

Bedeutung und Entwicklung des Humusgehaltes in Böden: Einfluss von Standort, Bewirtschaftung und Klimawandel

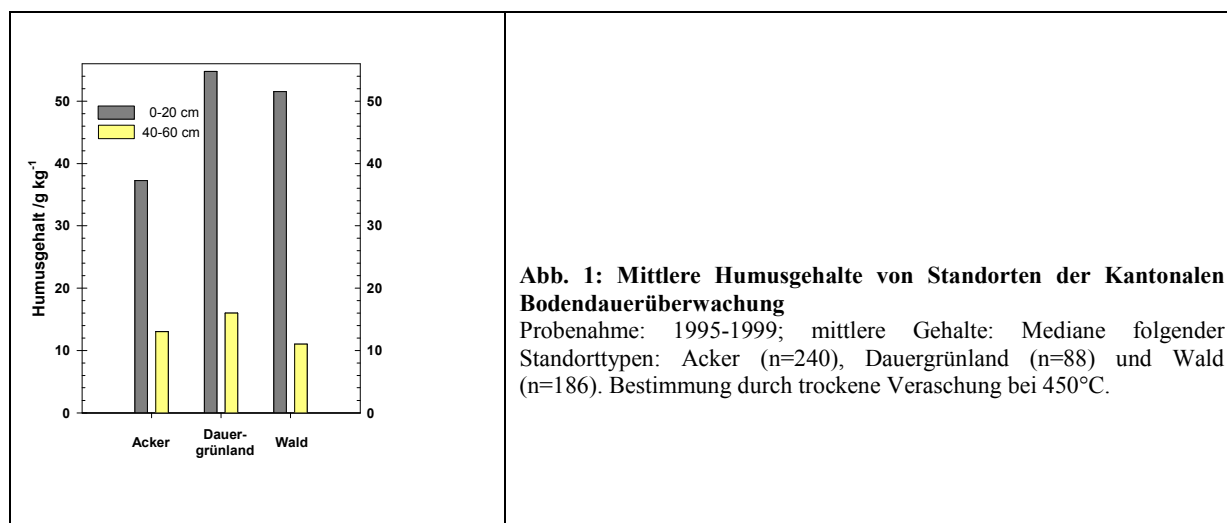
Das Wichtigste in Kürze

Böden als wichtiger Kohlenstoffspeicher und Drehscheibe des Kohlenstoffkreislaufs: Die land- und forstwirtschaftlichen Böden des Kantons Zürich speichern in Form von Humus rund 17 Millionen Tonnen Kohlenstoff¹ [1]; [2]. Wenn Humus abgebaut wird, schliesst sich der Kreislauf des Kohlenstoffs, indem Kohlendioxid (CO₂) in die Atmosphäre zurückkehrt. Der Boden wirkt somit als Drehscheibe Kohlenstoffkreislaufs.

Klimawandel: Die Wissenschaft sagt voraus, dass sich das Klima in der Schweiz in den kommenden weiter verändert. Die Temperaturen steigen im Jahresmittel und somit wird die Kultivierungszeit für Pflanzen länger. Zudem könnte die Jahresniederschlagsmenge abnehmen. Da Trockenheitsperioden, aber auch intensive Niederschläge häufiger werden, nehmen Naturereignissen wie Hochwasser und Murgänge voraussichtlich zu.

Auswirkungen auf den Kohlenstoffkreislauf: Dieser Klimawandel könnte ausserdem bewirken, dass Humus beschleunigt abgebaut wird. Der resultierende Humusverlust vermindert einerseits Fruchtbarkeit und Filterwirkung des Bodens und erhöht andererseits den Ausstoss des Treibhausgases CO₂². Humusverlust kann auch durch Erosion von Böden auftreten. Der Klimawandel wirkt sich deshalb nur zum Teil günstig auf die Landwirtschaft aus.

Entwicklung des Humusgehaltes muss verfolgt werden: Wegen der grossen Bedeutung des Humusgehaltes für Ökologie und Ökonomie muss dessen Entwicklung verfolgt und nötigenfalls gelenkt werden. Als ersten Schritt in diese Richtung wurde der Humusgehalt von Standorten der Kantonalen Dauerüberwachung erhoben (Abb. 1):



¹ Schätzung aufgrund der Angaben zu Fläche und Kohlestoffvorrat von Mineralböden

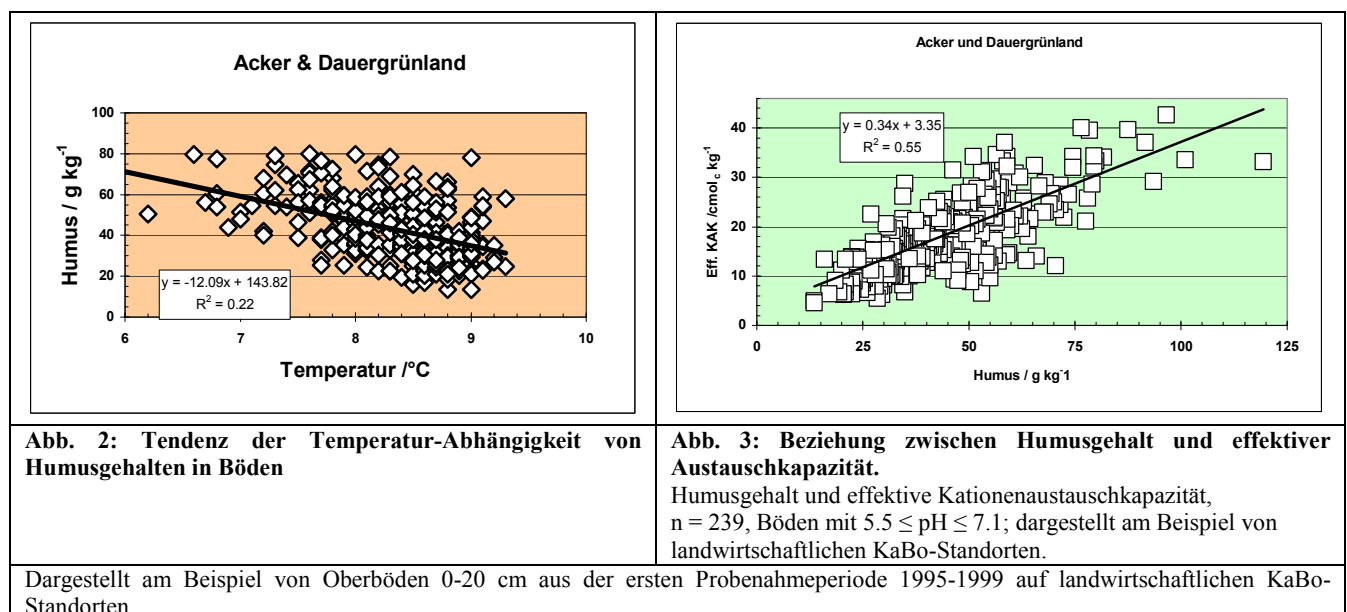
² EU Impact Assessment of the Thematic Strategy for Soil Protection. COM(2006)231 final; SEC(2006)1165. S. 15.

Die Details

Humusschwund landwirtschaftlich genutzter Flächen als Folge des Klimawandels? Daten der Fachstelle Bodenschutz auf landwirtschaftlich genutzten Standorten der kantonalen Bodendauerüberwachung zeigen die aktuelle Beziehung zwischen der Jahresmitteltemperatur und Humusgehalt von Böden auf. Nimmt im Zürcher Landwirtschaftsgebiet die mittlere Jahrestemperatur um 1 °C zu, verliert der Boden rund 12 g Humus/kg Boden. Dieser Humusverlust entspricht rund einem Viertel des aktuellen mittleren Gehaltes von rund 45 g/kg (Abb. 2) und kann zu einem CO₂-Ausstoss von bis zu 26 g/kg Boden führen. Eine Verminderung der Kationenaustauschkapazität (Speicherplätze) von rund 4.5 cmol_c/kg Boden ist aufgrund des Humusverlusts zu erwarten (Abb. 3). Die Kationenaustauschkapazität sinkt so von im Mittel 19 auf ca. 14.5 cmol_c/kg. Dadurch nimmt das Rückhaltevermögen der Böden für Nähr- und Schadstoffe ab.

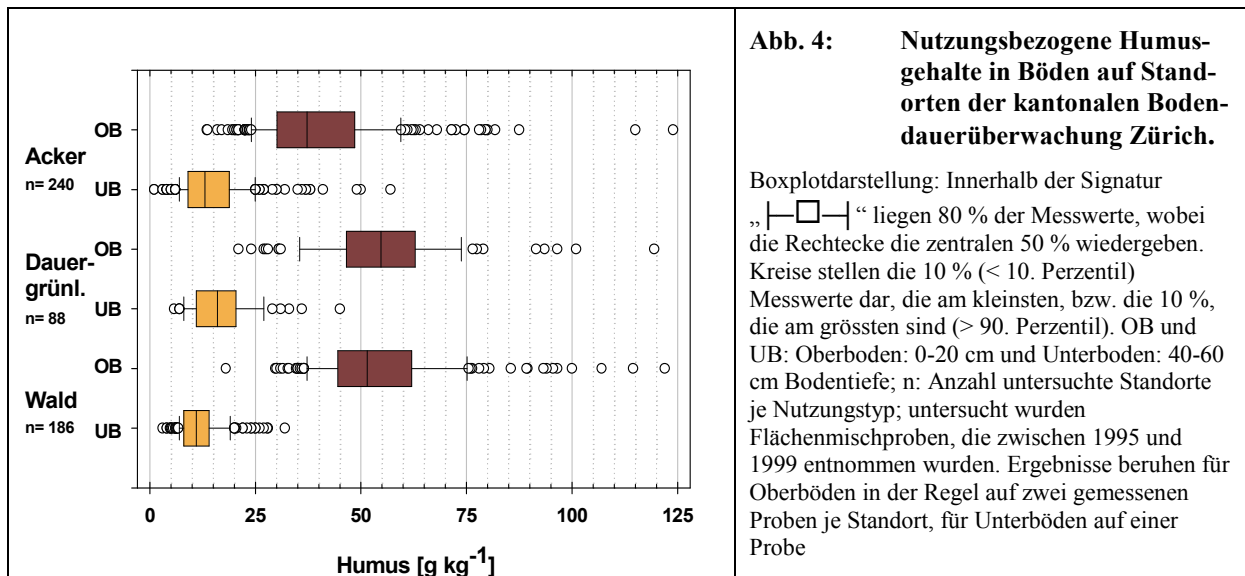
Auch der Niederschlag beeinflusst den Humusgehalt der Zürcher Landwirtschaftsböden: Je Millimeter Rückgang des mittleren Jahresniederschlags nimmt der Humusgehalt um 0.5 g/kg Boden ab. Das tendenziell trockenere Klima vermindert die Produktion von Biomasse sowie ihre Umbildung zu Humus. Der reduzierte Humusgehalt schwächt zudem das Gefüge. Kombiniert mit den erwarteten intensiveren Niederschlägen, dürfte dies die Bodenerosion begünstigen und eine weitere Abnahme des Humusgehaltes bewirken. Der Verlust von Austauschertöpfen und eine reduzierte Wasserspeicherkapazität setzen die Ertragsfähigkeit der Böden herab. Ob die erwarteten längeren Vegetationsperioden den Humusschwund wettmachen können, ist aktuell noch unklar.

Humus im globalen Kohlenstoffkreislauf und sein Einfluss auf Treibhausgase: Böden nehmen mit Humus und Kalk sowohl regional wie auch global im Kohlenstoffkreislauf eine wichtige Rolle ein, indem sie als Quellen und Senken³ von Gasen, wie z. B. Kohlendioxid (CO₂) und Methan (CH₄), wirken. Die beiden Gase sind auch als Treibhausgase bekannt, da sie in der Atmosphäre den Wärmehaushalt der Erde beeinflussen. Dies verdeutlicht den direkten Zusammenhang von Klima und Bodenentwicklung. Ein weiteres wichtiges Treibhausgas ist das stickstoffhaltige Lachgas (N₂O), das z. Bsp. im wassergesättigten Boden entsteht. Dass über Treibhausgase international Buch geführt wird, ist ein weiterer Grund, den Humusgehalt zu verfolgen.



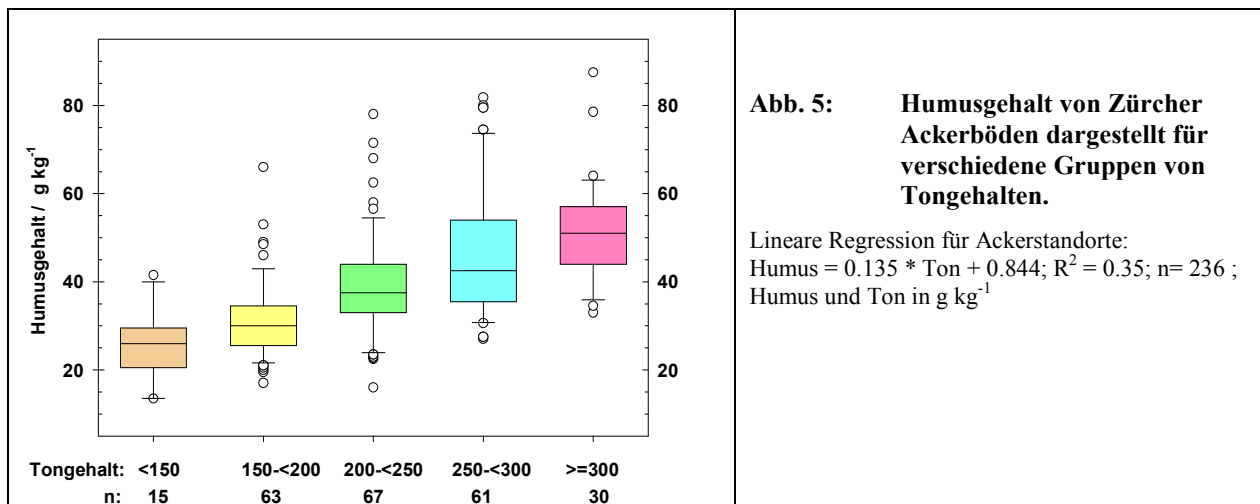
Wie hoch ist der Humusgehalt von Zürcher Böden? Dies war bislang nur bekannt aufgrund von Einzelmessungen und Schätzungen der Landwirtschaftlichen Beratung. Standorte der Bodendauerüberwachung ergeben nun folgendes Bild (Abb. 4):

³ Senken sind der Atmosphäre entzogener und in Wäldern, Ozeanen oder Böden gebundener Kohlenstoff.



Die Kenntnis des Humusgehaltes kann z. B. für Bewirtschaftungszwecke und für Beurteilungen im Zusammenhang mit dem Klimawandel verwendet werden.

Wie die typischen Humusgehalte der Ackerböden Bayerns [3] zeigen, ist es für Bewirtschaftungszwecke wichtig, den Tongehalt des Bodens zu berücksichtigen. Dies trifft auch für den Kanton Zürich zu (Abb. 5). In den untersuchten Böden nimmt der Humusgehalt der Böden mit steigendem Tongehalt zu.



Weitere Datensichtungen ergaben auch eine Abhängigkeit des Humusgehaltes vom Ausgangsgestein sowie vom Bodentyp, der klar durch den Wasserhaushalt des Bodens geprägt wird.

Humus und seine Bedeutung in der Debatte zum Klimawandel: Durch die Debatte über die Klimaerwärmung wurde die überwiegend land- und forstwirtschaftliche Bedeutung des Humus um den klimatischen Aspekt erweitert. Wesentlich ist dabei vor allem die Reduktion des Treibhausgasausstosses. Die Schweiz hat sich im Rahmen des Kyoto-Protokolls verpflichtet, bis 2012 den Ausstoss von Treibhausgasen wie Kohlendioxid, Methan und Lachgas um 8 % unter das Niveau von 1990 zu senken. An die Treibhausgas-Bilanz werden neben der Ausstossverringering auch Senken

angerechnet, wie sie zum Beispiel für Kohlendioxid im Zusammenhang mit Aufforstungen bestehen⁴. Aber auch Böden könnten mit ihrer Eigenschaft Kohlenstoff in der Form von Humus einzulagern, einen Beitrag zur CO₂-Reduktion leisten.

Schweizer Wald als CO₂-Senke: Waldstandorte der gemässigten Breiten, zu denen auch die Schweiz gehört, konnten in den vergangenen Jahrzehnten an Humus zulegen und als CO₂-Senken wirken wie jüngere Untersuchungen zeigen [4]; [5]; vgl. [6]. Als Ursache wird dabei – neben der Wiederbewaldung ackerbaulicher Flächen – vor allem die erhöhte Stickstoff-Deposition betrachtet. Der Mensch greift somit in den Kohlenstoffkreislauf der Wälder der gemässigten Breiten ein, entweder direkt, durch die Waldbewirtschaftung, oder indirekt, durch den Stickstoffeintrag. Humusschwund in der Landwirtschaft und Humusgewinn im Wald heben sich bezüglich CO₂ teilweise auf.

Die Funktionen und Bedeutung des Humus im Boden: Mikroorganismen bauen organische Substanz im Boden zu Humus um. Wegen seiner Speicher- und Filterfunktionen ist der Humus für die Bodenfruchtbarkeit von grosser Bedeutung. Er speichert Nährstoffe⁵ und bildet Verbindungen mit Tonmineralen (Ton-Humus-Komplexe). Mit der dadurch gestärkten Gefügestabilität wird die Belüftung und Wasserspeicherung des Bodens optimiert und so der Lebensraum von Wurzeln und Mikroorganismen verbessert. Der Humusgehalt der Böden ist mit Umwelt- und Bewirtschaftungsregelgrössen stark vernetzt (Abbildung 6).

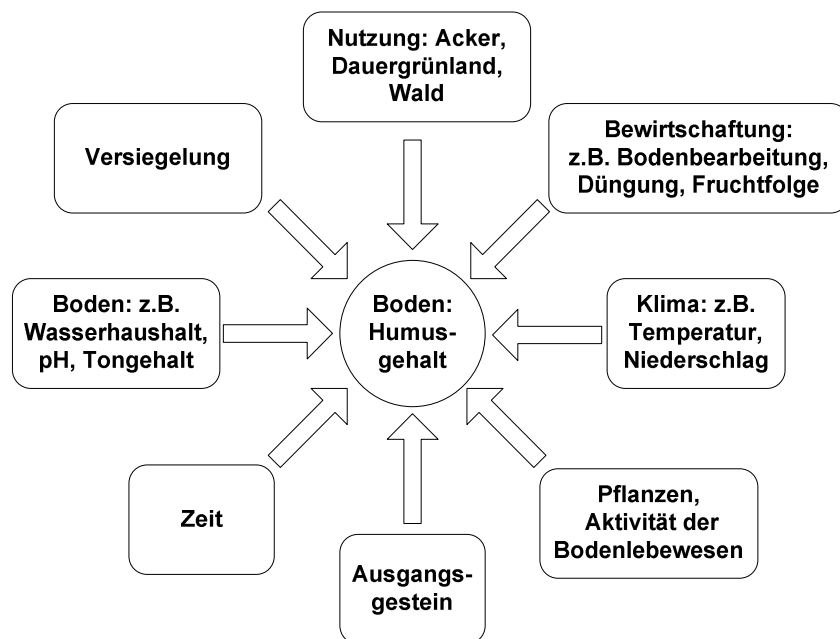


Abb. 6: Schematische Darstellung wichtiger Grössen, die den Humusgehalt des Bodens beeinflussen.

Prognostizierte Klimaänderungen für die Schweiz: Die Erwärmung in der Schweiz bis ins Jahr 2050 wird für die Jahreszeiten Herbst, Winter und Frühjahr auf rund 2 °C (bei einem Unsicherheitsbereich von 1 bis 5 °C) und für den Sommer auf knapp 3 °C (respektive 2 bis 7 °C) geschätzt. Eine Abnahme ist dagegen bei winterlichen Kältewellen zu erwarten. Im Sommer nehmen Hitzewellen und wahrscheinlich auch Trockenperioden generell zu. ([7], S. 5)

Im sommerfeuchten Klima der Schweiz fallen die meisten Niederschläge im Sommer an. Voraussichtlich nehmen die Niederschläge im Winter um rund 10 % zu, im Sommer hingegen um rund 20 % ab. Intensive Niederschläge und damit Hochwasser und Murgänge sollen speziell im Winter häufiger

⁴ Wird eine bisher ackerbaulich genutzte Fläche aufgeforstet, nimmt der Kohlenstoffgehalt im Ökosystem der Fläche zu: Einerseits wird Kohlenstoff im Holz eingelagert und andererseits nimmt der Humusgehalt des Bodens zu.

⁵ aber auch Schadstoffe

werden, was ohne weitere Gegenmassnahmen zu erhöhter Bodenerosion und Humusverlust führen wird.

Ausgehend von aktuellen Niederschlagsdaten sowie den prognostizierten Klimaänderungen kann angenommen werden, dass die Zunahme der Niederschläge im Winter die Niederschlagsabnahme im Sommer nicht zu kompensieren vermag⁶. Das Klima wird dadurch voraussichtlich trockener und es ist eine Abnahme des Humusgehaltes im Boden zu erwarten⁷.

Fazit

Folgerungen für die kantonale Bodendauerüberwachung: Ob der Klimawandel letztlich mehr positive oder negative Auswirkungen auf Land- und Forstwirtschaft haben wird, ist noch unklar. Wegen der Rolle der Böden, insbesondere des Humus, als Quellen und Senken im regionalen wie auch im globalen Kohlenstoffkreislauf, sollte dem Humusgehalt vermehrt Beachtung geschenkt werden. Die vorliegenden Daten der kantonalen Bodendauerüberwachung beschreiben den Zustand zum Zeitpunkt der Erhebung von 1995-1999. Die begründete Annahme, dass der Humus in landwirtschaftlich genutzten Böden wegen des Klimawandels abnimmt, muss verifiziert werden [8]⁸.

Bodenschutz: Zurzeit werden in der Forschung verschiedene Möglichkeiten diskutiert, um das Kohlenstoffsinken technisch zu erzielen. Es wird beispielsweise geprüft, ob verkohlte Biomasse in den Boden eingebracht werden kann und der Atmosphäre somit dauerhaft CO₂ entzogen werden kann [9] (vgl. NZZ, 23.5.2007). Die Erfahrung mit Abfalldüngern hat den Bodenschutz gelehrt, dass solche Massnahmen mit einem erheblichen stofflichen Belastungsrisiko behaftet sein können.

Landwirtschaftliche Beratung:

Die Ergebnisse zeigen, dass die landwirtschaftliche Beratung für den Humusgehalt nicht - wie von EU-Kreisen vorgeschlagen [10] - auf der Basis von einem einzelnen Wert argumentieren kann. Der Einbezug von Muttergestein und Tongehalt verbessert die Basis für die Beratung wesentlich.

Referenzen:

1. Leifeld, J., S. Bassin, und J. Fuhrer. 2003. *Carbon stocks and carbon sequestration potentials in agricultural soils in Switzerland*. Schriftenreihe der FAL No. 8046 Zürich-Reckenholz. 120 S.
2. SAZ. *Bodennutzung im Kanton Zürich 1979/85–1992/97*. 2007 [cited 2007 19.11.2007]; Available from: http://www.statistik.zh.ch/themen/aktuell/02203TBodennutzung_3129.xls.
3. Capriel, P. 2006. *Standorttypische Humusgehalte von Ackerböden in Bayern*. D-85354 Freising-Weihenstephan: Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft. 41 S.
4. Hogberg, P. 2007. *Environmental science: Nitrogen impacts on forest carbon*. Nature **447**(7146): 781-782 S.
5. Magnani, F., et al. 2007. *The human footprint in the carbon cycle of temperate and boreal forests*. Nature **447**(7146): 849-851 S.
6. Denzler, L., *Stickstoff fördert Kohlenstoffbindung im Wald. Vergleich verschieden alter Baumbestände in Europa*, in *Neue Zürcher Zeitung*. 2007: Zürich.
7. OcCC. 2007. *Klimaänderung und die Schweiz 2050. Erwartete Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft*. 3007 Bern: Beratendes Organ für Fragen der Klimaänderung, Schwarztorstrasse 9. 23 S.
8. *Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo)*. Bern. 1998. SR 814.12.
9. Lehmann, J. 2007. *A handful of carbon*. Nature **447**(7141): 143-144 S.
10. Van-Camp, L., et al. 2004. *Reports of the Technical Working Groups Established under the Thematic Strategy for Soil Protection*.: Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg. 872 S.

⁶ Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz). Klimatische Wasserdaten für Zürich-Kloten. Jahresdurchschnitt NS 1998-2006: 1'028 mm. Unter der Annahme, dass im Winter 10 % mehr und im Sommer 20 % weniger Niederschlag fallen kann ein zukünftiger Jahresdurchschnitt von 972 mm erwartet werden.

⁷ Abklärungen der FaBo ergaben folgende Beziehung zwischen dem Humusgehalt und der Niederschlagsmenge: $y = 0.054x - 1.9746$; $R^2 = 0.3816$.

⁸ Die Verordnung über Belastungen des Bodens verlangt eine Überwachung durch die Kantone, wenn eine Gefährdung der Bodenfruchtbarkeit zu erwarten ist.