

# Die Waldbodenkartierung des Kantons Zürich: Bodenversauerung sichtbar machen

Andreas Gubler, Ubald Gasser und Cécile Wanner

Kanton Zürich, Fachstelle Bodenschutz, Walcheplatz 2, CH-8090 Zürich  
andreas.gubler@bd.zh.ch, cecile.wanner@bd.zh.ch

**Für 13000 der insgesamt 50000 Hektaren Wald des Kantons Zürich wird von einer starken Bodenversauerung ausgegangen. Saure Böden verarmen an Nährstoffen, was das Pflanzenwachstum und die Bodenbiologie hemmt. Von 2013 bis 2022 liess der Kanton 4800 Hektaren der am stärksten betroffenen Flächen bodenkundlich kartieren. Mit der gewählten Kartiermethodik wurden Versauerung und Basensättigung bis 180 cm Bodentiefe erfasst. Nebst den klassischen Bodenkarten werden auch Produkte zu spezifischen Fragestellungen erarbeitet, zum Beispiel bezüglich Wasserhaushalt oder Verdichtungsempfindlichkeit. Die erhobenen Daten machen das Ausmass und Fortschreiten der Versauerung sichtbar. Sie helfen, Gegenmassnahmen zu ergreifen und weitere Herausforderungen, wie die Anpassung an den Klimawandel, zu bewältigen.**

## 1 Bodenkarten für die Zürcher Wälder – dringend benötigt

Nur was man kennt, kann man schützen. Dies gilt auch für den Boden als eine unserer Lebensgrundlagen. Mit der Bodenkarte für Landwirtschaftsflächen verfügt der Kanton Zürich seit den 1990er-Jahren über Bodeninformationen im Massstab 1:5000 (FAL und VD-ZH 1998), welche unter anderem zur Beurteilung der landwirtschaftlichen Nutzungseignung dienen. Auf die Kartierung der 50000 Hektaren Wald wurde damals aus Kostengründen verzichtet. Daher liess sich das Ausmass der Bodenversauerung für die Zürcher Wälder weder erfassen noch räumlich eingrenzen. Mit der Kartierung der am stärksten versauerten Waldböden ab 2013 wurde diese Lücke teilweise geschlossen. Für das Projekt verantwortlich waren gemeinsam zwei Abteilungen des Amts für Landschaft und Natur (ALN), die Fachstelle Bodenschutz und die Abteilung Wald. Bis 2022 wurden 4800 Hektaren oder rund 10 % der Waldfläche des Kantons bodenkundlich kartiert (Abb. 1).

Den Anstoss dazu gaben Daten der Kantonalen Bodenüberwachung (KaBo), welche schon länger auf die Problematik hinwiesen: Über ein Drittel der Waldstandorte im KaBo-Messnetz fallen mit pH-Werten  $\leq 4,3$  bis in

mindestens 60 cm Tiefe unter die Kategorie «stark sauer». Der Anteil der sehr sauren Standorte ( $\text{pH} \leq 3,8$ ) betrug zu Beginn des neuen Jahrtausends rund 15 %, mit steigender Tendenz (GASSER *et al.* 2009). Häufig betroffen sind

insbesondere Böden auf altem (Rissmoräne) oder gut durchlässigem Ausgangsgestein (z.B. Schotter).

## 2 Bodenversauerung – natürlicher Prozess und menschengemachtes Problem zugleich

Über die Jahrtausende sorgen Säureinträge durch Niederschläge und Ausscheidungen von Pflanzen, Mikroorganismen und Tieren für eine langsame, aber stetige Versauerung des Bodens – eigentlich ein natürlicher Prozess. Seit der industriellen Revolution führen zusätzliche, vom Menschen verursachte

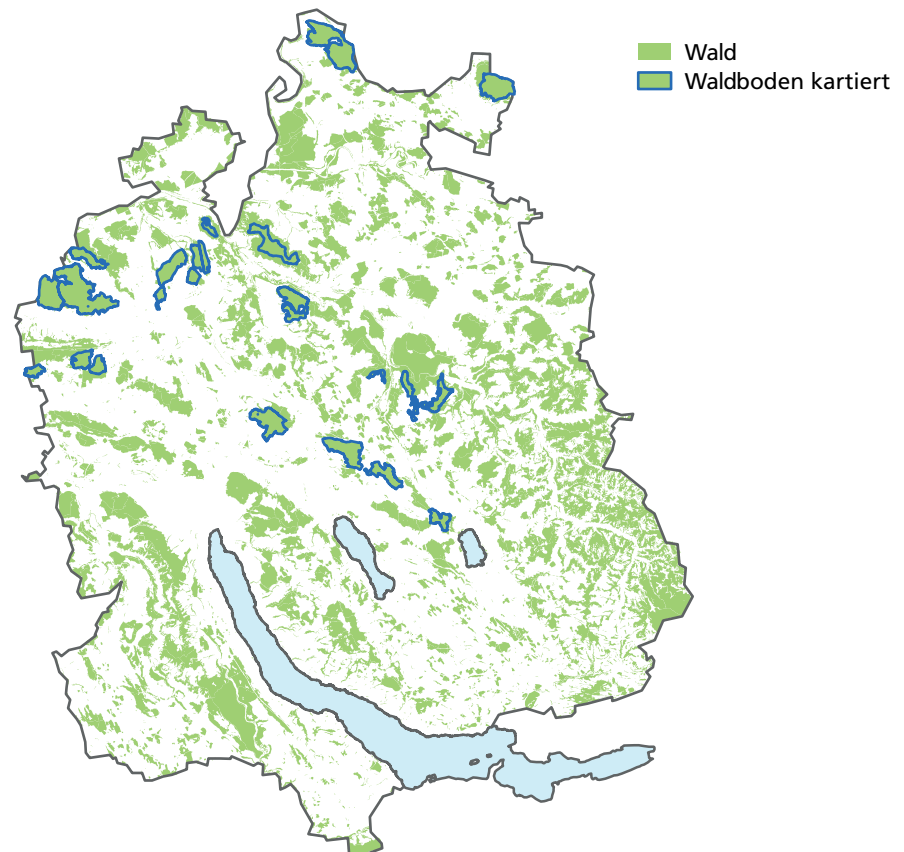


Abb. 1. Rund 10 % der Zürcher Waldfläche wurden bisher erfasst. Kartiert wurden prioritär die am stärksten versauerten Waldböden.

Säureeinträge zu einer deutlichen Beschleunigung der Versauerung. Stickstoff- und Schwefelverbindungen aus Industrie, Verkehr, Landwirtschaft und privaten Feuerungen sind dabei die Hauptverursacher. Diese unerwünschten Emissionen gelangen über die Luft flächendeckend in den Boden. Das Problem des sauren Regens wurde der breiten Öffentlichkeit in den 1980er-Jahren erstmals bewusst. Dank diversen Massnahmen, vor allem zur Luftreinhaltung, nahm die Belastung mit Schwefeloxiden inzwischen deutlich ab. Die Immissionen von Stickoxiden und Ammoniak sind ebenfalls rückläufig, aber nach wie vor (zu) hoch (vgl. RIGLING und SCHAFFER 2015).

Parallel zur Versauerung verliert der Boden einerseits Nährstoffe wie Kalzium, Kalium und Magnesium, und andererseits setzt er vermehrt toxische Aluminium-Kationen frei. Durch das unausgeglichene Nährstoffangebot und das saurere Milieu gedeihen Bodenlebewesen und Pflanzen schlechter, was sich wiederum auf die Nährstoffverfügbarkeit, die Bodenstruktur und den Wasserhaushalt auswirkt.

### 3 Kartiermethodik optimiert für Bodenversauerung

Bodenkarten für landwirtschaftliche Flächen erfassen in der Regel nur den obersten Meter des Bodens. Bäume wurzeln jedoch häufig deutlich tiefer als landwirtschaftliche Kulturen. Zudem liegt die Kalkgrenze – ein wichtiges Kriterium bezüglich der Versauerung – in stark versauerten Böden oft tiefer als ein Meter (Abb. 2). Daher wurde die Kartiermethode entsprechend den Zielen der Zürcher Waldbodenkartierung angepasst. Als Grundlage diente die Solothurner Kartieranleitung von 2008 (AfU-SO 2008), Modifikationen wurden in Vorprojekten erarbeitet (PRESLER 2010; PRESLER und CARIZZONI 2012) und in technischen Merkblättern festgehalten. Die Bodenversauerung, der Auslöser für die Kartierung, wurde anhand dreier Zielgrössen beurteilt: Basensättigung des Bodens, Tiefe der Kalkgrenze und pH-Wert des Bodens.

In Anlehnung an PRESLER und CARIZZONI (2012) wurde ein Drei-Schich-

ten-Modell implementiert. Das bedeutet, dass in den Profilen und Bohrungen werden, bezeichnet als Oberboden sowie Unterboden 1 resp. Unterboden 2. Im Gegensatz zum häufiger verwendeten Zwei-Schichten-Modell können so Unterschiede im Unterboden, beispielsweise verursacht durch die fortschreitende Versauerung, besser erfasst werden. Zur Erfassung der tieferen Bodenschichten wurde bei rund einem Drittel der Kartierbohrungen mit einem verlängerbaren Hohlmeisselbohrer Bodenmaterial aus bis 180 cm Tiefe entnommen.

Die Analyse von Bodenproben aus den Handbohrungen ist eine weitere Besonderheit des Projekts. Das wenige Bodenmaterial, das dabei anfällt, reicht für die Bestimmung grundlegender Parameter. Neben pH-Wert und Humusgehalt werden die Kationenaustauschkapazität (KAK) und die Basensättigung gemessen. Die beiden letztgenannten zu messen, ist analytisch aufwändig und teuer, sie lassen sich aber auch aus wesentlich günstigeren Nährstoffuntersuchungen mit der AAE10-Methode abschätzen (NUSSBAUM und PAPRITZ 2015; NUSSBAUM und BURGOS 2017).

Für jede kartierte Bodeneinheit wurde ein vollständiger und standardisierter Datensatz an Bodenattributen erhoben, der die jeweilige Fläche

repräsentiert (attributbasierte Kartierung). Die Verantwortung für die Kartierung der einzelnen Lose oblag fünf Personen, effektiv kartiert haben rund 20 Personen. Daher wurde der Qualitätssicherung grosses Gewicht beigemessen – nicht nur im Sinne einer Kontrolle der erfassten Daten, sondern auch durch die Begleitung des gesamten Prozesses.

### 4 Abgeleitete Karten für spezifische Fragestellungen

Die erarbeiteten Bodenkarten geben nicht nur Auskunft über die vorhandenen Bodentypen, sie erlauben vielmehr auch Aussagen zu Bodeneigenschaften und -funktionen. Aus den erhobenen Daten lassen sich Karten ableiten, welche die Bodenversauerung visualisieren, beispielsweise die Tiefe der Kalkgrenze (Abb. 2) oder die Basensättigung. Diese Instrumente helfen bei der Eingrenzung der Bodenversauerung wie auch der Planung von Bewirtschaftungsmassnahmen – zwei der Hauptziele des Projektes. Eine mögliche Massnahme ist beispielsweise das Anpflanzen von Baumarten mit leicht abbaubarer Streu, welche den pH-Wert langsam ansteigen lässt (z.B. DESIE *et al.* 2020).

Darüber hinaus bieten die erar-

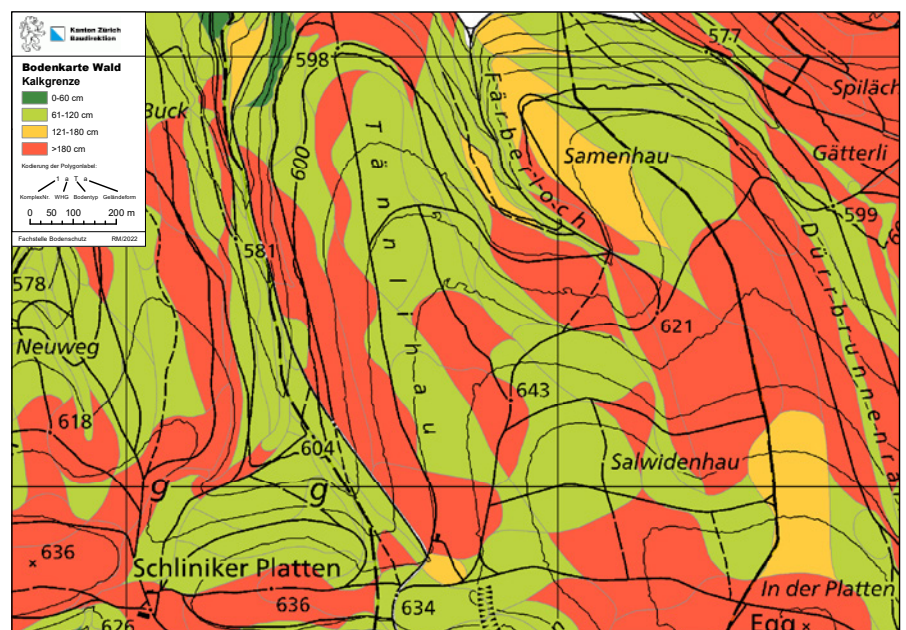


Abb. 2. Polygonkarte der Kalkgrenze im Gebiet Wehntaler Egg.

beiteten Grundlagen grosses Potential für die Bewirtschaftenden, aber auch den Bodenschutz und die Wissenschaft. Aufgrund der Bodenattribute kann beispielsweise die Verdichtungsempfindlichkeit des Bodens abgeschätzt werden. Und mit der nutzbaren Feldkapazität wird eine zentrale Grösse des Bodenwasserhaushaltes erfasst, welche bei Massnahmen zur Anpassung an den Klimawandel noch an Bedeutung gewinnen wird. Generell lässt sich sagen, dass mit der Bodenkartierung und den daraus erstellten Kartenprodukten eine äusserst wertvolle Grundlage geschaffen wurde, um die anstehenden Herausforderungen der Bodenversauerung und des Klimawandels zu bewältigen, sowohl im Kontext der Bewirtschaftung als auch bei der Erhaltung der Bodenfunktionen und der Abwehr von Naturgefahren.

## 5 Literatur

- AfU-SO (Hrsg.) 2008: Projekthandbuch – Bodenkartierung Kanton Solothurn (5. Ausgabe). Amt für Umwelt, Kanton Solothurn, Solothurn.
- DESIE, E.; VANCAMPENHOUT, K.; NYSSSEN, B.; VAN DEN BERG, L.; WEIJTERS, M.; VAN DUINEN, G.-J.; DEN OUDEN, J.; VAN MEERBEEK, K.; MUYS, B., 2020: Litter quality and the law of the most limiting: Opportunities for restoring nutrient cycles in acidified forest soils. *Sci. Total Environ.* 699: 134383.
- FAL; VD-ZH. (Hrsg.) 1998: Grundlagenbericht zur Bodenkartierung des Kantons Zürich – Landwirtschaftsareal. Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL), Volkswirtschaftsdirektion des Kantons Zürich (VD-ZH), Zürich.
- GASSER, U.; STUTZ, H.-P.; BOUQUET, F., 2009: Bodenversauerung und Bodenfruchtbarkeit im Zürcher Wald. *Zür. Wald* 1/2009: 4–9.
- NUSSBAUM, M.; PAPRITZ A., 2015: Transferfunktionen Nährstoffmesswerte – Labormethoden FAC und AAE. ETH Zürich (interner Bericht).
- NUSSBAUM, M.; BURGOS, S., 2017: Transferfunktionen potentielle Kationenaustauschkapazität Labormethoden FAC versus AAE. Berner Fachhochschule, Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL, Zollikofen (interner Bericht).
- PRESLER, J., 2010: Erhebung von stark sauren Waldböden im Kanton Zürich. Fachstelle Bodenschutz des Kantons Zürich und BABU GmbH, Zürich.
- PRESLER, J.; CARIZZONI, M., 2012: Erhebung von stark sauren Waldböden im Kanton Zürich – Methodentest und Erhebung von Validierungsdaten. Fachstelle Bodenschutz des Kantons Zürich und BABU GmbH, Zürich.
- RIGLING, A.; SCHAFFER, H.P. (Hrsg.) 2015: Waldbericht 2015. Zustand und Nutzung des Schweizer Waldes. Bern, Bundesamt für Umwelt; Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt WSL.

### Abstract

#### Mapping of Forest Soils by the Canton of Zurich: Uncovering Soil Acidification

According to estimates, 13 000 of the 50 000 hectares of forests within the canton of Zurich feature strongly acidic soils. These soils show depletion of nutrients inhibiting plant growth and soil biota. From 2013 to 2022, pedological soil maps were acquired for 4800 hectares covering the most affected areas. The methodology for the cartography was optimised according to the aims of the project. Soil acidity and base saturation were assessed down to 180 cm soil depth. In addition to traditional pedological soil maps, further products targeting specific questions are derived, such as for soil hydrological parameters and the compaction vulnerability of the soil. The collected data allow to visualise the status and the evolution of soil acidification. In consequence, they help tackling soil acidification as well as further challenges, such as adapting to climate change.

Keywords: Soil mapping, soil data, soil acidification, forest soils, canton of Zurich, soil protection



Diese Publikation ist Open Access und alle Texte und Fotos, bei denen nichts anderes angegeben ist, unterliegen der Creative-Commons-Lizenz CC BY 4.0. Sie dürfen unter Angabe der Quelle frei vervielfältigt, verbreitet und verändert werden.