



Kanton Zürich
Baudirektion



Bodenqualität in Gewächshäusern mit bodenabhängiger Produktion, Faktenblatt

Amt für Landschaft und Natur
Fachstelle Bodenschutz

Kontakt: Cécile Wanner, Wissenschaftliche Mitarbeiterin, Walcheplatz 2, 8090 Zürich
Telefon +41 43 259 54 61, www.boden.zh.ch

Juli 2016 rev. Dezember 2016

1/4

Fruchtfolgeflächen unter Glas – sind die Voraussetzungen erfüllt? Diese Frage ist relevant für Produzenten, Verbände und Behörden. Massgeblich ist u.a. die Bodenqualität. Dieses Faktenblatt zeigt Bodenkenwerte, welche in fünf Gewächshäusern mit langjähriger bodenabhängiger Produktion erhoben wurden. Nicht Gegenstand sind Art und Umfang baulicher Eingriffe in Böden (Fundamente und Infrastruktureinrichtungen) sowie die Grösse und Geometrie der verbleibenden offenen Bodenflächen.

In Gewächshäusern werden intensiv und ganzjährig Nahrungsmittel in einer technisch optimierten Umwelt, weitgehend unabhängig von klimatischen Einflüssen produziert. Wasser, Nähr- und Hilfsstoffe werden bedarfsgerecht zugeführt. Temperatur und Lichtverhältnisse sind reguliert. Diese Faktoren sind in der Freilandproduktion anders, wie auch die Bewirtschaftung der Böden.

Wirken sich diese Unterschiede auf die Bodenfruchtbarkeit aus? Hierfür wurden die Böden in fünf Gewächshäusern untersucht, in denen seit 12, 15, 33, 34 und 42 (davon erste 40 Jahre Folienhaus) Jahren bodenabhängig produziert wird. In vier Gewächshäusern wird der Boden regelmässig sterilisiert (Erhitzen des Oberbodens mit Dampf > 70°C), in einem seit rund 20 Jahren nicht mehr. Drei der untersuchten Gewächshäuser produzieren in biologischer Anbauweise.

Vorgehen

In jedem Gewächshaus (GWH) wurden ein Bodenprofil nach Methode FAL 24¹ aufgenommen sowie am Profil Misch- und Zylinderproben entnommen. Es wurde die Saugspannung gemessen, eine Regenwurmaustreibung vorgenommen, eine Rammsondierung (Eindringwiderstand, 10 Wiederholungen) durchgeführt und eine Mischprobe von der gesamten GWH-Fläche entnommen. Die GWH-Fläche variierte zwischen 3000 m² und 5000 m².

Aus den Mischproben wurden folgende Bodenkenwerte bestimmt: pH, Körnung, organische Substanz, effektive Kationenaustauschkapazität, Basalatmung und mikrobielle Biomasse. Aus den Zylinderproben: gesättigte Wasserleitfähigkeit, Lagerungsdichte und Skelettgehalt. Schadstoffe wurden nicht untersucht. Basierend auf den Erfahrungen beim ersten Standort fanden leichte methodische Anpassungen statt. Daher liegen vergleichbare Ergebnisse für diesen Standort vereinzelt nicht vor.

Die Medianwerte (mittlere Werte) der GWH wurden mit den Medianwerten der Ackerstandorte aus der kantonalen Bodenüberwachung (je nach Parameter 106 – 230 Standorte; bei Lagerungsdichte und Skelettgehalt im Unterboden 20 Standorte) verglichen. Für den Vergleich der mikrobiologischen Parameter wurden Vergleichswerte aus der Arbeitshilfe zur Interpretation bodenbiologischer Parameter² (220 Ackerstandorte) und Ergebnisse von vier Ackerstandorten mit mehr als 10% organischer Substanz aus einem Projekt der Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft³ hinzugezogen.



Ergebnisse

Die Tabellen 1 bis 3 zeigen die erhobenen Messwerte als Übersicht.

Tabelle 1: Mischproben - Medianwerte der Gewächshäuser (GWH) und der Ackerstandorte der kantonalen Bodenüberwachung (KaBo)

	Tiefe [cm]	pH (CaCl ₂)	Org. Substanz [Gew.-%]	KAK eff. ^a	Ton (< 2 µm) [%]	Schluff (2 - 50 µm) [%]
GWH	0-20	7.1	10.4	33	21	28
GWH	40-60	7.0	3.1	20	21	31
KaBo	0-20	6.2	3.7	17	23	35
KaBo	40-60	6.6	1.3	15	25	36

Tabelle 2: Mikrobiologische Kennwerte aus den Mischproben - Medianwerte der Gewächshäuser (GWH), der Ackerstandorte der Arbeitshilfe zur Interpretation bodenbiologischer Parameter (VBB) und der Ackerstandorte der Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL)

	Tiefe [cm]	Org. Substanz [Gew.-%]	Metabolischer Quotient ^b	Basal-atmung ^c	Biomasse FE ^d	Biomasse SIR ^d
GWH	0-20	10.4	2.58	0.91	248	355
VBB (<10% org. Sub.) ²	0-20	3.1	1.05	0.49	518	477
WSL (>10% org. Sub.) ³	0-20	14.5	1.09	1.55	1315	1431

Tabelle 3: Zylinderproben - Medianwerte der Gewächshäuser (GWH) und der Ackerstandorte der kantonalen Bodenüberwachung (KaBo)

	Tiefe [cm]	Skelettgehalt [Gew.-%]	Lagerungsdichte [g/cm ³]
GWH	4-15	10	0.99
GWH	44-55	11	1.50
KaBo	4-15	11	1.31
KaBo	44-55	15	1.48

^a effektive Kationenaustauschkapazität; Einheit [cmol_c/kg trockener Boden]

^b Einheit [(Basal-atmung/Biomasse SIR)*1000]

^c Einheit [mg CO₂-C/kg Boden*h]

^d Einheit [mg/kg Boden]; SIR: substratinduzierten Respiration; FE: Fumigations-Extraktionsmethode

Körnung Die Körnung im Ober- und Unterboden der einzelnen GWH variiert zwischen tonigem und sandigem Lehm. Verglichen mit Ackerstandorten weisen die Ober- und Unterböden der GWH einen leicht tieferen Schluffgehalt aus. (Tabelle 1).

Skelett Der im Labor bestimmte Skelettgehalt (Kies und Steine) im Oberboden der GWH beträgt wie bei den Ackerstandorten rund 10%, im Unterboden ist er um rund 4% tiefer als bei Ackerstandorten (Tabelle 3).

Gefüge Im Oberboden treten anthropogene Gefügeformen (Bröckel, kleine rundliche Klumpen) auf, welche in der Bearbeitungsschicht durch die mechanische Einwirkung entstehen. Im Unterboden sind die Gefügeformen grösstenteils natürlich (Subpolyeder, Polyeder). Auffälligkeiten hinsichtlich einer Beeinträchtigung des Gefüges sind nicht feststellbar.

Organische Substanz Grosse Unterschiede: 3.7% bei den Ackerstandorten - 10.4% bei den GWH, was dem oberen 5% Perzentil der Ackerstandorte entspricht. Hohe organische Gehalte in den GWH-Böden resultieren aus Kompostgaben, Zufuhr von Substraten mit Pflanzensetzlingen und teilweise aus organischem Ausgangsmaterial.



- pH Die Oberböden der GWH sind im neutralen Bereich, die pH-Werte um knapp eine Einheit höher als bei Ackerstandorten. Auch im Unterboden werden höhere Werte als bei Ackerstandorten gemessen (+ 0.4).
- Lagerungsdichte und Verdichtungen Oberböden sind in GWH lockerer gelagert als bei Ackerstandorten (Tabelle 3). Die Lagerungsdichten im Unterboden unterscheiden sich nicht wesentlich. An einem Standort war eine Bestimmung aufgrund hoher Skelettgehalte nicht möglich.
- Gemäss Profilsprache ist der Unterboden bei zwei GWH leicht verdichtet bzw. verdichtet. Beim GWH mit der grösseren Verdichtung wurde die grösste Lagerungsdichte aller GWH (1.61 g/cm^3 , oberes 10% Perzentil der Ackerstandorte) gemessen.
- Eindringwiderstand Der Eindringwiderstand ist von der Dichte des Materials und dem Wassergehalt abhängig. Je trockener und dichter eine Schicht ist, desto höher der Eindringwiderstand. Bei homogener Verteilung des Wassergehalts gibt der Verlauf des Eindringwiderstands einen Hinweis auf Bodenverdichtungen. Die Eindringwiderstände der verschiedenen GWH können aufgrund unterschiedlicher Wassergehalte (bestimmt mit Saugspannungsmessungen in 20 und 60 cm Tiefe; gemessene Werte variierten zwischen 7 und über 40 cbar) nicht absolut miteinander verglichen werden. Relativ gesehen zeigen alle Standorte trotz einem zunehmenden oder gleichbleibenden Wassergehalt im Unterboden einen höheren Eindringwiderstand als im Oberboden. Dies ist infolge grundsätzlich höherer Dichten im Unterboden plausibel. In einem GWH erreicht der Eindringwiderstand in rund 40 cm Tiefe den von den Kantonen vorgeschlagenen Richtwert⁴, jedoch nicht den Massnahmenwert⁴ für Bodenverdichtung.
- gesättigte Wasserleitfähigkeit Sie ist ein Mass für die Wasserdurchlässigkeit der Böden und konnte im Oberboden nur an einem Standort zuverlässig bestimmt werden (d.h. mehr als drei Proben analysierbar), da das Probenmaterial eine sehr geringe Bindigkeit aufwies und bei der Aufbereitung zerfiel. Im Unterboden konnte die gesättigte Wasserleitfähigkeit an drei Standorten bestimmt werden. Sie beträgt zwischen 4.4 und $6.6 \cdot 10^{-4} \text{ cm/s}$ und ist somit grösser als der von den Kantonen vorgeschlagene Richtwert⁴ für die gesättigte Wasserleitfähigkeit; d.h. es besteht kein Hinweis auf gestörte Wasserleitfähigkeit.
- Vernässung Beurteilt nach den Vernässungszeichen am Profil sind vier der GWH-Böden normal durchlässig, wovon ein Boden schwache Staunässe aufzeigt. Ein Boden weist Zeichen einer Grundwasserbeeinflussung auf.
- effektive Kationenaustauschkapazität KAK_{eff} Die KAK_{eff} ist ein Mass für die Fähigkeit zur Nährstoffspeicherung. Je höher der Wert ist, desto mehr austauschbare Kationen können in der Feinerde gespeichert werden. Die Werte sind in den Ober- und Unterböden der GWH aufgrund höherer pH-Werte und grösserer Gehalte an organischer Substanz deutlich grösser als bei den Ackerstandorten (Tabelle 1).
- Durchwurzelungstiefe & -intensität Der Hauptwurzelraum der GWH befindet sich in den obersten rund 30 cm. Eine schwache Durchwurzelung bis in den Unterboden ist bei allen Standorten festzustellen. Zwei Standorte weisen vereinzelte Wurzeln bis in Tiefen von 85 cm auf.
- Regenwurmaktivität Die Regenwurmaustreibung mit einer Senflösung war bei keinem der fünf GWH erfolgreich. Die Probenehmer gingen davon aus, dass die Regenwürmer der Senflösung beim sehr lockeren Substrat lateral ausweichen konnten. Die Beschreibung der Regenwurmaktivität beruht daher auf der Beobachtung von Regenwürmern, Regenwurm-gängen und -lösungen an der Profilwand.
- Bis auf einen Standort können in allen GWH Regenwurmaktivitäten bis in den Unterboden festgestellt werden. Die meisten Regenwürmer kommen im Bodenprofil des GWH vor, bei welchem seit 20 Jahren keine Sterilisierung vorgenommen wurde.
- Mikrobiologie Zur Charakterisierung der Menge und Aktivität der Mikroorganismen wurden im Labor die mikrobielle Biomasse mit der substratinduzierten Respiration und Fumigations-Extraktionsmethode sowie die Basalatmung (Atmung bei optimalen Laborbedingungen) bestimmt. Die Biomasse und die Basalatmung sind stark von den Standortbedingungen (pH, organische Substanz, Körnung) abhängig. Die Biomasse der GWH ist deut-



lich geringer als Vergleichswerte von Ackerstandorten mit wesentlich tieferem Gehalt an organischer Substanz und beträgt etwa ein Viertel der Biomasse der Referenz-Ackerstandorte des WSL mit vergleichbaren Standortbedingungen (Tabelle 2).

Der metabolische Quotient ist das Verhältnis der Basalatmung unter optimierten Laborbedingungen zur Biomasse und weitgehend unabhängig von Standortbedingungen. Je niedriger der metabolische Quotient ist, desto effizienter arbeitet die Biomasse beim Abbau organischer Substanz⁵ im Feld. Erhöhte Werte sind negativ zu beurteilen. Der metabolische Quotient der GWH-Böden war an allen Standorten deutlich höher als die Vergleichswerte (Tabelle 2). Der höchste metabolische Quotient (3.2) wurde im erst kürzlich sterilisierten GWH-Boden gemessen.

Niedrige Werte der mikrobiologischen Biomasse und erhöhte metabolische Quotienten weisen auf Stresssituationen der Bodenmikroorganismen hin. Zu erhöhten metabolischen Quotienten führen beispielsweise Verdichtungen oder chemischen Belastungen durch Herbizide⁵. Zudem zeigen Studien einen Zusammenhang zwischen niedrigeren metabolischen Quotienten und höheren Ernteerträgen⁵.

Demnach wirken sich die Produktionsbedingungen in GWH negativ auf die Mikroorganismen aus. Grundsätzlich ist eine Regenerierung der mikrobiellen Parameter möglich⁶. Aufgrund der fehlenden Erfahrungswerte ist aber unklar, wie lange der Aufbau der mikrobiellen Biomasse in Anspruch nehmen würde.

Nutzungsseignung Die landwirtschaftliche Nutzungsseignung nach FAL 24¹ ist abhängig von der Bodenmächtigkeit, den oben beschriebenen Bodeneigenschaften, der Hangneigung und dem klimatischen Nutzungsgebiet. Gemäss pedologischer Profilsprache ergibt sich für alle GWH im Bereich des Bodenprofils eine landwirtschaftliche Nutzungsseignungsklasse 2 oder 3. Dies entspricht den agronomischen Standortqualitätsanforderungen an Fruchtfolgeflächen. Limitierend sind der Skelettgehalt und/oder die Gründigkeit.

Fazit

Die Böden der fünf untersuchten Gewächshäuser mit bodenabhängiger Produktion unterscheiden sich von denen der Ackerstandorte bezüglich einiger Eigenschaften. Auffällig sind hohe Gehalte an organischer Substanz, hohe pH-Werte, hohe effektive Kationenaustauschkapazitäten und ungünstige Werte bei den mikrobiologischen Parametern. Es ist zu vermuten, dass diese Unterschiede allgemein gewächshausspezifisch sind.

Sowohl die Bodenprofilaufnahme als auch die chemischen und physikalischen Erhebungen lassen nicht eindeutig auf Belastungen der Bodenfruchtbarkeit in den Gewächshäusern schliessen. Die Bodenkennwerte, nach denen die Fruchtfolgefähigkeit bestimmt wird, sind in den Gewächshäusern nicht erheblich ungünstig verändert. Hingegen ist eine aktuelle Beeinträchtigung der Bodenfruchtbarkeit aufgrund der mikrobiologischen Messwerte anzunehmen.

Die Erhebungen erlauben keine Aussagen zur Qualität von Böden in Gewächshäusern mit bodenunabhängiger Produktion.

- Verweise
- ¹ FAL 24 (1997): Kartieren und Beurteilen von Landwirtschaftsflächen, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich-Reckenholz.
 - ² VBB (2009): Arbeitshilfe zur Anwendung und Interpretation bodenbiologischer Parameter, Arbeitsgruppe Vollzug Bodenbiologie VBB/BSA, BAFU und Bodenschutzfachstellen der Kantone.
 - ³ Ergebnisse von Ackerstandorten mit vergleichbaren Gehalten an organischer Substanz des MIP Projekts (Mykorrhiza-Infektionspotential). Egli, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL. Zur Verfügung gestellt von Oberholzer, Stv. Leiter Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz, Agroscope.
 - ⁴ Buchter und Häusler (2009). Arbeitshilfe zur Erfassung und Beurteilung von Bodenschichtverdichtung.
 - ⁵ Schinner et al. (1993): Bodenbiologische Arbeitsmethoden, Springer Verlag Berlin Heidelberg.
 - ⁶ Oberholzer, Wysser, Hartmann and Widmer (2006). Regeneration of Impaired Biological Soil Properties Caused by Physical Soil Impact. p. 140-148. In: Horn, Fleige, Peth and Peng (Ed.) Soil Management for Sustainability. Advances in GeoEcology 38.