerspiegeln sich in der getroffenen Lösung zur Realisierung der Erweiterung des Naturschutzgebietes Ischlag/Grossmooswälder: Es ist geplant, auf rund der Hälfte der Fläche 25 Zentimeter Oberboden abzutragen. Anfallendes Bodenmaterial soll zur Bodenverbesserung im intensiver nutzbaren Kulturland verwendet werden. Letzte Abklärungen zur Eignung des Bodenmaterials für die landwirtschaftliche Bodenaufwertung, zur Su-

che nach einem geeigneten Verbesserungsstandort und zur Evaluierung gezielter Massnahmen – damit die landwirtschaftliche Nutzung am Zielstandort nachhaltig verbessert werden kann – sind noch im Gang.

Das Beispiel zeigt, dass ökologische Aufwertungsprojekte die Interessen von Boden- und Naturschutz berücksichtigen und umfassend vorbereitet werden müssen, um bewilligt werden zu können. Nicht zuletzt müssen Boden- wie Naturschutz zu Kompromisslösungen bereit sein, um ihren Gesetzauftrag erfüllen zu können. So können letztlich Lösungen gefunden werden, die sowohl dem Naturschutz dienen als auch landwirtschaftlich und bodenschutzrechtlich vertretbar sind.



Das Projekt zur Etablierung einer Riedvegetation im Naturschutzgebiet Ischlag/Grossmooswälder sieht einen Oberbodenabtrag von 25 Zentimeter vor. Zur Minimierung der Veränderung des standorttypischen Bodenaufbaus wird nur von der Teilfläche mit dem höchsten Phosphorvorrat Oberboden abgetragen.

Bodenschutz

Das Umweltschutzgesetz (USG) und die Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo) beauftragen den Bodenschutz mit der langfristigen Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit. Die Bodenfruchtbarkeit ist unter anderem beeinträchtigt, wenn der Boden keine für seinen Standort typische Bodenstruktur (beispielsweise keinen Oberboden) aufweist.

Naturschutz

Das Natur- und Heimatschutzgesetz (NHG) verlangt, dass für die einheimische Tier- und Pflanzenwelt genügend grosse Lebensräume zur Verfügung stehen, die ihr Überleben garantieren. Die meisten gefährdeten Arten leben unter «extremen» Bedingungen; ihre Wuchsorte sind entweder mager (nährstoffarme Böden) oder nass oder sehr schnell austrocknend. Der Mensch gliedert vor allem im 20. Jahrhundert die Bedingungen aus mit ausgedehnten Entwässerungen, mit Torfabbau und mit dem grossflächigen Einsatz von Düngern. Ein Oberbodenabtrag auf beschränkter Fläche ist vor diesem Hintergrund ein kleiner Beitrag zur Korrektur dieser Entwicklung.

Dieser Artikel entstand in Zusammenarbeit mit Thomas Egloff, Abteilung Landschaft und Gewässer, 062 835 34 50.

Artenreiche Wiesen durch Bodenabtrag oder Umbruch

Andreina Reutemann | Salome Lauber | planikum GmbH | in Zusammenarbeit mit der Abteilung Landschaft und Gewässer | 062 835 34 50

Im Naturschutzgebiet Schwerzi in Ehrendingen wurden 2005/2006 mittels Bodenabtrag und Bodenumbruch artenreiche Wiesen neu geschaffen. 2013 erfolgte die Wirkungskontrolle der Boden- und Vegetationsentwicklung. Die Arten- und die Lebensraumvielfalt konnten gegenüber dem Ausgangszustand deutlich erhöht werden. Gleichzeitig lieferten die Untersuchungen an diesem Fallbeispiel Erkenntnisse zu den beiden Methoden.

Magerwiesen gehören mit ihren zahlreichen Pflanzen- und Tierarten zu den wertvollsten Lebensräumen unserer Landschaft. Ihre Verbreitung hat jedoch in den letzten Jahrzehnten aufgrund intensiver Landnutzung stark abgenommen. Deshalb werden heute gezielt artenreiche Lebensräume neu angelegt oder bestehende Flächen auf-

gewertet, wofür verschiedene Methoden zum Einsatz kommen.

Das Naturschutzgebiet Schwerzi am Lägern-Nordhang wurde im Rahmen einer landwirtschaftlichen Güterzusammenlegung (Melioration) als ökologische Ausgleichsmassnahme 2005/2006 neu gestaltet. Aus Flächen mit artenarmen Wiesen – teilweise auf

früherem Ackerland – sollten artenreiche, wechsellückene bis feuchte Wiesen entstehen. Zusätzlich wurde der Schwerzibach ausgedolt, und um eine Teilfläche zu vernässen, wurden Drainageleitungen unterbrochen.

Bodenabtrag oder Umbruch vor der Neuansaat

In der Schwerzi wurden folgende zwei Methoden für die Neuanlage der Wiesen angewandt:

- **Bodenabtrag:** Der Oberboden wurde mit Mächtigkeit zwischen 15 und 40 Zentimeter abgetragen. Im Bereich der näher untersuchten Flächen betrug die Abtragsmächtigkeit 21 Zentimeter.



Foto: planikum GmbH

Einblick in das neu gestaltete Naturschutzgebiet Schwerzi. Im Vordergrund der trockenere Teil der Abtragsfläche und im Hintergrund der nasse Teil der Abtragsfläche. Die einzelnen Weidenbüsche lassen am Gebietsrand den Bachlauf erahnen.

■ **Umbruch:** Eine Teilfläche wurde rund 20 Zentimeter tief gepflügt, um die bestehende Grasnarbe zu zerstören. Die Aushagerung erfolgt auf dieser Fläche über die extensive Nutzung ohne Düngung und mit regelmässiger Abfuhr des Schnittguts. Das ganze Gebiet wurde nach dieser Flächenvorbereitung mit Schnittgut von artenreichen Wiesen aus der Umgebung und der gezielten Aussaat wertvoller Arten begrünt. Die gesamte Fläche wird seit der Neuanlage teils als extensive Futterwiese und teils als Streuwiese bewirtschaftet.

Wirkungskontrolle der Boden- und Vegetationsentwicklung

Mit Bodenabtrag können erfahrungsgemäss in kurzer Zeit artenreiche Wiesen angelegt werden. Diese Methode hat jedoch auch Nachteile und wird als Naturschutzmassnahme selten angewandt. Negative Punkte sind die Kosten, die Zerstörung von gewachsenem Boden sowie die schwierige sinnvolle Verwertung des abgetragenen Oberbodens, was oft mit grösserem Aufwand verbunden ist. Im Gebiet Schwerzi wurde deshalb neben dem Bodenabtrag als alternative Möglichkeit der Bodenumbruch eingesetzt. Ziel der vorliegenden Untersuchung ist, die Wirkung beider Methoden zu dokumentieren und zu vergleichen. Sieben Jahre nach der Neugestaltung wurden deshalb 2013 die Vegetations- und Bodenentwicklung überprüft. Dabei lag der Schwerpunkt bei den Vegetationsaufnahmen. Die bodenkundlichen Untersuchungen beschränkten sich auf das Messen der Hauptnährstoffe im Boden. Basis für diese Wirkungskontrolle ist die umfassende Dokumentation des Ausgangszustands 2005/2006.

Erhöhte Arten- und Lebensraumvielfalt

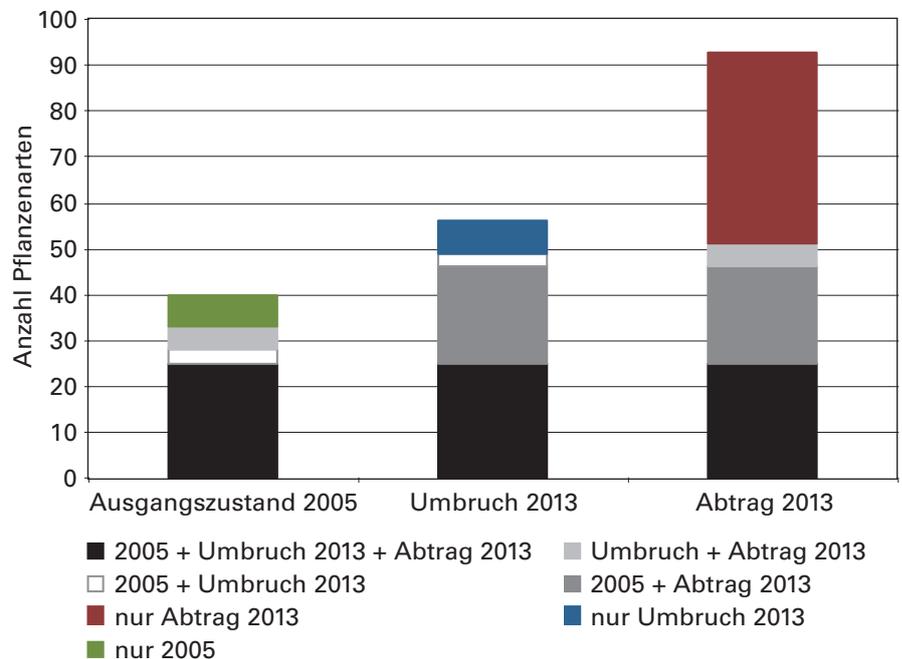
Die Abtragsfläche weist gegen den Bach hin einen nassen und gegen die Umbruchsfläche hin einen trockeneren Bereich auf. Im nassen Bereich hat sich eine Nasswiesenvegetation mit typischen Arten wie Davalls Segge (*Carex davalliana*), Saum-Segge

(*Carex hostiana*), Fleischrotes Knabenkraut (*Dactylorhiza incarnata*), Breitblättriges Wollgras (*Eriophorum latifolium*), Blaues Pfeifengras (*Molinia caerulea*), Rostrote Kopfbirse (*Schoenus ferrugineus*) und Abbisskraut (*Succisa pratensis*) etabliert. Im trockeneren Teil dagegen hat sich eine artenreiche wechsellückige Wiese entwickelt. Diese weist doppelt so viele Arten auf wie im Ausgangszustand, darunter die zwei gefährdeten Arten Schopfige Kreuzblume (*Polygala comosa*) und Berg-Klee (*Trifolium montanum*). Die gesamte Abtragsfläche ist heterogen und weist mit zahlreichen lückigen Stellen ein Mosaik an Kleinstlebensräumen auf. Solche Lücken sind für das Vorkommen von Insekten und Spinnen sowie das Etablieren neuer Pflanzenarten wichtig.

Auf der Umbruchsfläche hat sich eine homogene und dicht geschlossene Fromentalwiese mit typischen Pflanzenarten wie Duftendes Ruchgras (*An-*

thoxanthum odoratum), Wiesen-Pippau (*Crepis biennis*), Wiesen-Kammgras (*Cynosurus cristatus*), Gemeine Margerite (*Leucanthemum vulgare*), Kuckucks-Lichtnelke (*Silene flos-cuculi*) und Östlicher Wiesen-Bocksbart (*Tragopogon pratensis* subsp. *orientalis*) eingestellt. Obwohl die Artenvielfalt gegenüber dem Ausgangszustand erhöht werden konnte, ist sie für eine extensiv genutzte Wiese eher niedrig. Es konnten keine gefährdeten Pflanzenarten nachgewiesen werden. Doch zwei für den Kanton Aargau seltene Arten kommen vor: das Fleischrote Knabenkraut (*Dactylorhiza incarnata*) und der Zottige Klappertopf (*Rhinanthus alectorolophus*). Gesamthaft gesehen ist die Entwicklung der Arten- und Lebensraumvielfalt sehr erfreulich. Auf der untersuchten Fläche wachsen mit total 134 Pflanzenarten deutlich mehr Arten als im Ausgangszustand. Invasive Neophyten treten im Gebiet nur vereinzelt auf.

Veränderung der Anzahl Pflanzenarten



Die Anzahl Pflanzenarten ist auf der Umbruchsfläche deutlich und auf der Abtragsfläche markant höher als im Ausgangszustand (Balkenhöhe). Die einzelnen Balkenabschnitte geben Auskunft über die Artenzusammensetzung im Vergleich der verschiedenen Flächen. Lesebeispiel: Es treten die gleichen 25 Arten sowohl im Ausgangszustand als auch in der Abtrags- und in der Umbruchsfläche 2013 auf (unterster, schwarzer Abschnitt).

Neue Magerwiesen im Eichtalboden

Dominik Mösch | Abteilung für Umwelt | 062 835 33 60

Im Gebiet Rebacher in Baden wurden innerhalb der Bauzone Magerwiesen überbaut. 2004 wurden darum im Eichtalboden in der Landwirtschaftszone als Ersatzstandorte artenreiche Magerwiesen neu geschaffen. Dabei kamen zwei unterschiedliche Methoden zur Anwendung: Bodenabtrag und Bodenumbbruch. Seither wurden mehrere Wirkungskontrollen der Vegetationsentwicklung sowie 2008 und 2012 Wirkungskontrollen der Bodenentwicklung durchgeführt. Aufgrund der 2012 vorgenommenen floristischen Beurteilung rechtfertigt sich die Massnahme des Bodenabtrages an diesem Standort und bei diesen Bodeneigenschaften nicht.

Im Rahmen einer Überarbeitung der Bau- und Nutzungsordnung der Stadt Baden wurde das Gebiet Rebacher innerhalb der Bauzone 2003 zur Überbauung freigegeben. Als Ersatzstandort für den Verlust der Salbei-Trespenwiese wurde der obere Hangabschnitt einer bis dato normal bewirtschafteten landwirtschaftlichen Fettwiese im Gebiet Eichtalboden festgelegt. Die geologische Unterlage der

beiden Standorte ist ähnlich, zudem befinden sich beide an einem Hang und ihre Lage ist süd- respektive südostexponiert. Der Ersatzstandort wurde der Naturschutzzone zugewiesen und im Sommer 2004 wurde eine neue Magerwiese angelegt. Auf zwei Teilflächen wurden zwei verschiedene Methoden angewandt, um den Zielzustand – eine Trespenwiese – zu erreichen.

Bodenabtrag oder Umbruch vor der Neuansaat

Im Eichtalboden wurden die beiden folgenden Vorgehensweisen gewählt:

- **Umbruch:** Eine Fläche von 13 Aren wurde rund 22 Zentimeter tief gepflügt, wobei aufgrund des nur 18 Zentimeter mächtigen Oberbodens teilweise Unterbodenmaterial an die Oberfläche gelangte. Durch eine extensive Nutzung ohne Düngung erfolgt die Aushagerung hin zum Zielzustand. Das Schnittgut wurde und wird regelmässig abgeführt. Beim Bodenumbbruch wird der standorttypische Bodenaufbau nicht zerstört. Es ist eine einfache und kostengünstige Massnahme.
- **Bodenabtrag:** Der Oberboden und teilweise die oberste Unterbodenschicht wurden aufgrund der Nährstoffverhältnisse auf einer Fläche von 20 Aren 20 bis 22 Zentimeter tief abgetragen. Beim Bodenabtrag wird der gewachsene Boden zerstört. Grosse Maschinen kommen zum Einsatz und für das abgetragene Mate-



Im Vordergrund ist die gepflügte Umbruchsfläche zu sehen. Im Hintergrund trägt der Bagger den Oberboden ab (2004).

rial muss eine sinnvolle Verwertung gefunden werden. All dies ist mit hohen Kosten verbunden.

Auf beiden Teilflächen wurde nach dem Abtrag respektive dem Umbruch Schnittgut der zu diesem Zeitpunkt noch bestehenden Magerwiese im Rebacher und zusätzlich noch Samen gezielt gesammelter Arten ausgebracht. Das ganze Gebiet wird seit 2004 extensiv genutzt.

Wirkungskontrolle der Boden- und Vegetationsentwicklung

Um die beiden Methoden direkt vergleichen zu können, wurde ein Beprobungsmuster zur Erfolgskontrolle festgelegt. Die Vegetationsentwicklung wurde von 2004 bis 2012 jährlich untersucht und dokumentiert. Der bodenkundliche Ausgangszustand der beiden Teilflächen wurde kurz vor und nach der Umsetzung der Massnahmen erhoben. In den Jahren 2008 und 2012 erfolgten nochmalige Untersuchungen, um die Bodenentwicklung über die Jahre zu erheben und zu dokumentieren. Schwerpunkt der bodenkundlichen Untersuchungen waren das Messen der Hauptnährstoffe im Boden sowie das Abtrocknungsverhalten in unterschiedlichen Jahreszeiten. Die Fauna wurde nicht untersucht.

Bodenentwicklung

Auf der Abtragsfläche zeigte sich bei der Untersuchung 2012 ein neu gebildeter, geringmächtiger A-Horizont. Nach dem Verlust des gewachsenen Oberbodens entwickelt sich aus dem

ursprünglichen Unterboden durch verschiedenste Bodenbildungsprozesse vor Ort langsam ein neuer Oberboden. Auf der Umbruchsfläche ist eine dichte Durchwurzelung in den obersten 30 Zentimetern feststellbar, während dies auf der Abtragsfläche nur in den obersten 10 Zentimetern der Fall ist. Die Differenz entspricht der Abtragsmächtigkeit. Auch beginnt sich auf der Abtragsfläche das Bodengefüge neu zu bilden. Die bodenmikrobiologische Entwicklung der beiden Flächen wird im Artikel «10 Jahre Bodenmikrobiologie-Monitoring», Seite 11 in dieser Broschüre näher beschrieben.

Nährstoffentwicklung

Die gemessenen Nährstoffkonzentrationen wurden in Gehalten pro Quadratmeter angegeben, da dies die für die Pflanzenversorgung entscheidende Messgrösse ist. Das Bild ist je nach untersuchtem Nährstoff etwas unterschiedlich. Die organische Substanz und der Gesamtstickstoff nehmen auf der Abtragsfläche zu und haben sich seit dem Eingriff fast wieder verdoppelt. Im Jahr 2012 erreichten sie bereits wieder 20 Prozent des Ausgangswertes. Dies lässt sich durch die allmähliche Anreicherung organischer Substanz und die zunehmende Vegetationsbedeckung sowie eine steigende mikrobiologische Aktivität erklären. Bei der Umbruchsfläche erreichen die Werte sogar 80 Prozent der Ausgangswerte.

Beim löslichen Phosphor, der in etwa dem pflanzenverfügbaren Phosphor entspricht, liegen die Werte in der Ab-

tragsfläche tiefer als 2004 und diese haben sich seit 2008 kaum verändert. Bei der Umbruchsfläche nahm der Phosphorgehalt von 2004 bis 2012 gesamthaft stetig ab.

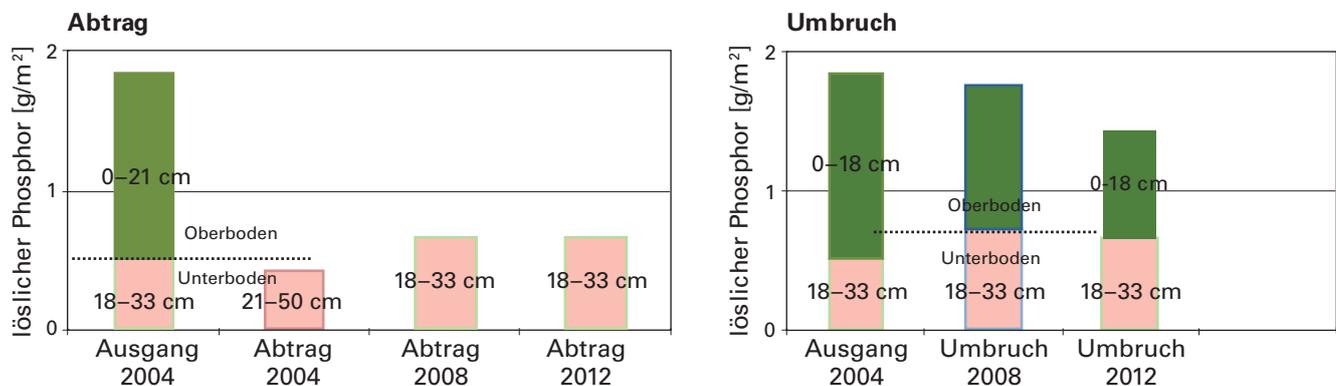
Bei beiden Flächen findet im Vergleich zum Ausgangszustand 2004 – kurz nach Abtrag und Umbruch – eine Nährstoffanreicherung statt. Bei der Abtragsfläche spielt sich das Ganze jedoch bei viel tieferen Werten ab.

Wasser- und Lufthaushalt

Die Abtragsfläche ist gegenüber der Umbruchsfläche im Frühling und Sommer feuchter und zeigt aufgrund der spärlichen Vegetation und geringen Evapotranspiration sowie der tonig-schluffigen Körnung ein langsames Abtrocknungsverhalten. Die Anzahl Trockenheitszeiger bei den Pflanzen stieg jedoch von 2004 bis 2012 von 8 auf 31 Arten stark an. Dieser Widerspruch kann dadurch erklärt werden, dass die Bodenoberfläche aufgrund des geringen Deckungsgrades stark austrocknet und bedingt durch die hohen Tongehalte sehr hart wird, so dass sich vor allem Trockenheitszeiger bevorzugt etablieren können.

Auf der Umbruchsfläche nahm die Anzahl Trockenheitszeiger von 7 auf 26 Arten ebenfalls zu, wobei die Bodenuntersuchungen keine Hinweise auf eine Entwicklung Richtung Trockenheit ergeben. Die Wüchsigkeit der Vegetation hat jedoch im Vergleich zu 2008 abgenommen, womit die langsamer wachsenden und weniger konkurrenzstarken Trockenheitszeiger zunehmen konnten.

Gehalte an löslichem Phosphor



Auf der Abtragsfläche hat sich der Gehalt an löslichem Phosphor nach dem Bodenabtrag stark verringert. Auf der Umbruchsfläche nimmt der Phosphorgehalt stetig ab. Die Werte sind jedoch höher als auf der Abtragsfläche.



Foto: Abteilung für Umwelt

Die beiden Flächen 2006: Die hellgrüne Fläche ist die Abtragsfläche und links davon die Umbruchsfläche, die sich bezüglich Vegetation deutlich von den Wiesen ober- und unterhalb der Naturschutzzone unterscheidet.

Vegetationsentwicklung

Das Erscheinungsbild der beiden Wiesen unterscheidet sich stark. Die Abtragsfläche weist eine lückig und heterogen ausgebildete Pflanzendecke mit guten Lichtverhältnissen bis auf die

Bodenoberfläche auf. Die obere Vegetationsschicht wird durch die Aufrechte Trespe (*Bromus erectus*) dominiert. In der unteren Vegetationsschicht kommen Nester von Wundklee (*Anthyllis vulneraria*) und Hufe-

senklee (*Hippocrepis comosa*) sowie frühblühende Arten wie Wiesensalbei (*Salvia pratensis*), Gewöhnliche Skabiose (*Scabiosa columbaria*) und Kriechender Hauhechel (*Ononis repens*) vor. Zu den spätblühenden Arten zäh-

Ausgewählte Vegetationsparameter in der Abtragsfläche und Vergleichswert der ursprünglichen Magerwiese im Rebacher

Parameter	2004 (vor dem Bodenabtrag)	2006	2008	2012	Vergleichswert Rebacher vor Überbauung
Charakter	üppig ausgebildete, gräserreiche Raigras-Fromentalwiese		sehr lückig mit viel <i>Bromus erectus</i> (Aufrechte Trespe)	lückig und heterogen mit viel <i>Bromus erectus</i> (Aufrechte Trespe) und sehr viel <i>Anthyllis vulneraria</i> (Wundklee)	Trespenwiese (<i>Mesobrometum</i>)
Anzahl Pflanzenarten	44	33	41	52	36
Anzahl Trockenheitszeiger	8	18	21	31	21
Anzahl Magerkeitszeiger	2	12	14	22	11
Anzahl Pflanzen magerer Wiesen	2	12	12	19	11
mittlere Feuchtezahl	2,8	2,3	2,5	2,2	2,3
mittlere Reaktionszahl	3,1	3,6	3,6	3,6	3,5
mittlere Nährstoffzahl	3,6	2,6	2,8	2,5	2,7

Ausgewählte Vegetationsparameter in der Umbruchsfläche und Vergleichswert der ursprünglichen Magerwiese im Rebacher

Parameter	2004 (vor dem Bodenabtrag)	2006	2008	2012	Vergleichswert Rebacher vor Überbauung
Charakter	üppig ausgebildete, gräserreiche Raigras-Fromentalwiese		dicht, massenwüchsig mit viel <i>Bromus erectus</i> (Aufrechte Trespe)	Trespenwiese, geschlossener Bestand, aber weniger wüchsig als 2008	Trespenwiese (<i>Mesobrometum</i>)
Anzahl Pflanzenarten	38	47	48	52	36
Anzahl Trockenheitszeiger	7	20	23	26	21
Anzahl Magerkeitszeiger	2	8	14	14	11
Anzahl Pflanzen magerer Wiesen	2	10	13	16	11
mittlere Feuchtezahl	2,8	2,5	2,4	2,4	2,3
mittlere Reaktionszahl	3,1	3,4	3,4	3,5	3,5
mittlere Nährstoffzahl	3,5	3,0	3,0	2,9	2,7

len der Durchwachsene Bitterling (*Blackstonia perfoliata*) und das Weidenblättrige Ochsenauge (*Buphthalmum salicifolium*). In den Vegetationslücken gibt es offene Bodenstellen und auch grössere Steine.

Die Umbruchsfläche weist das für Trespenwiesen typische Erscheinungsbild mit der dominierenden Aufrechten Trespe auf. In der artenreichen Krautschicht kommen vor allem Rotklee (*Trifolium pratense*), Wiesen-Flockenblume (*Centaurea jacea*), Acker-Witwenblume (*Knautia arvensis*), Knolliger Hahnenfuss (*Ranunculus bulbosus*) und Kleiner Wiesenkopf (*Sanguisorba minor*) vor.

Trotz des unterschiedlichen Erscheinungsbildes weisen 2012 beide Flächen den gleichen floristischen Wert auf. Auf beiden Flächen wachsen 2012 52 Arten, wobei die Artenzahl auf der Umbruchsfläche von einem hohen Ausgangsniveau her weniger stark anstieg als bei der Abtragsfläche. Die Abtragsfläche weist mehr Zeigerpflanzen für Magerstandorte auf, was sich durch die unterschiedlichen Nährstoffniveaus erklären lässt.

Zwischenbilanz acht Jahre nach dem Eingriff

Durch den Bodenabtrag wurde ein Standort geschaffen, der sich stark von einem standorttypischen Bodenaufbau unterscheidet und ein vergleichsweise tiefes Nährstoffniveau aufweist. Die Vegetationsdecke der Abtragsfläche ist lückig, heterogen und weist einen hohen Deckungsgrad von Leguminosen auf. Der Pflanzenbestand entspricht in seinem Aussehen nicht dem Zielzustand eines Trespen-Halbtrockenrasens, weist aber einen ähnlichen floristischen Wert auf. Der Wasserhaushalt entspricht nicht dem Zielzustand, da der tonige Boden nur langsam abtrocknet. Das Nährstoffniveau liegt deutlich unter dem Ausgangszustand. Die bodenmikrobiologische Aktivität nimmt zu und es ist auch eine langsame Bodenentwicklung feststellbar, die sich über einen langen Zeitraum wieder dem Ausgangszustand annähern wird.

Auf der Umbruchsfläche entsprechen die Bodeneigenschaften grundsätzlich dem Ausgangszustand, wobei das Nährstoffniveau durch die Abfuhr des Schnittgutes tiefer liegt als im Ausgangszustand. Im Gegensatz zur Abtragsfläche liegt ein vollständiger Ve-

getationsschluss vor. In Bezug auf die Artenzahl, den floristischen Wert oder die Dominanz von *Bromus erectus* (Aufrechte Trespe) entspricht die Umbruchsfläche 2012 weitgehend dem Zielzustand einer Trespenwiese.

Im vorliegenden Fall rechtfertigt sich die aufwändige und teure Massnahme des Bodenabtrages aufgrund der floristischen Beurteilung nicht.

Glossar

Evapotranspiration: Summe aus direkter Verdunstung (Evaporation) und Abgabe durch Pflanzen und Tiere (Transpiration). Die Evapotranspiration ist eine meteorologische Grösse, welche die Gesamtsumme des Wasserverlustes in einem Gebiet an die Atmosphäre beschreibt. Sie setzt sich dabei zusammen aus der direkten, physikalischen Verdunstung von Land- und Wasserflächen hauptsächlich durch Sonneneinstrahlung und Wind sowie aus der Wasserabgabe von Pflanzen.

Neues Feuchtgebiet im Sennemoos

Roland Haab | Naturplan, Sulzbach | in Zusammenarbeit mit der Abteilung Landschaft und Gewässer | 062 835 34 50

In den 30er- und 40er-Jahren wurde das Gebiet um das Sennemoos südlich von Abtwil trockengelegt, um Landwirtschaftsland zu gewinnen. Dank ökologischen Aufwertungsmaßnahmen sollen die abgetrockneten Torfkörper wieder vernässt werden, sodass sich erneut ein grossflächiges, vielfältiges Feuchtgebiet entwickeln kann. Mit diesem Prozess wird das Entstehen von neuem Torf initiiert und so die Bildung von neuem Boden in Gang gesetzt.

Es muss ein feuchter Landstrich gewesen sein, den unsere Vorfahren südlich von Abtwil einst urbar machten. «Sennemoos», «Moos», «Kirchmoos», «Abtwilermoos», «Möslwald» – alles Lokalnamen, die sich auf früheren und auf aktuellen Karten im nahen Umfeld des heute noch vorhandenen Restmooses Sennemoos finden.

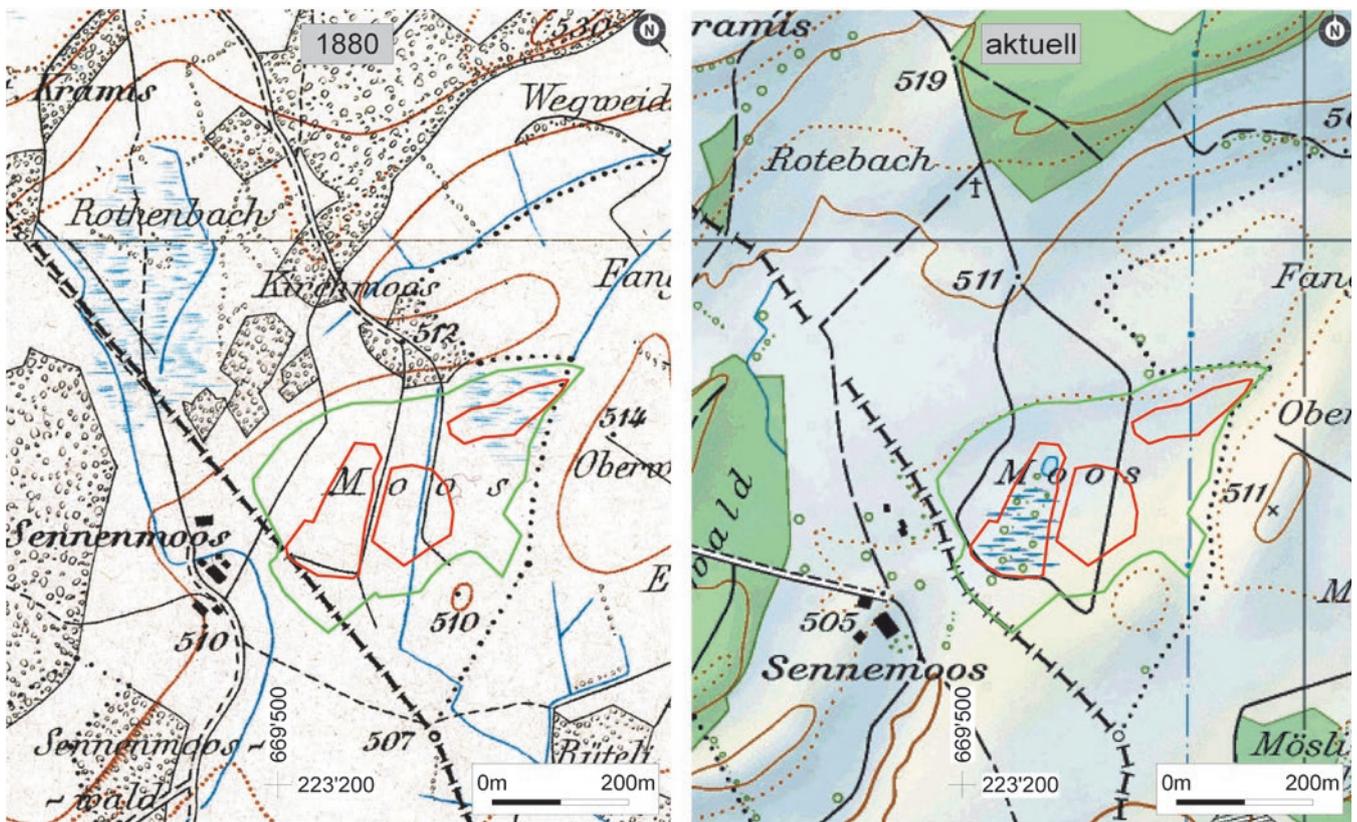
Die grossen Umwälzungen, die in der einst von Feuchtgebieten geprägten Landschaftskammer erfolgten, sind in alten Luftbildern aus den 30er- und insbesondere den 40er-Jahren dokumentiert. Heute zeugt nur noch eine Geländekante, die vom Wiesland abrupt zum heute fast zwei Meter tiefer liegenden, stark von Gehölz bestock-

ten Rest des Sennemoos abfällt, von den grossen Veränderungen. Anhand von hoch auflösenden Laserscanning-Vermessungen der swisstopo ergibt sich allein für diese Senke ein Torfverlust (infolge Abbau) von mindestens etwa 25'000 Kubikmeter.

Torfabbau setzt CO₂ frei

Die bestockte Restfläche des Sennemoos wird durch alte, teilweise verwachsene Gräben und eine Eindolung zum Moosbach entwässert. Das umliegende, zumindest teilweise noch intensiv genutzte Grünland entwässert über Drainagen ins Sennemoos oder zum Stöckenbach im Nordwesten. Die Mächtigkeit des im Gebiet noch vorhandenen Torfkörpers liegt in

Vergleich der Situation von 1880 und heute, gemäss Landeskarten



1880 gab es noch grossflächige Feuchtgebiete rund um das Sennemoos. Heute besteht nur noch ein stark verwaldetes Restmoor. Die roten Linien bezeichnen die Kernflächen des Aufwertungsprojektes, die grünen Linien die Pufferzone.

Quelle: swisstopo



Die heutige Aufwertungsfläche wurde in den 40er-Jahren intensiv bewirtschaftet. Die Pufferzone (grün) soll nach der ökologischen Aufwertung des Gebietes den Nährstoffeintrag aus dem benachbarten Landwirtschaftsland in das Kerngebiet (rot) und die Ergänzungsflächen (orange) verringern.

Luftbild: swisstopo

der bestockten Senke bei 0,6 bis 1,2 Metern. Im anschliessenden Grünland schwankt sie je nach Standort zwischen 0,4 bis 0,6 Meter, maximal erreicht sie an einigen Stellen noch über zwei Meter.

In entwässerten und daher stärker durchlüfteten Torfböden oxidiert Torf, was einer langsam erfolgenden Verbrennung gleichzusetzen ist. Dabei gelangen klimarelevante Gase in die Luft, insbesondere CO₂. Das Ausmass der CO₂-Emissionen ist abhängig von der Intensität der landwirtschaftlichen Nutzung. Vergleichszahlen aus Deutschland weisen für entwässertes, intensiv genutztes Grünland CO₂-Emissionen von jährlich bis zu 24 Tonnen pro Hektare aus. Für extensiv genutzte Torfböden liegen die entsprechenden Werte bei etwa 17 Tonnen, für entwässerte naturnahe Standorte bei jährlich zirka 5 Tonnen pro Hektare. Dass diese nutzungsbedingten Unterschiede, von Fragen der Biodiversität abgesehen, nicht unerheblich sind, zeigt sich darin, dass der Unterschied der CO₂-Emissionen zwischen einer landwirtschaftlich intensiv genutzten und einer naturnahen Fläche pro Hektare jährlich etwa dem Ausstoss eines PKW mit einer Fahrleistung von 100'000 Kilometern entspricht. Bohrprofile zeigen, dass die oberste, stark zersetzte Torfschicht in der Senke des Sennemoos etwa 0,1 bis 0,2 Meter stark ist,

im stärker entwässerten Umfeld aber zwischen 0,5 und 1,1 Meter.

Im Rahmen der Modernen Melioration Abtwil werden im Projektgebiet Entwässerungen erneuert und landwirtschaftlich besser und grundsätzlich auch intensiver zu bewirtschaftende Einheiten geschaffen. Von Beginn weg wurden aber auch die ökologischen Aspekte hoch gewichtet. Unter anderem soll rund um das heutige Restmoor Sennemoos wieder eine grosszügige, von Feuchtgebieten geprägte, extensiv genutzte Landschaft entstehen. Diese soll Lebensraum für seltene und gefährdete Pflanzen- und Tierarten bieten und dazu beitragen, den Torfabbau und die Emission von klimarelevanten Gasen gegenüber heute massgeblich zu verringern.

Wiedervernässung und ökologische Aufwertung

Im Vordergrund der ökologischen Aufwertung des Sennemoos stehen Massnahmen für die Wiedervernässung der abgetrockneten Torfkörper. Entsprechend ihrer topografischen und hydrologischen Voraussetzungen sind im Gebiet drei Flächen hierfür besonders gut geeignet. Diese Kernflächen zeichnen sich dadurch aus, dass sie in Senken oder auf nur schwach geneigtem Gelände liegen und dass sie von einfach zu verschliessenden Gräben, Rinnen oder Drainagen entwässert wer-

den. Im schon heute geschützten, grösstenteils verwaldeten Restmoor Sennemoos wird der Wasserrückhalt durch die Anlage eines leicht aufragenden Dammes am südlichen Gebietsrand deutlich verbessert. Auf dieser Fläche ist künftig nicht nur mit geringerem Gehölzaufwuchs und teilweise offenen Wasserflächen, sondern auch mit der Ausbildung von neuen, gut durchnässten Torflagern zu rechnen. Dies gilt umso mehr, als die Vernässungsmassnahmen im topografisch höher liegenden Umfeld darauf ausgelegt sind, dass witterungsbedingte Wasserüberschüsse aus diesen Flächen zum Schutzgebiet Sennemoos hin abgeleitet werden.

Die Kernflächen der Aufwertungs-massnahmen sollen nicht als isolierte Einzelflächen in Erscheinung treten. Das Aufwertungsprojekt Sennemoos sieht eine grosszügige Verbindung und Arrondierung dieser Flächen mittels sogenannten Ergänzungsflächen und daran anschliessenden Pufferzonen vor. Die Pufferzonen sollen Nährstoffeinträge aus den umliegenden, intensiver bewirtschafteten Flächen abfangen. Der Wasserhaushalt wird mittels Drainageverschlüssen auch auf diesen Flächen grossflächig optimiert und seinem ursprünglichen Zustand wieder näher gebracht.

Die Torfböden sind, vom Restmoor Sennemoos abgesehen, im ganzen Projektgebiet infolge Entwässerung und landwirtschaftlicher Nutzung vergleichsweise stark und tief zersetzt. Weil die Böden unter entsprechenden Bedingungen grosse Nährstoffreserven halten und die vorhandenen Fettwiesen den Wasserspiegel durch hohe Verdunstungsraten auch nach der Wiedervernässung weiterhin tief halten würden, sind für den überwiegenden Teil der Projektfläche Initialmassnahmen zur Etablierung von weniger nährstoffreichen, verdunstungsärmeren Pflanzenbeständen vorgesehen. Die Flächen werden umgebrochen und Schnittgut mit Samen von mageren Feuchtstandorten wird ausgebracht. Oberbodenabtrag steht aufgrund der insgesamt grossen Fläche sowie der tief zersetzten Torfschichten als Alternative höchstens kleinflächig sowie zur Materialgewinnung für Graben-

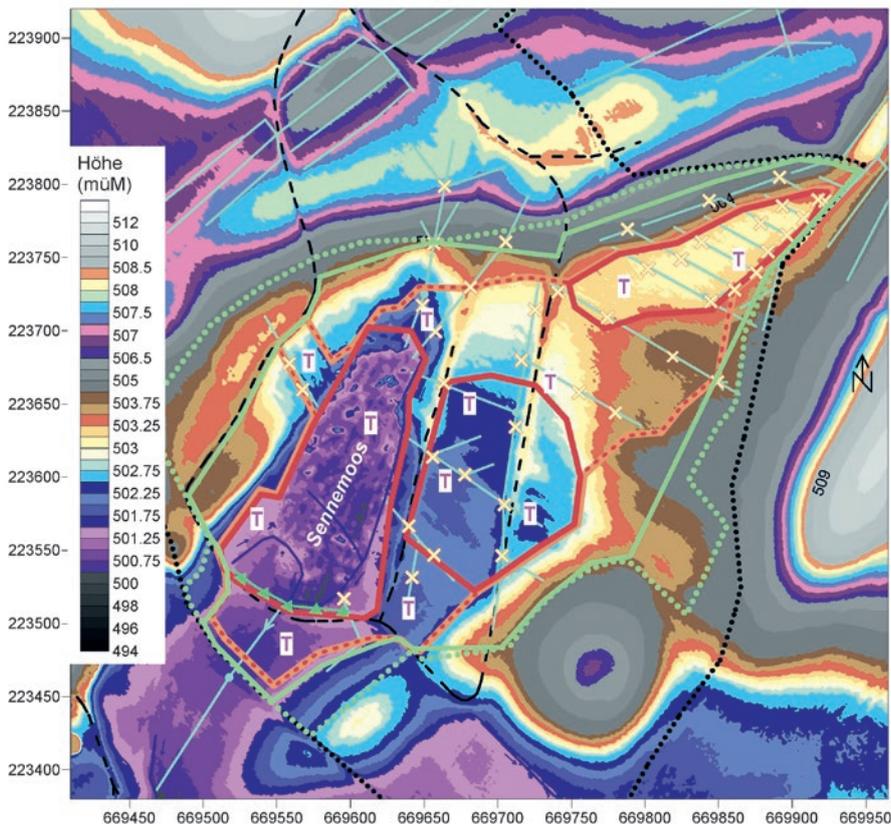


verschlüsse zur Diskussion. Letzteres gilt unter anderem auch für die Anlage von Tümpeln und Flachgewässern, mit denen die Landschaftskammer Sennemoos auch für Amphibien, Libellen und weitere aquatische und semiaquatische Tier- und Pflanzenarten wieder attraktiv werden soll.

Bewirtschaftung der neuen Feuchtgebiete

Das Aufwertungsprojekt setzt eine den neuen Verhältnissen angepasste extensive Nutzung und Pflege voraus. Nebst vollflächigem Düngeverzicht müssen die umgebrochenen und neu angesäten Feuchtwiesen und Moorflächen vor allem in den ersten Jahren von Neophyten und anderen invasiven Pflanzenarten (beispielsweise Goldruten, Ackerkratzdisteln) freigehalten und durch mehrschürige Bewirtschaftung (mehrere Schnitte pro Jahr) teilweise auch ausgehagert werden. Auf dass die Landschaft im Sennemoos sich dereinst wieder zu einem grossflächig abwechslungsreichen Feuchtgebiet entwickelt, das der Torfzehrung und dem Klimawandel entgegensteht!

Dieser Artikel entstand in Zusammenarbeit mit Thomas Egloff, Abteilung Landschaft und Gewässer, 062 835 34 50.



Die Kernflächen des Aufwertungsprojekts liegen in Senken oder auf nur schwach geneigten Flächen. Durch das Verschliessen von Entwässerungsgräben, -rinnen und Drainagen können sie einfach wieder vernässt werden.

Quelle: swisstopo

Situation:

- - - Bewirtschaftungsweg
- Gemeindegrenze Abtwil
- Drainagen
- > Entwässerungsgraben

Projekt und Massnahmen:

- Kernflächen Mooraufwertung
- Kern- und Ergänzungsflächen
- Abgrenzung Pufferzone eng
- Abgrenzung Pufferzone weit
- ✕ Drainageverschluss/-unterbruch
- T Anlage Tümpel / Flachwasser
- ▲ Damm mit Überlauf (regulierbar)

