

Harmonisierung von Bodendaten

Anhang zum Schlussbericht von PMSoIL

Report**Author(s):**

Walthert, Lorenz; Bridler, Lucas; Keller, Armin; Lussi, Micha; Grob, Urs

Publication date:

2016

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010801994>

Rights / license:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

Harmonisierung von Bodendaten

im Projekt

**Predictive mapping of soil properties for the evaluation of soil functions at regional scale (PMSoil)
des Nationalen Forschungsprogramms Boden (NFP68)**

Anhang zum Schlussbericht von PMSoil

Lorenz Walthert, Lucas Bridler, Armin Keller, Micha Lussi, Urs Grob

Eidgenössische Forschungsanstalt WSL und Agroscope ART

April, 2016

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung	1
2. Beprobungsstandorte	3
2.1 Mehrfach vorhandene Standorte	3
2.2 Standorte in Gewässern und auf Fels	3
2.3 Landnutzung an den Standorten.....	5
2.3.1 Stichproben im Wald	5
2.3.2 Arealstatistik der Nicht-Wald Standorte	5
3. Bodenprofile	6
3.1 Aufschlusstiefe	6
3.2 Gründigkeit	7
3.2.1 Horizontbezeichnungen und Gründigkeit	8
3.2.2 Gründigkeit bei Felsuntergrund	9
3.2.3 Vernässungs-Untertyp-R und Gründigkeit	10
4. Horizonte	12
4.1 Grenzen und Lücken/Überlappungen	12
4.2 Horizontmächtigkeit und Profiltiefe	12
5. Proben	13
5.1 Probengrenzen.....	13
5.2 Proben und Horizonte.....	13
6. Physikalische Bodeneigenschaften	14
6.1 Skelettgehalt	14
6.1.1 Mengengerüst und Datenerfassungsmethoden	14
6.1.2 Skelettgehalt und Geologie im Kanton Zürich.....	15
6.2 Textur-Messwerte.....	16
6.2.1 Mengengerüst und Datenerfassungsmethoden	16
6.2.2 Erste Datensichtung und Datenbereinigung	17
6.2.3 Werteverteilungen in Boxplots	18
6.2.4 Werteverteilungen in Texturdreiecken	19
6.2.5 Textur in Abhängigkeit des Humusgehaltes	20
6.3 Textur-Schätzwerte.....	24
6.3.1 Mengengerüst und Datenerfassungsmethode.....	24
6.3.2 Erste Datensichtung und Datenbereinigung	24

6.3.3	Wertevertellungen in Boxplots	25
6.3.4	Wertevertellungen in Texturdreiecken	27
6.3.5	Vergleich Mess- und Schätzwerte	28
6.4	Bodendichte	29
7.	Chemische Messwerte.....	29
7.1	Säuregrad (pH, CEC(H ⁺) und CEC(Al))	29
7.1.1	Wertebereiche/-verteilungen	29
7.1.2	Korrelationen zwischen pH und CEC(H ⁺) sowie zwischen pH und CEC(Al)	34
7.2	Kationenaustauschkapazität CEC _{eff} und Basensättigung	41
7.2.1	Wertebereiche/-verteilungen von CEC _{eff}	41
7.2.2	Korrelationen zwischen pH und Basensättigung	42
7.3	Stickstoff und organischer Kohlenstoff (SOC, Humus)	49
7.3.1	Wertebereiche/-verteilungen SOC	49
7.4	Vergabe von Codes bei der Harmonisierung chemischer Bodendaten	52
7.4.1	Veränderte Daten	52
7.4.2	Unbrauchbare Daten	52
8.	Literatur	53
9.	Anhang	54

1. Einführung

Der vorliegende Bericht ist ein Anhang zum Schlussbericht (Papritz et al., 2016) im Projekt „Predictive mapping of soil properties for the evaluation of soil functions at regional scale“ (PMSoil), das im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms Boden (NFP68) unter der Leitung von Andreas Papritz (ETH-Z) durchgeführt wurde. Das Ziel von Workpackage A bestand hauptsächlich darin, Daten von verschiedenen Datenquellen zu beschaffen, zu harmonisieren und diese für das Projekt PMSoil in möglichst guter Qualität verfügbar zu machen. Das Subkapitel zum Workpackage A im Schlussbericht von PMSOIL (Papritz et al., 2016) orientiert über die Ziele, die Methoden und die wichtigsten Resultate der Datenharmonisierung.

Der vorliegende Anhang zum Schlussbericht fokussiert auf zwei Aspekte der Datenharmonisierung, nämlich auf die Kontrolle und Plausibilisierung von Standorts- und von Bodeninformationen, welche für das Projekt PMSoil beschafft und in einer Datenbank gespeichert wurden. Diese Datenbank enthält Daten von 16'077 Standorten mit verschiedenen Landnutzungsformen aus den Kantonen Zürich und Bern sowie Daten von Waldstandorten der ganzen Schweiz. Die Daten stammen aus 7 verschiedenen Datenquellen (Tab. 1), wobei von der Datenquelle 6 BE KABO entgegen der ursprünglichen Planung keine Daten in PMSoil verwendet wurden. Das Ziel der Datenkontrolle bestand darin, mit einfachen Checks möglichst viele Fehler im Datensatz zu erkennen und in der Datenbank zu korrigieren oder zu kennzeichnen. Zudem wurde geprüft, wie gut in Geographischen Informationssystemen vorhandene flächige Informationen wie z.B. die Landnutzung mit den an den Profilstandorten erfassten Landnutzungsformen übereinstimmen. Ferner wurde versucht, unterschiedliche Klassierungssysteme der Bodenvernässung zu harmonisieren. Damit wurde anschliessend untersucht, ob es den erwarteten Zusammenhang zwischen dem Vernässungsgrad des Bodens und der Durchwurzelungstiefe gibt, ob also das Wurzelwachstum durch anaerobe Verhältnisse beeinträchtigt wird.

Tabelle 1: In Workpackage A untersuchte Datenquellen. Die Zahlen beziehen sich auf den Stand nach der Datenharmonisierung, also nach Bereinigung oder Ausschluss von Datensätzen. Abkürzungen: ZH: Zürich, BE: Bern, CH: Schweiz, BOKA: Bodenkartierung, KABO: Kantonale Bodenbeobachtung, WSL: Eidg. Forschungsanstalt WSL, P: Profile, FMP: Flächenmischproben.

Datenquelle	Anzahl Standorte	Anzahl Bodenprofile	Anzahl Horizonte
1 ZH BOKA	3922	3922	15282
2 ZH KABO_P	181	298	1790
3 ZH KABO_FMP	8493	-	-
4 BE BOKA_P	2405	2405	10998
5 CH WSL	1046	1046	7538
6 BE KABO_FMP	0	0	0
7 ZH WSL	30	30	183
total	16077	7701	35791

Die Datenkontrolle erfolgte auf verschiedenen Ebenen. Zuerst wurden Eigenschaften an den Beprobungsstandorten geprüft, dann folgte die Datenkontrolle auf der Ebene der Bodenprofile und der Bodenhorizonte. Schliesslich wurden ausgewählte physikalische und chemische Eigenschaften von Bodenproben geprüft. Aus Kapazitätsgründen mussten wir uns im Workpackage A auf die Kontrolle der folgenden wichtigen Standorts- und Bodeneigenschaften beschränken:

Standort: Koordinaten, Landnutzung

Bodenprofil: Aufschlusstiefe, Vernässung, Gründigkeit (Wurzelraum)

Horizont/Probe: Ober- und Untergrenzen

Physikalische Bodeneigenschaften: Skelettgehalt, Textur und Dichte

Chemische Bodeneigenschaften: pH-Wert, Azidität, Kationenaustauschkapazität (CEC), Basensättigung und organischer Kohlenstoffgehalt

Die Datenkontrolle erfolgte meistens graphisch, wobei jeweils Wertebereiche von verschiedenen Datensätzen verglichen oder Korrelationen zwischen verschiedenen voneinander abhängigen Bodenparametern untersucht wurden. Bei der Beurteilung der Datenqualität stützten wir uns auf Erfahrungen mit einer grossen Anzahl von Waldbodenproben aus der ganzen Schweiz (Datenquelle 5 CH WSL; Tab. 1), wo die Qualitätskontrolle der Daten in der Vergangenheit ebenfalls häufig graphisch erfolgte. So zeigten bei diesem Datensatz Korrelationen zwischen Bodenparametern, z.B. pH versus CEC(H) oder pH versus CEC(Al), typische Muster, oft erklärbar mit dem Entwicklungsgrad (z.B. Säurepufferbereich) oder mit den Stoffgehalten der untersuchten Böden. In Workpackage A wurde geprüft, ob die Korrelationen bei den Böden der übrigen Datenquellen ähnlich und damit plausibel verlaufen wie bei der Datenquelle 5 CH WSL. Bei abweichenden Mustern in den Korrelationen wurde nach möglichen Erklärungen gesucht.

Die Datenquelle 5 CH WSL als Referenz für die Datenkontrolle in PMSoil zu verwenden scheint aus folgenden Gründen vertretbar zu sein: i) die Berichtverfasser kennen die Qualität dieses Datensatzes recht gut, ii) die Qualität der Bodendaten wurde bei dieser Datenquelle durch verschiedene Massnahmen kontrolliert. Diese Massnahmen umfassen die folgenden Punkte (Walthert et al., 2002; Walthert et al., 2010):

- Teilnahme an Ringversuchen
- Einsatz von Referenzmaterialien (zertifizierte und nicht zertifizierte Standards)
- Eichung mit Standardlösungen
- Mehrfachbestimmungen (2 bis 3 fach)
- laufende Kontrolle der Datenqualität (z.B. mit Korrelationen zwischen Bodenparametern)
- Wiederholung von Extraktion und/oder Messung bei ungenügender Datenqualität

und iii) Bodendaten der Datenquelle 5 CH WSL konnten bereits mehrmals erfolgreich in internationalen ISI-Zeitschriften publiziert werden (z.B. Walthert et al., 2010; Walthert et al., 2013; Nussbaum et al., 2014), was darauf hindeutet, dass diesen Bodendaten vertraut wird.

Anschliessend werden die Resultate der Datenkontrolle für jeden der geprüften Parameter dokumentiert. Die Methoden, welche zur Erfassung der einzelnen Parameter angewandt wurden, werden im Bericht nur knapp beschrieben, wenn möglich werden jedoch die entsprechenden Literaturquellen angegeben.

Bis zum Kapitel 6 „Physikalische Bodeneigenschaften“ wurden alle Daten-Mutationen in der Datenbank mit „true“ oder „false“ in Zusatzspalten dokumentiert, die Mutationen weiter hinten im

Bericht wurden mit Zahlencodes in Zusatzspalten der Datenbank gekennzeichnet. Es wurden in der Regel keine Daten aus der Datenbank gelöscht, sondern nur Codes vergeben. Diese Codes lassen sich bei Datenbank-Abfragen als Filter verwenden. Durch Anwendung dieser Filter konnte in PMSoil ein um viele Fehler bereinigter Datensatz für die digitale Bodenkartierung bereitgestellt werden. Im Anhang gibt Tabelle A1 einen Überblick über die im Rahmen der Datenkontrolle vorgenommenen Korrekturen.

2. Beprobungsstandorte

Hier ging es einerseits darum, mehrfach vorhandene und fehlerhaft verortete Standorte zu erkennen und aus dem Datensatz auszuschliessen. Ein Ausschluss fehlerhaft verorteter Standorte war nötig, weil es sonst durch fehlende Kovariablen oder durch eine unübliche Kombination von Kovariablen zu Problemen bei der digitalen Bodenkartierung kommen könnte.

Andererseits wurde geprüft, wie gut Landnutzungsinformationen aus digital verfügbaren Karten mit den an den Profilorten erfassten Landnutzungsinformationen übereinstimmen, wie verlässlich also die Angaben zur Landnutzung in den Karten sind. Diese Tests sollen zeigen, ob man an Profilorten, wo die Landnutzung nicht im Feld erfasst wurde, entsprechende Informationen aus Karten entnehmen kann.

2.1 Mehrfach vorhandene Standorte

Hier wurde geprüft, ob im Datensatz fälschlicherweise Standorte mehrfach vorhanden sind. Die Kontrolle ergab, dass ein Standort eine offensichtlich falsche Koordinate aufwies. Dieser wurde in der Datenbank korrigiert. Drei Standorte wurden als Duplikate identifiziert und aus der Datenbank gelöscht.

2.2 Standorte in Gewässern und auf Fels

Hier wurde geprüft, ob es Standorte im Datensatz gibt, die aufgrund einer falschen Verortung in einem Gewässer oder auf Fels liegen und damit unplausible Koordinaten haben. Abweichungen zwischen den effektiven (wahren) Koordinaten der Standorte und jenen in der Datenbank sind möglich, weil die Lage der Standorte meistens im Feld geschätzt, auf topographischen Karten eingezeichnet und die Koordinaten anschliessend von Hand aus den Karten ausgelesen wurden. Dabei ist mit Abweichungen von schätzungsweise rund 25-50 m zwischen effektiven und herausgelesenen Koordinaten zu rechnen.

Um abzuklären, ob ein Standort durch fehlerhafte Koordinatenangabe fälschlicherweise in einem Gewässer oder auf Fels zu liegen kam, wurde das topographische Landschaftsmodell SwissTLM3D (Bundesamt für Landestopografie swisstopo) eingesetzt. Die nach diesem Modell möglichen Bodenbedeckungen sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Bodenbedeckungsobjekte des topographischen Landschaftsmodells SwissTLM3D.

Objekt	Definition
Fels	Mehr als 80 % der Fläche mit anstehendem Fels. In der Regel vegetationslos.
Fliessgewässer	Bäche, Flüsse, Kanäle (Momentaufnahme zum Zeitpunkt des Bildfluges).
Gebüschwald	Eine dicht bewaldete Fläche, die mit gleich- oder verschiedenartigen Sträuchern (hölzerne Pflanzen, welche sich bereits am Boden verästeln) bestockt ist.
Lockergestein	Bedeckungsgrad > 20 % Geröll.
Gletscher	Überwiegend mit Eis oder ewigem Schnee bedeckte Flächen.
Stehende Gewässer	Dauernd oder periodisch bedeckte offene Wasserflächen, wie Seen, Stauseen, Teiche usw.
Feuchtgebiet	Ein Feuchtgebiet ist ein Gebiet, das im Übergangsbereich von trockenen zu dauerhaft feuchten Ökosystemen liegt. Der Begriff des Feuchtgebiets umfasst verschiedene Lebensraumtypen wie Sumpf, Moor, Bruchwald, Feuchtwiese, Aue oder Ried.
Wald	Eine bewaldete Fläche, die mit gleich- oder verschiedenartigen Bäumen dicht bestockt ist.
Wald offen	Eine wenig dicht bewaldete Fläche mit einer Bodenvegetation.

Es wurde geprüft, ob es Standorte in den drei unplausiblen Objekten Fels, Fliessgewässer oder stehende Gewässer gibt. Von den insgesamt 15232 Standorten wurden 2877 mindestens einem der in Tabelle 2 aufgelisteten Objekte zugewiesen. Es zeigte sich, dass 30 Standorte fälschlicherweise in Gewässern liegen (Abb. 1). Diese 30 Standorte wurden in der Datenbank mit dem Prädikat „true“ gelabelt, alle anderen mit dem Prädikat „false“.

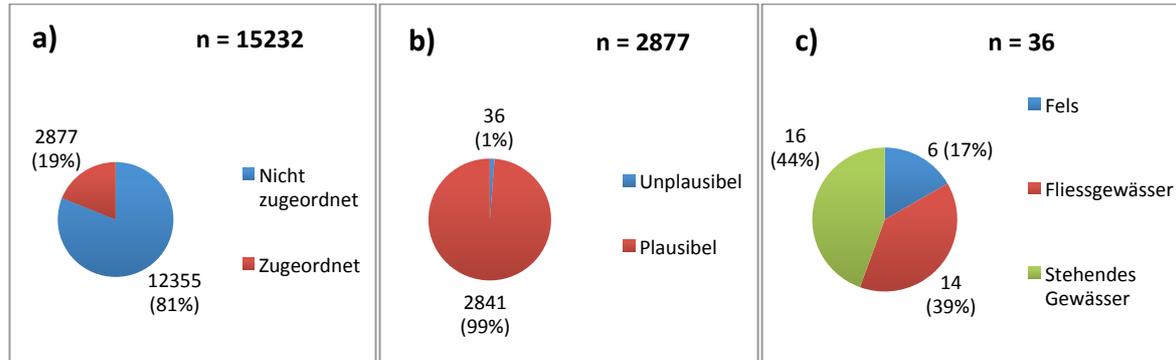


Abbildung 1: Mit SwissTLM3D zugeordnete Bodenbedeckung von allen Standorten (a), plausible und unplausible zugeordnete Standorte (b) und Anteil Gewässer und Fels der unplausiblen Standorte (c).

Sechs Standorte lagen gemäss SwissTLM3D auf Fels. Eine genauere Prüfung ergab, dass sich diese Standorte zwar in felsigem Gebiet befinden, dass dort aber Nischen für die Bildung tiefgründiger Böden vorhanden sind. Daher wurden die Koordinaten dieser Standorte als plausibel betrachtet.

2.3 Landnutzung an den Standorten

Hier wurde geprüft, wie gut die aus digitalen Karten stammende Landnutzungsinformation mit der im Feld erfassten Landnutzung übereinstimmt, wie verlässlich also die Angaben zur Landnutzung in den Karten sind. Diese Tests sollen zeigen, ob man an Profilorten, wo die Landnutzung nicht im Feld erfasst wurde, entsprechende Informationen aus Karten entnehmen kann.

2.3.1 Stichproben im Wald

Die Güte der Übereinstimmung zwischen Wald gemäss Waldmaske SilvaProtect (Bundesamt für Umwelt BAFU) und Wald gemäss Feldansprache wurde mit rund 1150 Stichproben der WSL und knapp 90 Stichproben im Kanton Bern getestet, die gemäss Feldansprache als Wald deklariert waren.

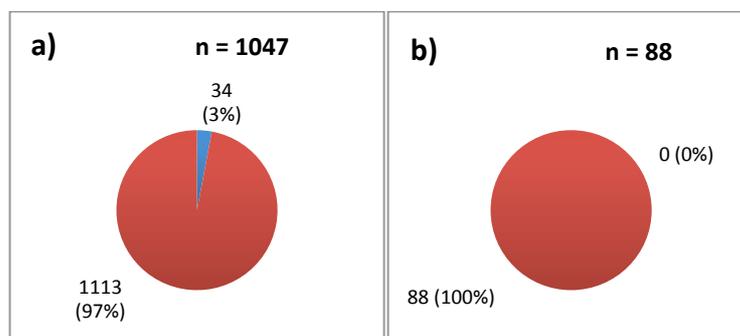


Abbildung 2: Übereinstimmung zwischen der Definition von Wald im Feld und jener durch SilvaProtect an Waldstichproben der WSL-Bodendatenbank (CH WSL) (a) und der Bodenkartierung im Kanton Bern (BE BOKA) (b).

Die Güte der Übereinstimmung zwischen Wald gemäss Waldmaske SilvaProtect und Wald gemäss Feldansprache ist hoch (Abb. 2). Bemerkenswert ist zudem, dass SilvaProtect acht der insgesamt 12 Nicht-Wald-Stichproben der WSL-Bodendatenbank als Nicht-Wald erkannt hat. SilvaProtect ist somit geeignet, die in PMSoil verwendeten und hinsichtlich Landnutzung unklassierten Stichproben zu klassieren.

2.3.2 Arealstatistik der Nicht-Wald Standorte

Mit den Arealstatistiken (Bundesamtes für Statistik) wurde den Nicht-Wald-Standorten vier reduzierte Kategorien (Acker, permanentes Grasland, Spezialkulturen und sonstiges) zugeordnet. Anschliessend wurde überprüft, wie gut diese Kategorien mit den im Feld erfassten Bodenbedeckungsattributen übereinstimmen. Dieser Vergleich konnte für bloss 2243 Standorte der Datenquelle 4 BE BOKA durchgeführt werden (Abb. 3).

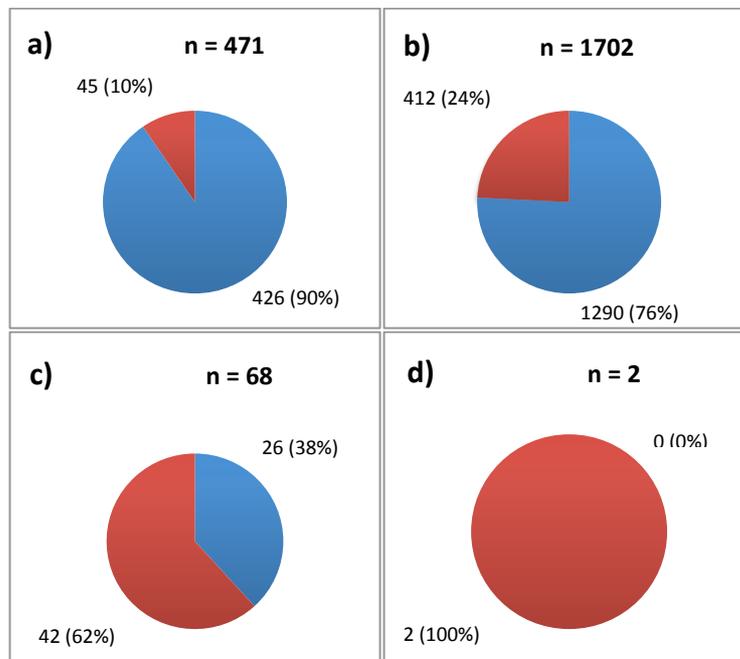


Abbildung 3: Übereinstimmung der Landnutzung nach Arealstatistik und nach Felderfassung (blau). Acker (a) permanentes Grasland (b) Spezialkulturen (c) und sonstiges (d).

Vor allem bei Acker (90 % Übereinstimmung) und bei permanentem Grasland (76 % Übereinstimmung) stimmte die Arealstatistik recht gut mit der Felderfassung überein, allerdings wurde nur zwischen vier Kategorien unterschieden. Fehlende Angaben zur Landnutzung können also im Projekt PMSoil mit befriedigender Qualität aus der Arealstatistik bezogen werden.

3. Bodenprofile

Dieser Abschnitt zeigt, in welchem Ausmass und in welcher Qualität wichtige, für die digitale Bodenkartierung benötigte Profilinformatoren verfügbar sind. Zuerst wurde bei allen Bodenprofilen geprüft, ob die Aufschlusstiefe korrekt in der Datenbank vorhanden ist. Anschliessend wurde nach einer Methode gesucht, mit der sich die Gründigkeit, also die Mächtigkeit des Wurzelraumes, in den Bodenprofilen abschätzen lässt.

3.1 Aufschlusstiefe

Hier ging es darum, die Aufschlusstiefe der Bodenprofile mit der Untergrenze des untersten Horizontes zu vergleichen. Die entsprechenden Tiefenangaben müssen übereinstimmen.

Die Aufschlusstiefe wurde bei drei Datenquellen im Bodenprofil mit einem Doppelmeter ausgemessen. Tabelle 3 zeigt das Mengengerüst der verfügbaren Aufschlusstiefen.

Tabelle 3: Mengengerüst der vorhandenen Aufschlusstiefen (P: Profile, FMP: Flächenmischproben).

Datenquelle	Anzahl Aufschlusstiefe
1 ZH BOKA	0
2 ZH KABO_P	155
3 ZH KABO_FMP	0
4 BE BOKA	2405
5 CH WSL	1047
7 ZH WSL	0

Bei den Datenquellen 2 ZH KABO und 5 CH WSL stimmten die Aufschlusstiefen vollständig mit den Untergrenzen überein. Bei 64 der 2405 Bodenprofile der Datenquelle 4 BE BOKA stimmte die Aufschlusstiefe jedoch nicht überein. Abbildung 4 zeigt die Verteilung der absoluten Differenzen.

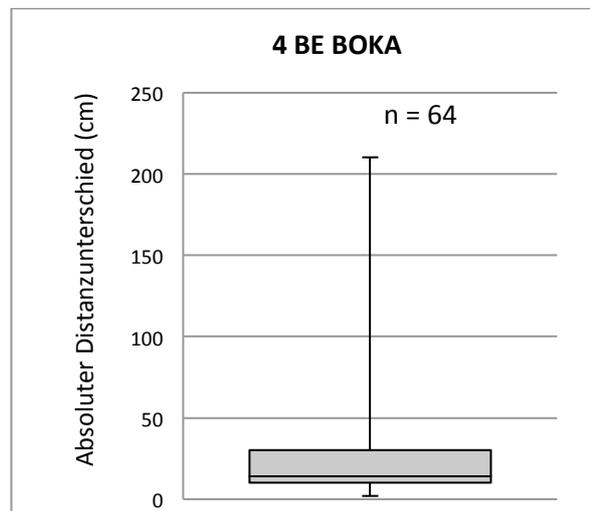


Abbildung 4: Verteilung der absoluten Differenzen zwischen Aufschlusstiefe und Untergrenze des untersten Horizontes bei der Datenquelle 4 BE BOKA.

Wir wollten die Gründe für die Abweichungen bei den grössten Ausreissern anhand von Angaben auf den Profilblättern ausfindig machen, aber leider waren zu den betroffenen Datensätzen keine Profilblätter vorhanden. Die Aufschlusstiefe wurde bei allen 64 Profilen an die Untergrenze des untersten Horizontes angepasst. Die korrigierten Aufschlusstiefen wurden in der Bodendatenbank aktualisiert jedoch nicht codiert.

3.2 Gründigkeit

Die Gründigkeit entspricht der Mächtigkeit des Wurzelraumes, unabhängig davon, ob tatsächlich Wurzeln vorhanden sind. Die Gründigkeit ist ein wichtiger Faktor bei der Quantifizierung der in einem Boden durch die Pflanzen erschliessbare Wasser- und Nährstoffmenge. Wir gehen davon aus, dass der Wurzelraum nur dann nach unten begrenzt ist, wenn Fels oder starke Vernässung das Wurzelwachstum verhindern. Ob eine beobachtete Bodenvernässung das Wurzelwachstum vollständig unterbindet ist nicht einfach zu beurteilen. Hinweise auf wurzelfeindliche starke

Vernässung bzw. auf lang andauernde, anaerobe Bedingungen lassen sich aus den hydromorphen Merkmalen im Boden ableiten.

Wurzeln werden bei der Profilsprache in der Regel nach genetischen Horizonten an der Profilwand erfasst, wobei die Anzahl der Wurzeln nach Stärkeklassen geschätzt wird. Die beobachtete Durchwurzelungstiefe entspricht der Untergrenze des untersten Horizontes, in dem Wurzeln festgestellt wurden.

3.2.1 Horizontbezeichnungen und Gründigkeit

Die meisten Pflanzenarten können stark vernässte, anaerobe Horizonte nicht durchwurzeln (Kutschera und Lichtenegger, 2002). Solche Horizonte werden konventionell mit dem Index r bezeichnet, wobei r für reduktiv steht. Weitere Indices, welche auf weniger starke Vernässung hinweisen sind cn, g und gg nach landwirtschaftlichem Klassierungssystem (Brunner et al., 1997). Entsprechende Horizontindices bzw. –Bezeichnungen nach dem WSL-Klassierungssystem für Waldböden (Walthert et al., 2004) sind Gr für permanent reduktive Horizonte und cn, Sd, Sw, Go und Go,r für weniger starke Vernässung. Wir gehen davon aus, dass nur reduktive Horizonte (mit dem Index r oder der Bezeichnung Gr) nicht durchwurzelbar sind, wohingegen die weniger stark vernässten Horizonte durchwurzelt werden können. In stark vernässten Böden mit limitiertem Tiefenwachstum der Wurzeln entspricht die Gründigkeit jeweils der Obergrenze des (obersten) reduktiven Horizontes.

In der Abbildung 5 ist der Zusammenhang zwischen Vernässungsgrad und beobachteter Durchwurzelungstiefe von 1888 Profilen der Datenquellen 4 BE BOKA und 5 CH WSL dargestellt. Diese Gegenüberstellung soll zeigen, ob i) die als reduktiv klassierten, also permanent anaeroben Horizonte, wirklich wurzelfrei sind und ob ii) solche stark vernässten Böden tatsächlich weniger tief durchwurzelt sind als schwach vernässte Böden. Es geht also darum, abzuklären, ob der an der Profilwand erfasste Vernässungsgrad eine plausible ökologische Konsequenz hat. Für diese Gegenüberstellung wurde pro Bodenprofil nur ein Horizont berücksichtigt, und zwar jener mit der stärksten Vernässung. In Bodenprofilen, welche mehrere gleich stark vernässte Horizonte haben, wurde jeweils nur der oberste berücksichtigt.

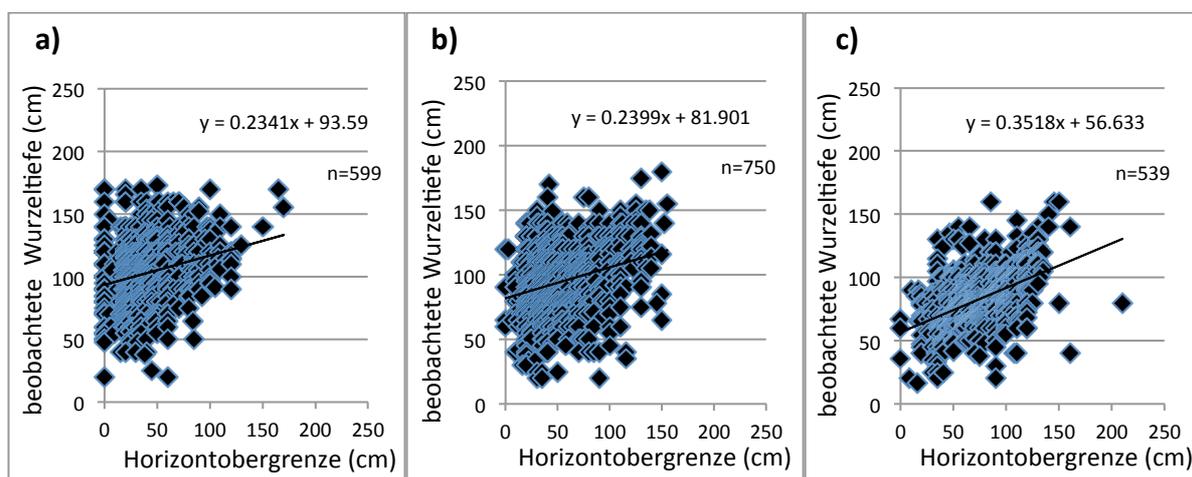


Abbildung 5: Beobachtete Durchwurzelungstiefe und Obergrenze von hydromorphen Horizonten in Profilen, welche einen (r)- und/oder einen (g)-Horizont enthalten (a), mit einem gg-Horizont (b) und mit einem r-Horizont (c).

Wie erwartet nimmt die beobachtete Durchwurzelungstiefe mit zunehmendem Vernässungsgrad ab, d.h. je höher ein hydromorpher Horizont im Boden reicht desto geringer ist die Durchwurzelungstiefe (Abb. 5). Diese Beziehung ist jedoch nicht sehr deutlich ausgeprägt, am straffsten ist sie in Böden mit einem permanent reduktiven r Horizont. Hier ist aber auch klar erkennbar, dass zahlreiche Profile im permanent reduktiven Horizont Wurzeln haben, was unplausibel ist. Dies deutet darauf hin, dass der Vernässungsgrad in diesen Profilen überschätzt wurde. Zusammenfassend wird festgehalten, dass die an der Profilwand erfasste Vernässung in den Horizonten nur ungenaue Rückschlüsse auf eine Limitierung des Wurzelraumes durch Sauerstoffarmut erlaubt.

3.2.2 Gründigkeit bei Felsuntergrund

Der Zusammenhang zwischen der beobachteten Durchwurzelungstiefe und der Tiefe des Felsuntergrundes konnte in 117 Bodenprofilen der Datenquellen 4 BE BOKA und 5 CH WSL untersucht werden (Abb. 6).

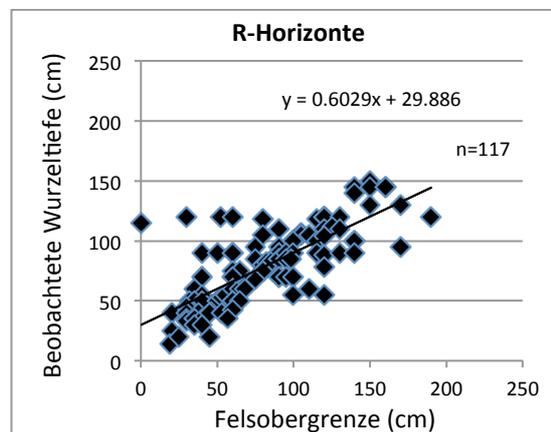


Abbildung 6: Beobachtete Durchwurzelungstiefe und Obergrenze des Felsuntergrundes (R).

In Böden über Felsuntergrund ist die Beziehung zwischen beobachteter Durchwurzelungstiefe und der Tiefe des Felsuntergrundes erwartungsgemäss recht straff. Aber auch hier kommen einige auf den ersten Blick unplausible Ausreisser vor, wo Wurzeln bis tief in den Fels hinein vordringen. Bei den 4 auffälligsten Ausreissern in Abbildung 6 handelt es sich um sehr heterogene Bodenprofile mit wurzeldurchlässigen Nischen im Felsuntergrund. Die relativ grosse Gründigkeit dieser 4 Profile ist daher plausibel.

3.2.3 Vernässungs-Untertyp-R und Gründigkeit

Mit dem Klassifikationssystem für Landwirtschaftsböden (Brunner et al., 1997) lässt sich die Art und die Intensität der Vernässung eines Bodenprofils zusammenfassend nach Untertypen klassieren. Von den drei möglichen Untertypen (I: Staunässe, G: Fremdnässe wechselnd und R: Fremdnässe dauernd) dürfte sich vor allem die Vernässung gemäss Untertyp-R negativ auf die Durchwurzelbarkeit des Bodens auswirken. Bei Waldböden klassieren Walthert et al. (2004) den Vernässungsgrad getrennt nach Stau- und Grundwasser. In der Tabelle 4 wird versucht, die beiden Klassierungssysteme für Fremd- bzw. Grundwasser beeinflusste Böden vom Untertyp-R zu harmonisieren. Zudem dokumentiert sie die in Abhängigkeit des Vernässungsgrades erwartete Gründigkeit. Grundlagen für diese Harmonisierung wurden im Rahmen der Bodenkartierung Solothurn von den verantwortlichen QS-Experten erarbeitet (BABU GmbH und Peter Lüscher, WSL).

Tabelle 4: Harmonisierung des Vernässungsgrades von Fremd- bzw. Grundwasser beeinflussten Böden nach den Klassierungssystemen von Brunner et al. (1997) und Walthert et al. (2004).

Untertyp Brunner et al. (1997)	Vernässungsgrad Walthert et al. (2004)	Gründigkeit
R1	schwach grundnass	Obergrenze r 120 cm – 90 cm u.T. / Grundwasserspiegel selten unterhalb 120 cm u.T.
R2	mässig grundnass	Obergrenze r 90 cm – 60 cm u.T., Grundwasserspiegel selten unterhalb 90 cm u.T.
R3	stark grundnass	Obergrenze r 60 cm – 30 cm u.T., Grundwasserspiegel selten unterhalb 60 cm u.T.
R4	sehr stark grundnass	Obergrenze r 30 cm – 10 cm u.T., Grundwasserspiegel selten unterhalb 30 cm u.T.
R5	sumpfig	r oberhalb 10 cm u.T., Grundwasserspiegel selten unterhalb 10 cm u.T.

In Abbildung 7 wird geprüft, ob es in Böden, bei denen sowohl der Vernässungsgrad als auch die beobachtete Durchwurzelungstiefe bekannt ist (Tab. 5), einen Zusammenhang gibt zwischen der Gründigkeit abgeleitet aus dem Vernässungsgrad gemäss Tabelle 4 und der beobachteten Durchwurzelungstiefe. Es ist zu beachten, dass die Zuordnung der Profile zu den R-Untertypen durch jene Bodenkundler erfolgte, welche die Bodenprofile erfasst haben.

Tabelle 5: Bodenprofile mit Angaben zum Vernässungsgrad und zur beobachteten Durchwurzelungstiefe. Diese Daten waren nur für die Datenquellen 1, 4 und 5 verfügbar.

Datenquelle	Methode (Referenz)	Anzahl Profile
1 ZH BOKA	Brunner et al., 1997, Kap. 5.2-3.	529
4 BE BOKA	Brunner et al., 1997, Kap. 5.2-3	636
5 CH WSL	Walthert et al., 2004	142

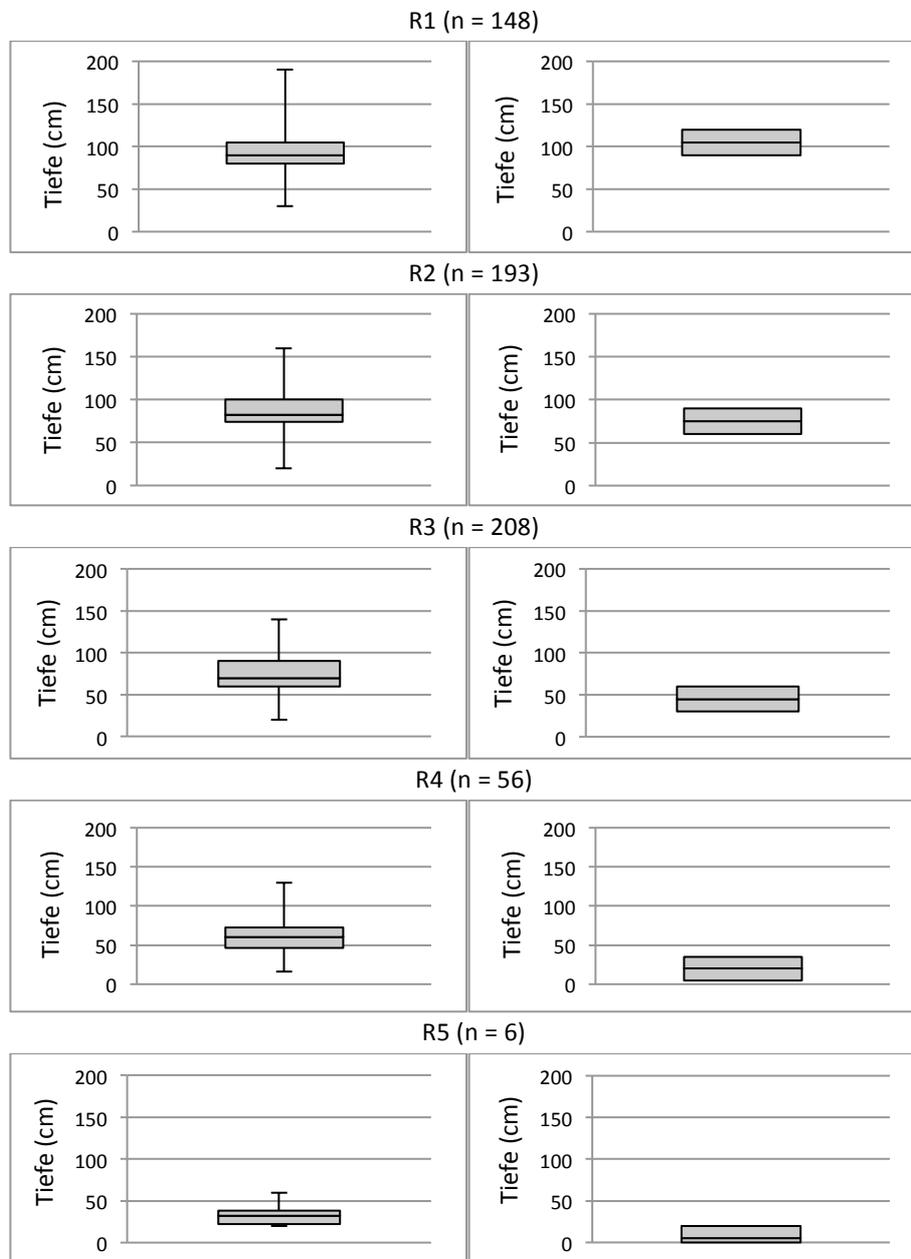


Abbildung 7: Beobachtete Durchwurzelungstiefe (links) und Gründigkeit (rechts) gegliedert nach Untertypen R1 bis R5. Für Angaben zur Gründigkeit siehe Tabelle 4.

Wie erwartet nimmt die beobachtete mittlere Durchwurzelungstiefe mit zunehmender Bodenvernässung ab, dies gilt besonders von R4 nach R5. Vor allem bei starker Vernässung ist selbst die mittlere Durchwurzelungstiefe deutlich grösser als die mittlere Gründigkeit. In den Untertypen R1-R3 sind zudem zahlreiche Profile viel tiefer durchwurzelt als man aufgrund der Gründigkeit vermuten würde. Hier wurde die Vernässung bei der Profilsprache wohl deutlich überschätzt. Zusammenfassend wird festgehalten, dass die in R-Untertypen klassierte Vernässung nur ungenaue Rückschlüsse auf eine Limitierung des Wurzelraumes durch Sauerstoffarmut erlaubt. Viele Nassböden wurden offensichtlich als zu nass klassiert.

4. Horizonte

Hier ging es vorwiegend um die Überprüfung der Lage der Horizonte in den Profilen. Es wurde nach Lücken oder Überlappungen von Horizonten gesucht und getestet, ob die Summe der Horizontmächtigkeiten in den Bodenprofilen mit der Profiltiefe übereinstimmen.

4.1 Grenzen und Lücken/Überlappungen

In einem ersten Schritt wurde geprüft, ob die Horizonte plausible Ober- und Untergrenzen haben und ob es Lücken und/oder Überlappungen gibt. Dabei gab es folgende Anpassungen in der Datenbank:

- Bei 4 Horizonten der Datenquelle 2 ZH KABO war die Horizontobergrenze \leq Horizontuntergrenze und wurde gelöscht.
- Bei 23 Profilen der Datenquelle 2 ZH KABO gab es Horizont-Überlappungen und/oder Lücken zwischen den Horizonten. Hier wurden die Horizontgrenzen den Probegrenzen angepasst (ohne Codierung).

4.2 Horizontmächtigkeit und Profiltiefe

Danach wurde für jedes Profil überprüft, ob die Summe der Horizontmächtigkeiten der Profiltiefe entspricht (Abb. 8).

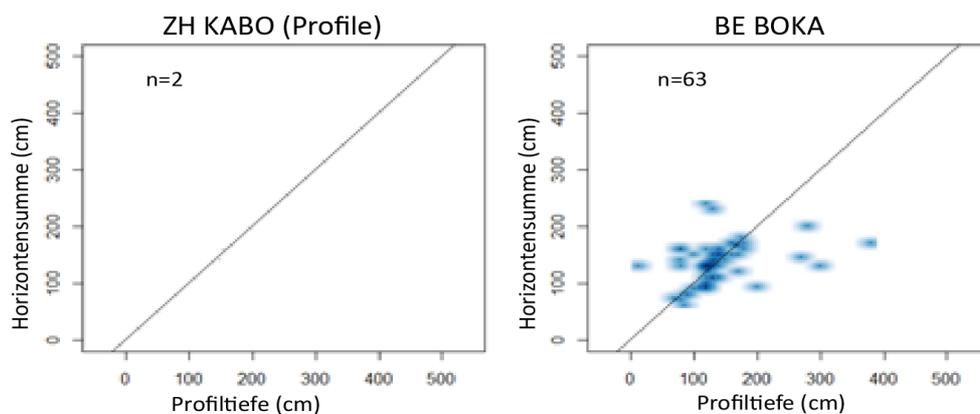


Abbildung 8: Fehlerhafte Profile, bei denen die Summe der Horizontmächtigkeiten nicht der Profiltiefe entsprach.

Bei den beiden Profilen der Datenquelle 2 ZH KABO waren die Gründe fehlerhafte Horizontgrenzen. Bei der Datenquelle 4 BE BOKA waren ausschliesslich Auflagehorizonte betroffen, bei denen die Fehler vom Import stammen. Folgende Änderungen wurden anschliessend in der Datenbank vorgenommen:

- Bei den beiden Profilen der Datenquelle 2 ZH KABO wurden die Horizontgrenzen angepasst.
- Die 63 Profile der Datenquelle 4 BE BOKA wurden durch erneutes Importieren korrigiert.

5. Proben

Hier ging es vorwiegend um die Überprüfung der Lage der Probeentnahmen in den Profilen. Wir kontrollierten, ob es Diskrepanzen gibt zwischen den Proben- und den Horizontgrenzen.

5.1 Probengrenzen

Hier wurde zunächst geprüft, ob die Probengrenzen plausibel sind. Die dabei entdeckten Fehler wurden wie folgt behoben:

- Bei 1 Probe der Datenquelle 2 ZH KABO mussten die Probengrenzen korrigiert werden.
- Bei 13 Proben der Datenquelle 4 BE BOKA wurden die Fehler durch erneuten Import korrigiert.

5.2 Proben und Horizonte

Für jede Probe wurde überprüft, ob sie ganz im entsprechenden Horizont enthalten ist. Die Abbildung 9 zeigt die Verteilung der unplausiblen Proben.

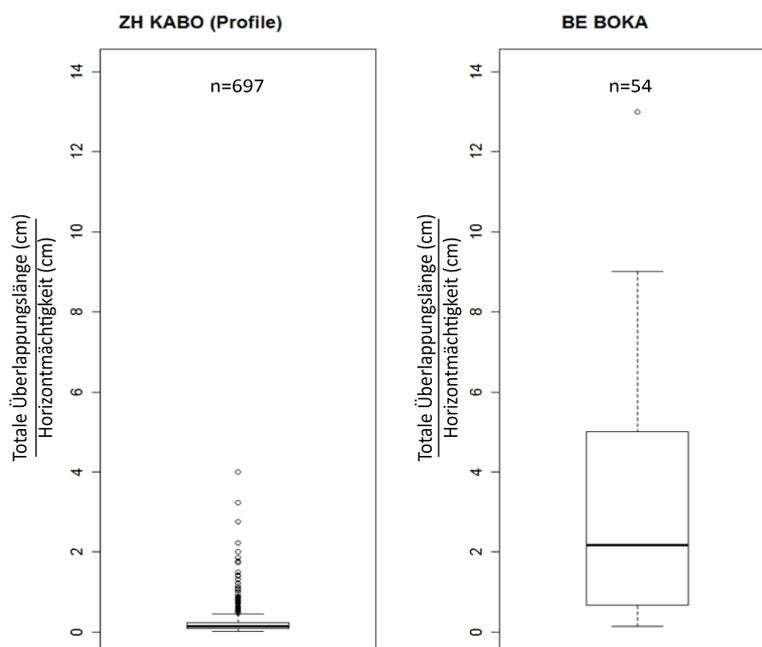


Abbildung 9: Proben, welche die Horizontgrenzen überlappen.

Bei den 697 Proben der Datenquelle 2 ZH KABO war der Grund für die Überlappungen zum einen, dass nach fixen Tiefenstufen beprobt wurde. Bei einem Grossteil der Daten ist das Verhältnis sehr klein, was auf geringe Überlappungen zurückzuführen ist. Bei den 54 Proben der Datenquelle 4 BE BOKA sind die Verhältnisse deutlich grösser. Diese grossen Überlappungen sind wiederum auf den fehlerhaften Import zurückzuführen. Es wurden folgende Änderungen in der Datenbank gemacht:

- Bei allen 697 Proben (175 Bodenprofile) der Datenquelle 2 ZH KABO wurde die Verknüpfung mit den Horizonten aufgelöst.
- Bei den 54 unplausiblen Proben der Datenquelle 4 BE BOKA wurde der Fehler mit erneutem Import behoben.

6. Physikalische Bodeneigenschaften

6.1 Skelettgehalt

Unter Bodenskelett versteht man alle mineralischen Bodenbestandteile mit einem Durchmesser von mehr als 2 mm. Das Skelett wird oft in verschiedene Grössenfraktionen eingeteilt, wie z.B. Kies, Steine oder Blöcke. Beim Skelett wurden lediglich die Schätzwerte auf ihre Qualität untersucht. Die Güte der Messwerte wurde nicht untersucht, weil die Messwerte vor allem bei grossem Skelettgehalt die Verhältnisse im Bodenprofil nur ungenau widerspiegeln. In sehr skelettreichen Böden sind die beprobten Volumen in der Regel zu klein, so dass die daraus bestimmten Skelettgehalte nicht repräsentativ sind für das Profil.

6.1.1 Mengengerüst und Datenerfassungsmethoden

Die Methoden sind nicht attribuiert in der Datenbank vorhanden, d.h. es gibt keine methodischen Angaben zur Schätzung des Skelettgehaltes. Der geschätzte Skelettgehalt kommt in der Datenbank in zwei unterschiedlichen Formen vor: Zum einen wurde dieser in % im Bodenprofil geschätzt und in eine Kies- und in eine Stein-Fraktion aufgeteilt. Zum anderen wurden die Skelettgehalte in Klassen geschätzt (Tab. 6).

Tabelle 6: Mengengerüst und Methoden zum Skelettgehalt.

Datenquelle	Methode	Anzahl Horizonte
1 ZH BOKA	in % geschätzt (als Summe von Kies und Stein)	15041
2 ZH KABO_P	in % geschätzt (als Summe von Kies und Stein)	1046
3 ZH KABO_FMP	es sind keine Schätzwerte vorhanden	0
4 BE BOKA	in % geschätzt (als Summe von Kies und Stein)	9368
4 BE BOKA	in Klassen geschätzt	63
5 CH WSL	in Klassen geschätzt	5568
7 ZH WSL	in Klassen geschätzt	0

Zunächst wurden die Skelettgehalte vergleichbar gemacht. Von den in Klassen geschätzten Skelettgehalten wurde jeweils die Klassenmitte berechnet. Bei den übrigen Horizonten wurde die Schätzung in % verwendet. Die vereinheitlichten Schätzwerte wurden in der Tabelle *08a_field_values* im Attribut *Notation* mit dem Wert *skeleton_harm* gespeichert.

6.1.2 Skelettgehalt und Geologie im Kanton Zürich

Am Beispiel des Kantons Zürich wurde untersucht, ob es Zusammenhänge gibt zwischen der Geologie und dem Skelettgehalt der Böden. Hierfür wurden alle Profile im Kanton Zürich mit der geologischen Karte nach Hantke et al. (1967) verschnitten (Abb. 10).

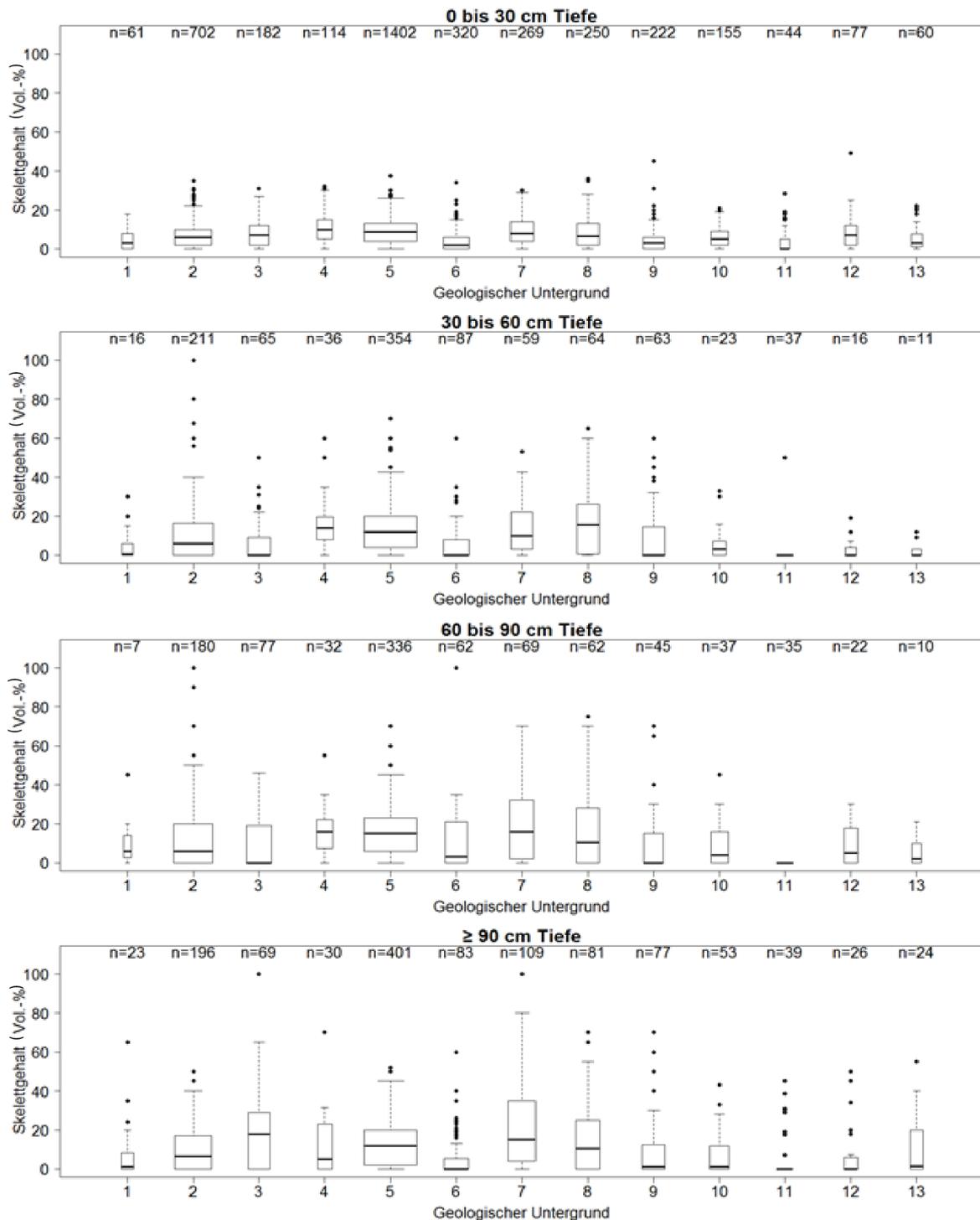


Abbildung 10: Skelettgehalte von 13 geologischen Substraten (nach Hantke et al., 1967) in 4 Tiefenstufen.

Tabelle 7: Geologische Substrate nach Hantke et al. (1967).

Code	Geologisches Substrat
1	Obere Meeresmolasse [ohne Signatur]
2	Obere Süswassermolasse [ohne Signatur]
3	Riss-Moränen (spätisseezeitliche Moränen)
4	frühwürmezeitliche Moränen
5	Würm-Moränen (hoch- und spätwürmezeitliche Moränen mit Wällen)
6	Sumpf, Ried, Torfmoor, z.T. subrezent
7	Schotterfluren (überfahrene würmezeitliche Schotter...)
8	Schotterfluren (Erosions-Terrassen ...)
9	Firn, Alluvialböden, künstliche Aufschüttungen
10	Solifluktionsschutt, Fliesserden
11	Schotterfluren (Höherer Deckenschotter)
12	Rutschungen von Lockergestein über 9011
13	Bachschuttkegel

Leider gibt es in unserem Datensatz keine Bodenproben aus stark skeletthaltigen geologischen Substraten wie etwa aus Kalksedimenten. In der Tiefe von 0 bis 30 cm beträgt der Median des Skelettgehaltes über alle geologischen Substrate hinweg weniger als 15 % (Abb. 10). Zudem variiert der Skelettgehalt zwischen den verschiedenen geologischen Substraten nur wenig. Beide Befunde sind erstaunlich. Die maximalen Skelettgehalte nehmen bei allen geologischen Substraten mit der Tiefe zu, was plausibel ist. Allerdings bleiben die Medianwerte der einzelnen Substrate mit zunehmender Tiefe nahezu konstant, was uns erstaunt. Insgesamt sind wir überrascht, dass so viele Böden relativ wenig Skelett enthalten. Es ist unklar, ob der Skelettgehalt in vielen Böden unterschätzt wurde.

Es wurden keine Schätzwerte des Skelettgehaltes in der Datenbank korrigiert.

6.2 Textur-Messwerte

Die Textur entspricht dem prozentualen Anteil der Korngrößenklassen Ton ($< 2 \mu m$), Schluff ($2 \mu m - 50 \mu m$) und Sand ($50 \mu m - 2 mm$) in einer Bodenprobe.

6.2.1 Mengengerüst und Datenerfassungsmethoden

Die Methoden sind attribuiert in der Datenbank vorhanden (Tab. 8).

Tabelle 8: Mengengerüst und Textur-Analysemethoden.

Datenquelle	Methode	Referenz	Anzahl Tonwerte
1 ZH BOKA	Nicht vorhanden	-	219
1 ZH BOKA	Sedimentation; vgl. AC-Methode KO-2	ART-Archiv	4975
1 ZH BOKA	Sedimentation; vgl. Referenzmethode KOM	ELF, 1996	1144
2 ZH KABO_P	Sedimentation	ELF, 1996; Ribí, 2014	1013
3 ZH KABO_M	Sedimentation	ELF, 1996; Ribí, 2014	1320
4 BE BOKA	Nicht vorhanden	-	803
4 BE BOKA	Sedimentation; vgl. AC-Methode KO-2	ART-Archiv	1811
4 BE BOKA	Sedimentation; vgl. Referenzmethode KOM	ELF, 1996	429
5 CH WSL	Sedimentation	Walthert et al., 2004, S. 702	5632
7 ZH WSL	Sedimentation	Walthert et al., 2004, S. 702	176
Datenquelle	Methode	Referenz	Anzahl Schluffwerte
1 ZH BOKA	Nicht vorhanden	-	219
1 ZH BOKA	Sedimentation; vgl. AC-Methode KO-2	ART-Archiv	4976
1 ZH BOKA	Sedimentation; vgl. Referenzmethode KOM	ELF, 1996	1149
2 ZH KABO_P	Sedimentation	ELF, 1996; Ribí, 2014	1013
3 ZH KABO_M	Sedimentation	ELF, 1996; Ribí, 2014	1320
4 BE BOKA	Nicht vorhanden	-	785
4 BE BOKA	Sedimentation; vgl. AC-Methode KO-2	ART-Archiv	1812
4 BE BOKA	Sedimentation; vgl. Referenzmethode KOM	ELF, 1996	432
5 CH WSL	Sedimentation	Walthert et al., 2004, S. 702	5632
7 ZH WSL	Sedimentation	Walthert et al., 2004, S. 702	176
Datenquelle	Methode		Sandwerte
1-7	Berechnung		-

6.2.2 Erste Datensichtung und Datenbereinigung

Vor der graphischen Kontrolle der Texturdaten wurden die folgenden, offensichtlichen Fehler bei den Texturdaten in der Datenbank bereinigt und codiert:

Unbrauchbare Daten

- **Code 1** Die Proben hatten eine unplausible Summe an Sand, Schluff und Ton ($\geq 105\%$).
- **Code 2** Die Proben hatten eine unplausible Summe des Ton- und Schluffgehaltes ($> 100\%$).
- **Code 3** Bei den Proben waren nur Werte von einer der drei Korngrössenklassen vorhanden.
- **Code 4** Die Proben hatten eine unplausible Summe an Sand, Schluff und Ton ($\leq 95\%$).

Veränderte Daten

- **Code 1** Die Proben enthielten eine etwas zu grosse Summe der Texturwerte bis maximal 101.2% . Hier wurde jeweils der Schluff Anteil reduziert.
- **Code 2** Die Proben enthielten eine etwas zu kleine Summe der Texturwerte bis minimal 99.99% . Hier wurde jeweils der Schluff Anteil erhöht.
- **Code 3** Bei den Proben wurde der Sandanteil angepasst, so dass die Summe 100% ergab.

- **Code 4** Bei den Proben machte der Humusgehalt einen Teil der Summe von 100 % aus. Er wurde prozentual auf Ton, Sand und Schluff verteilt. Hier war der Humusanteil $\leq 10\%$.
- **Code 5** Bei den Proben machte der Humusgehalt einen Teil der Summe von 100 % aus. Er wurde prozentual auf Ton, Sand und Schluff verteilt. Hier war der Humusanteil $> 10\%$.

6.2.3 Werteverteilungen in Boxplots

Nach der im vorangehenden Kapitel beschriebenen Bereinigung der Texturdaten wurden die Werteverteilungen der Korngrößenklassen für jede Datenquelle untersucht (Abb. 11).

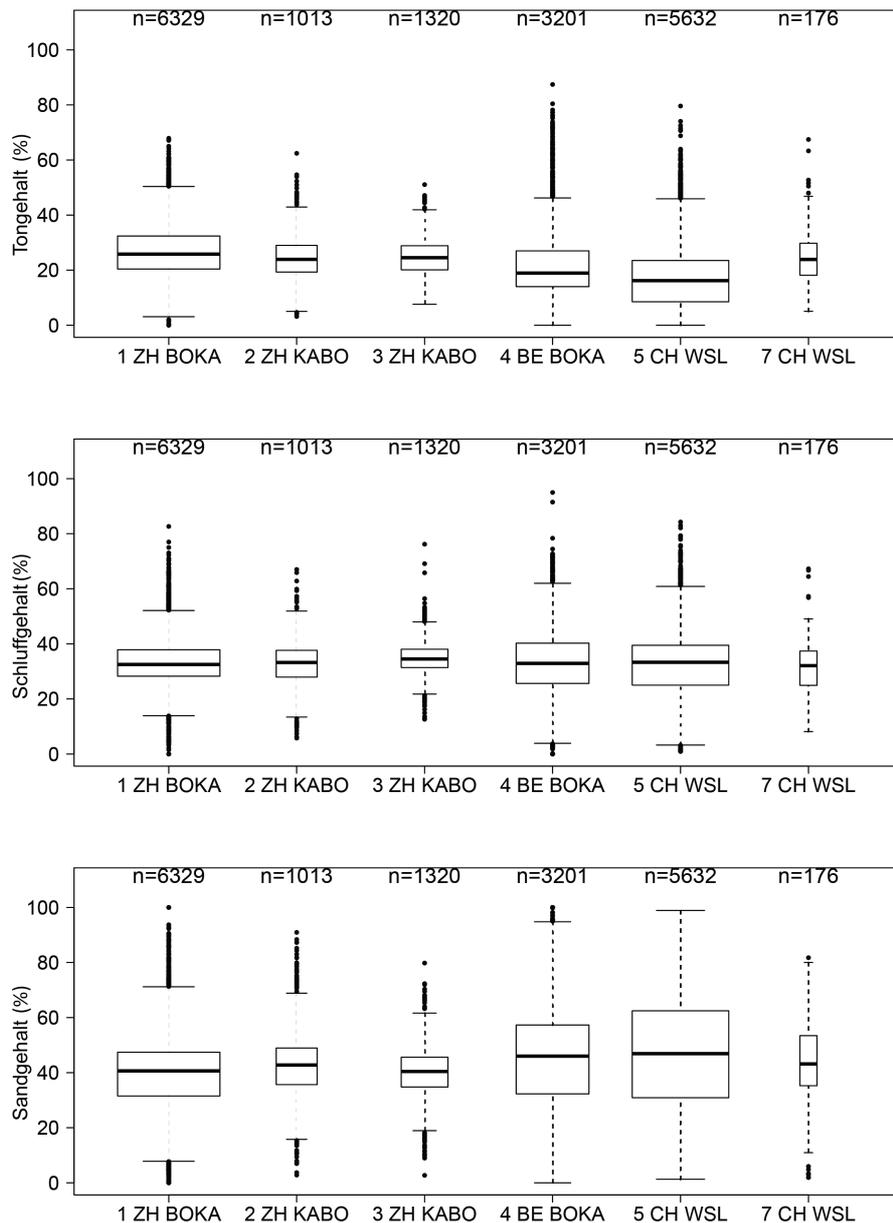


Abbildung 11: Messwert-Verteilungen der 3 Korngrößenklassen.

Im Vergleich zur Datenquelle 5 CH WSL scheinen bei allen Datenquellen sowohl die Mediane als auch die Extremwerte bei allen Körnungsklassen plausibel zu sein. Aufgrund der Werteverteilungen in den Boxplots drängten sich keine weiteren Korrekturen in der Datenbank auf.

6.2.4 Werteverteilungen in Texturdreiecken

Als weiterer Plausibilisierungsschritt wurde die Textur in Körnungsdreiecken visualisiert und beurteilt (Abb. 12).

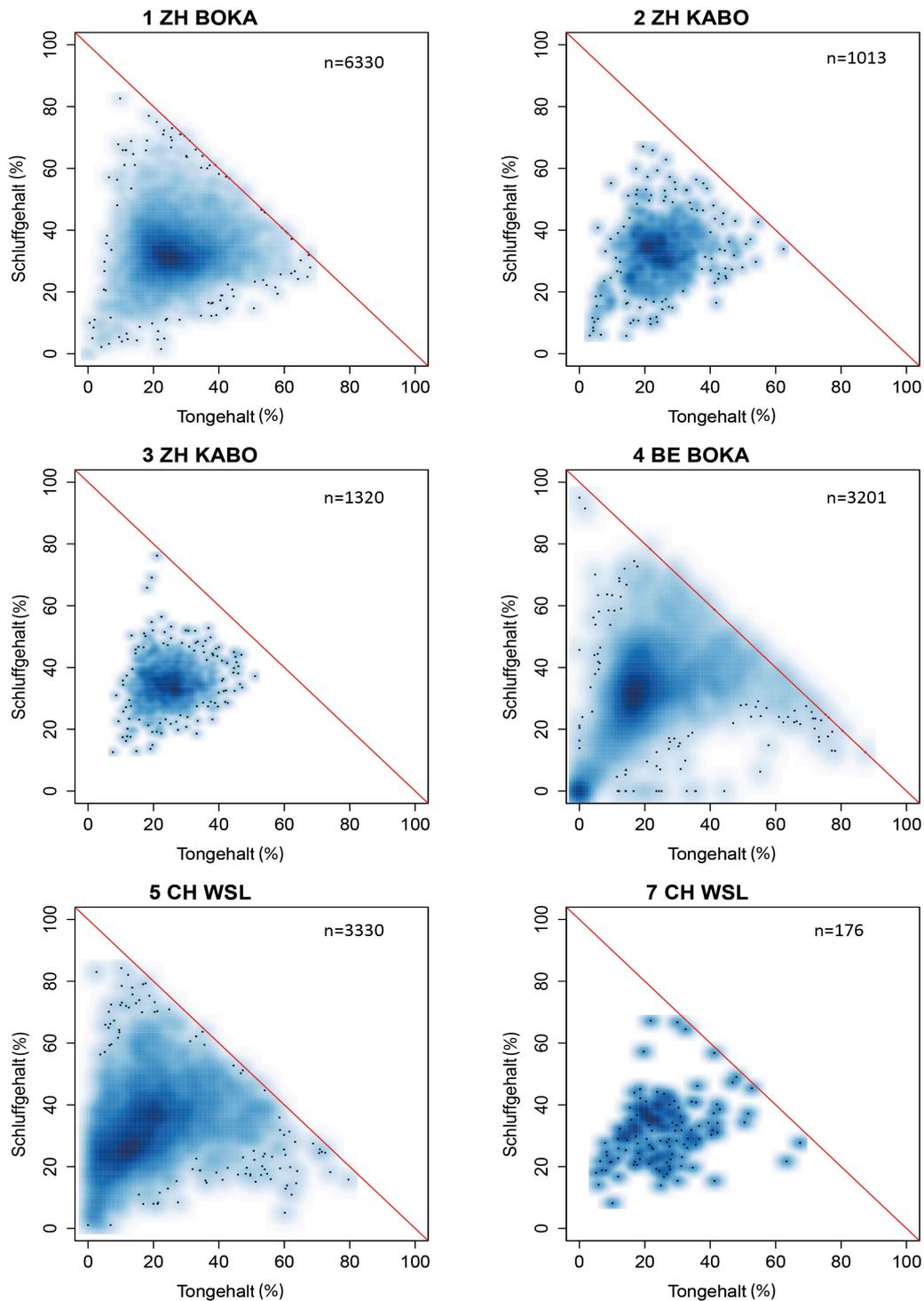


Abbildung 12: Messwerte-Verteilung in Texturdreiecken.

Bei 4 BE BOKA und abgeschwächt auch bei 1 ZH BOKA fällt auf, dass viele Datenpunkte nahe beim Nullpunkt (bei 100 % Sand) liegen. Es wurde vermutet, dass dies im Zusammenhang mit einem erhöhten Humusgehalt steht. Daher wurden zwei zusätzliche Streudiagramme erstellt, eines für

Proben mit einem Humusgehalt von weniger als 10 % und eines für stark humose Proben mit mehr als 10 % Humusgehalt (Abb. 13).

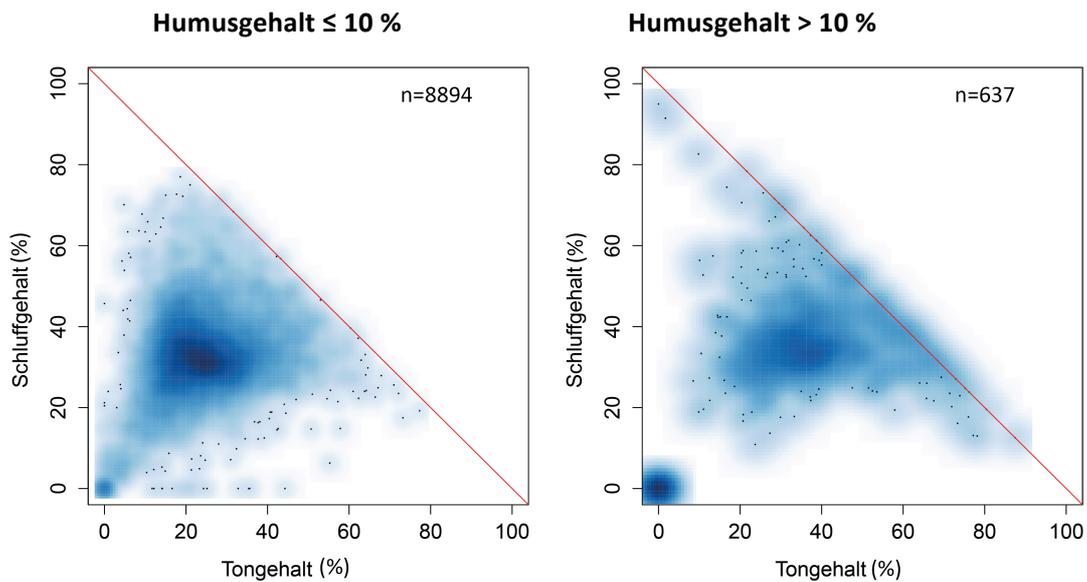


Abbildung 13: Texturdreiecke für 1 ZH BOKA und 4 BE BOKA aufgeteilt nach Humusgehalt.

Aus den Abbildungen 12 und 13 ziehen wir die folgenden Schlüsse: die in den Texturdreiecken (Abb. 12) von den einzelnen Datenquellen abgedeckten Bereiche und insbesondere auch die Schwerpunkte überlagern sich, was zeigt, dass die Qualität der Texturdaten aller Datenquellen generell in Ordnung zu sein scheint. Bei der Datenquelle 4 BE BOKA befinden sich zahlreiche Proben in einem unplausiblen Bereich mit 10-50 % Ton und gleichzeitig sehr geringem Schluff Anteil (Abb. 12). Ein Vergleich mit den Feldprotokollen zeigte, dass der Schluff Anteil mit der Fühlprobe wesentlich höher eingeschätzt wurde als der Messwert angibt. Aufgrund dieser Inkonsistenz zwischen Labor und Feld wurden diese Proben als unbrauchbar gelabelt (Code 6). Bei den Datenquellen 4 BE BOKA und vereinzelt auch bei 1 ZH BOKA gab es stark humushaltige Proben mit einem Sandgehalt von 100 % (Abb. 13). Solche Werte sind suspekt. Wir bewerteten sie als unbrauchbar (Code 5).

Unbrauchbare Daten

- **Code 5** Die Proben enthielten 100 % Sand, wobei es sich meistens um Torfböden handelt.
- **Code 6** Gemäss Messwert lag der Schluff Anteil bei diesen Proben bei 0 % und der Tonanteil zwischen 10 und 50 %. Gemäss Feldprotokoll enthielten die Proben Schluff.
- **Code 7** Zwei Proben enthielten einen unplausibel hohen Schluff Anteil von über 90 %.

6.2.5 Textur in Abhängigkeit des Humusgehaltes

Nach Ausschluss der unplausiblen Datensätze (Codes 5-7 im voranstehenden Kapitel) sollten die Texturdaten unter Berücksichtigung des Humusgehaltes noch etwas vertiefter untersucht werden. Es wurde geprüft ob und wie sich die Anordnung der Proben im Texturdreieck in Abhängigkeit des Humusgehaltes verändert. Hierfür wurden die Proben in Bezug auf ihren Humusgehalt in drei Klassen eingeteilt (Abb. 14-16).

Humusgehalt < 10 %

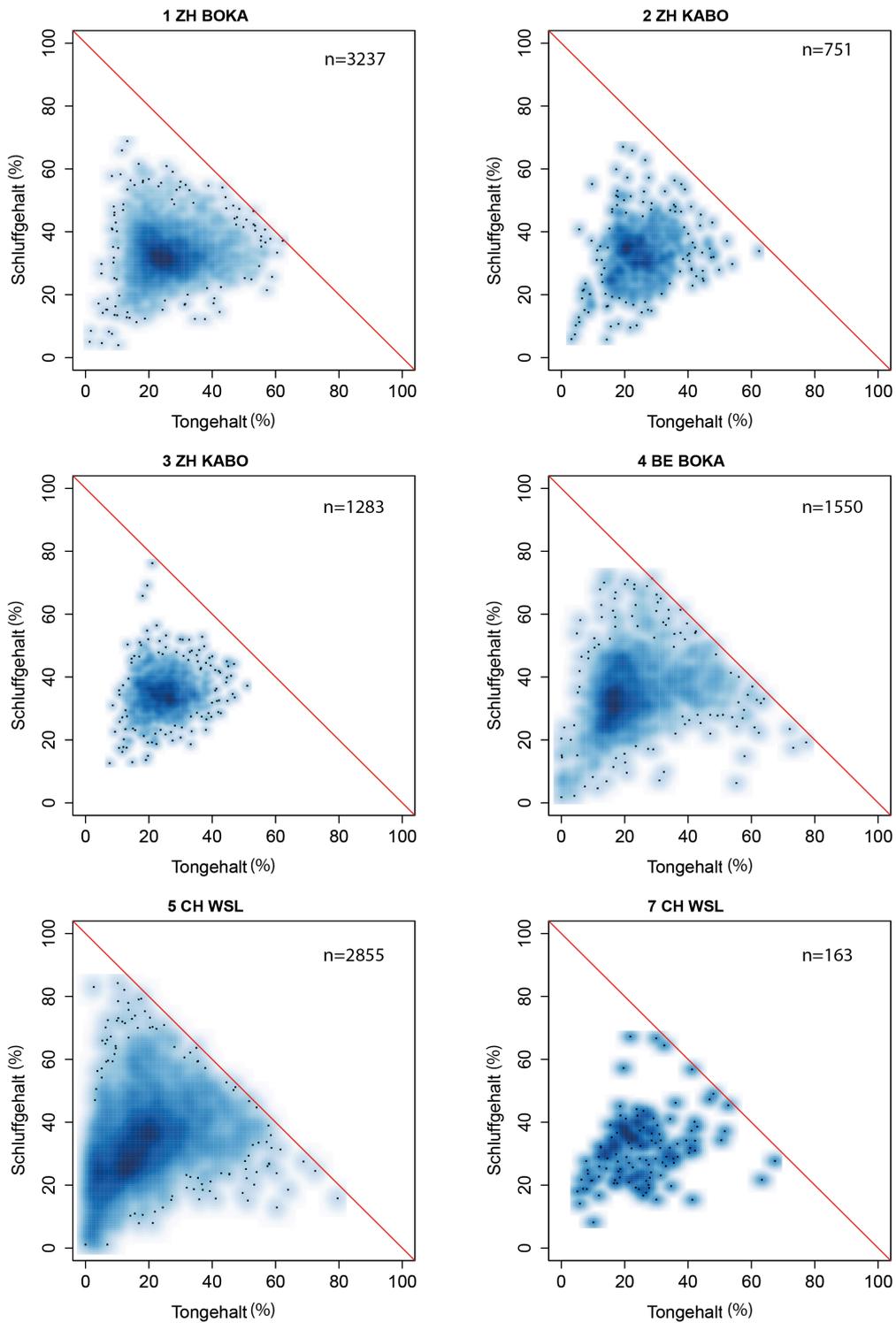


Abbildung 14: Texturdreiecke von Proben mit einem Humusgehalt < 10 %.

Humusgehalt $\geq 10\%$ und $\leq 30\%$

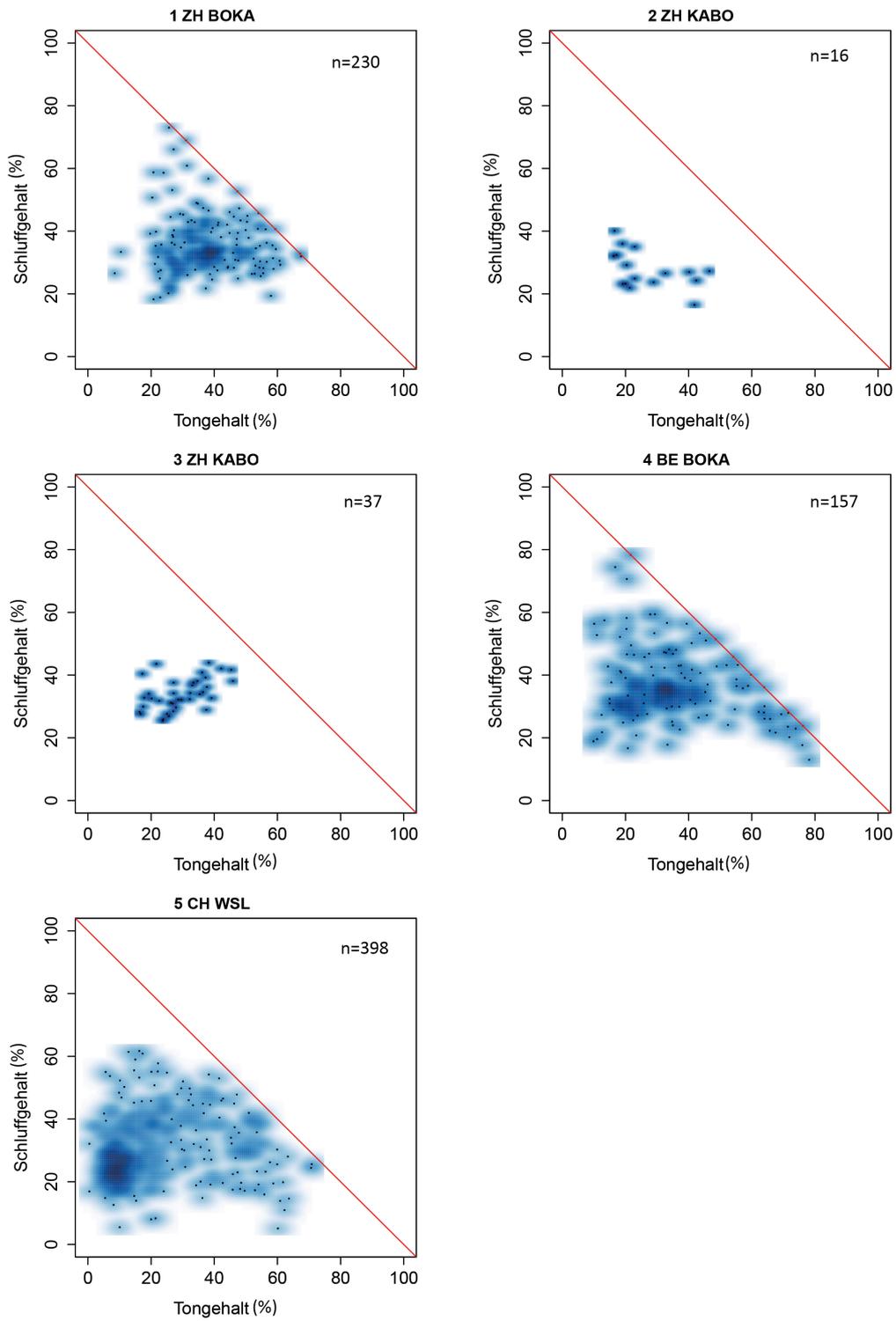


Abbildung 15: Texturdreiecke von Proben mit einem Humusgehalt von 10-30 %

Humusgehalt > 30 %

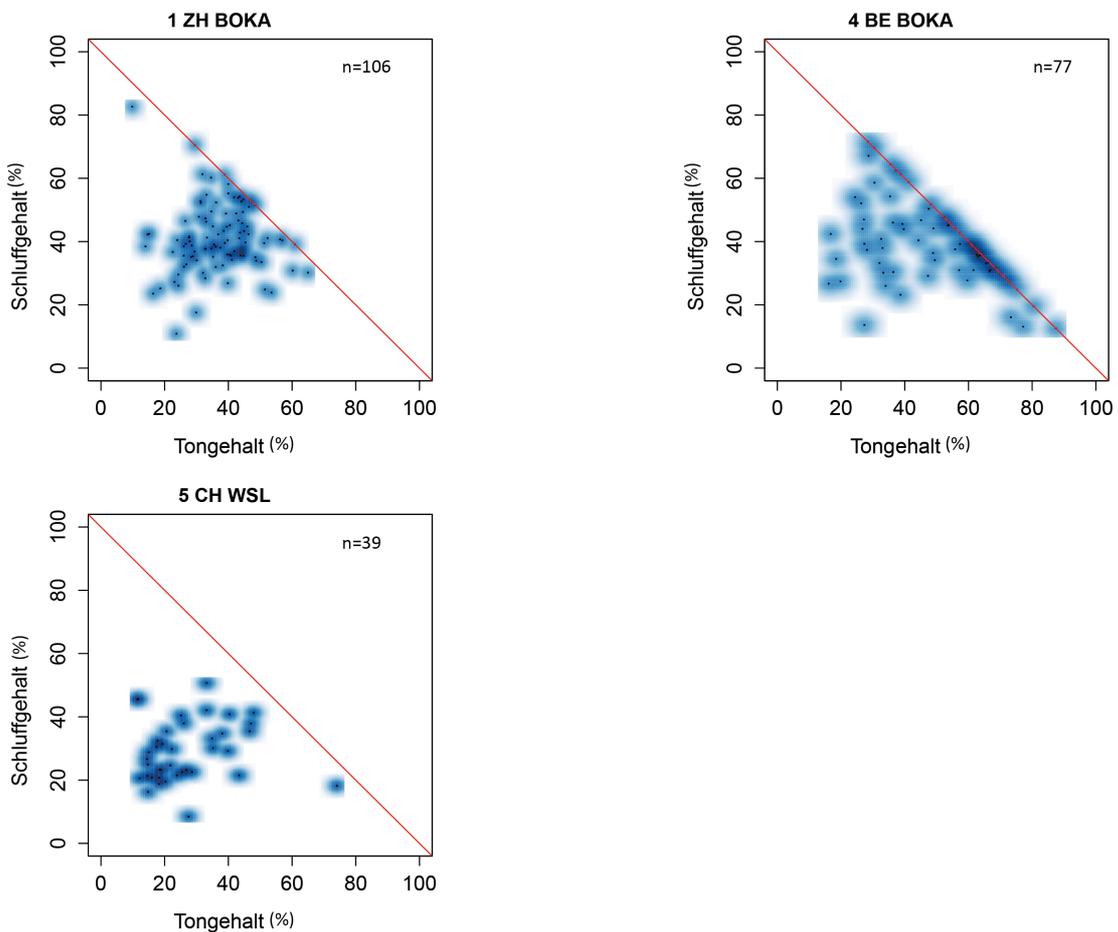


Abbildung 16: Texturdreiecke von Proben mit einem Humusgehalt > 30 %.

Der Schwerpunkt der Proben verschiebt sich mit zunehmendem Humusgehalt bei allen Datenquellen ausser bei 5 CH WSL in Richtung der Diagonale, welche 0 % Sand repräsentiert. Absolut sandfreie Proben auf der Diagonalen bewerteten wir als verdächtig, was in der Datenbank wie folgt dokumentiert wurde:

Verdächtige Daten

- **Code 8** alle Proben der Datenquellen 1 ZH BOKA und 4 BE BOKA mit einem Humusgehalt > 30 % und gleichzeitig mit einem Sandgehalt von 0 %.

Bei den humusreichen Proben der Datenquelle 4 BE BOKA fällt zudem auf, dass relativ viele Proben mit einem Tongehalt von mehr als 60 % vorkommen (Abb. 15-16). Es wurde nicht abgeklärt, ob es sich dabei um fehlerhafte Daten handelt oder ob dies auf spezielle Bodenverhältnisse (z.B. grosses Moos) zurückzuführen ist.

6.3 Textur-Schätzwerte

Zuerst wurden die Texturdaten visuell auf Plausibilität geprüft und die auffälligsten Fehler/Ausreisser korrigiert. Darauf wurden mit diesen bereinigten Schätzwerten die Mess- und Schätzwerte verglichen.

6.3.1 Mengengerüst und Datenerfassungsmethode

Textur-Schätzwerte sind nur für die Datenquellen 1, 2, 4 und 5 vorhanden (Tab. 9). Die Textur wurde im Feld mittels Fühlprobe bestimmt (Brunner et al., 1997).

Tabelle 9: Mengengerüst der Textur-Schätzwerte.

Datenquelle	Anzahl Werte (Ton)	Anzahl Werte (Schluff)	Anzahl Werte (Sand)
1 ZH BOKA	13450	13461	0
2 ZH KABO_P	1146	1734	1713
3 ZH KABO_M	0	0	0
4 BE BOKA	9374	9317	9278
5 CH WSL	5621	5621	5621
7 ZH WSL	0	0	0

6.3.2 Erste Datensichtung und Datenbereinigung

Zuerst wurde geprüft, ob die Summe der drei Korngrössenklassen in jeder Probe 100 % ergibt. Danach wurde abgeklärt, ob es Horizonte mit mehreren Schätzwerten pro Korngrössenklasse (Ton, Schluff oder Sand) gibt. Diesbezügliche Fehler in der Datenbank wurden wie folgt bereinigt:

Unbrauchbare Daten

- **Code 9** Hier handelt es sich um einige doppelt vorhandene Schätzwerte pro Horizont zu jeweils einer Korngrössenklasse. Anhand der Profilblätter wurde abgeklärt, welches der richtige Schätzwert ist. Die korrekten Schätzwerte wurden in der Datenbank belassen und die falschen mit dem Code 9 gelabelt.
- **Code 10** Bei diesen Horizonten sind nur Schätzwerte von einer der drei Korngrössenklassen vorhanden.
- **Code 11** Bei diesen Horizonten beträgt die Summe von Ton und Schluff mehr als 100 %.
- **Code 12** Bei diesen Horizonten beträgt die Summe der drei Korngrössenklassen entweder mehr als 105 % oder weniger als 95 %.

Veränderte Daten

- **Code 7** Bei diesen Horizonten wurde der Sandanteil in Ergänzung zu 100 % berechnet.
- **Code 8** Bei diesen Horizonten wurde der Tonanteil in Ergänzung zu 100 % berechnet.
- **Code 9** Bei diesen Horizonten wurde der Schluffanteil in Ergänzung zu 100 % berechnet.

6.3.3 Werteverteilungen in Boxplots

Nach Bereinigung der Datenbank (Codes 7-12 im obigen Kapitel 6.3.2) wurden die Werteverteilungen der Korngrössenklassen für jede Datenquelle untersucht (Abb. 17-19).

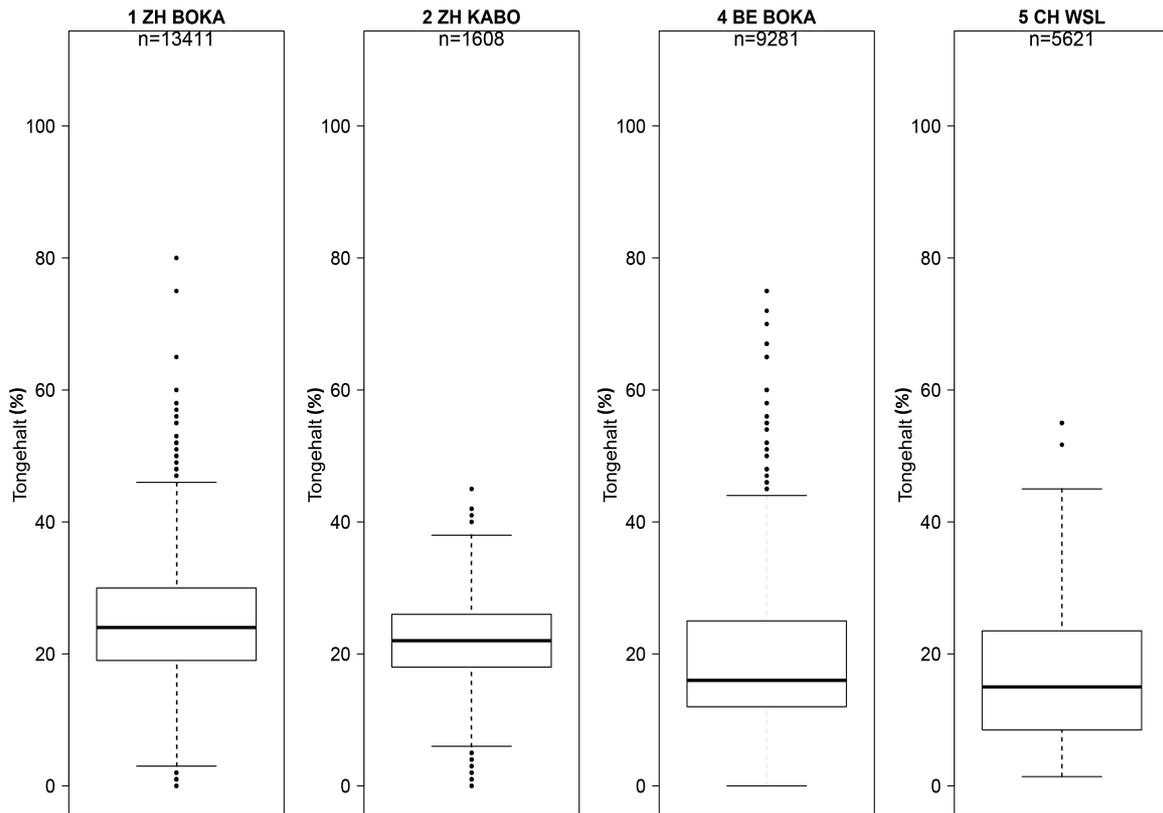


Abbildung 17: Schätzwert-Verteilungen von Ton.

Betrachtet man nur die Medianwerte von Ton, Schluff und Sand, so ist die Textur der verschiedenen Datenquellen recht ähnlich (Abb. 17-19). Die grobkörnigsten Böden hat im Median die Datenquelle 4 BE BOKA, die höchsten Tongehalte findet man im Median im Kanton Zürich (Abb. 17 und 19). Die Korngrössenklassen der Datenquelle 5 CH WSL fallen durch ihre relativ enge Werteverteilung auf (Abb. 17-19), da die Schätzwerte auf bloss 10 Texturklassen beruhen, welche mehrheitlich im mittleren Bereich des Körnungsdreiecks liegen (Abb. 20).

Aufgrund der Werteverteilungen in den Boxplots (Abb. 17-19) konnten wir keine fehlerhaften Textur-Schätzwerte detektieren.

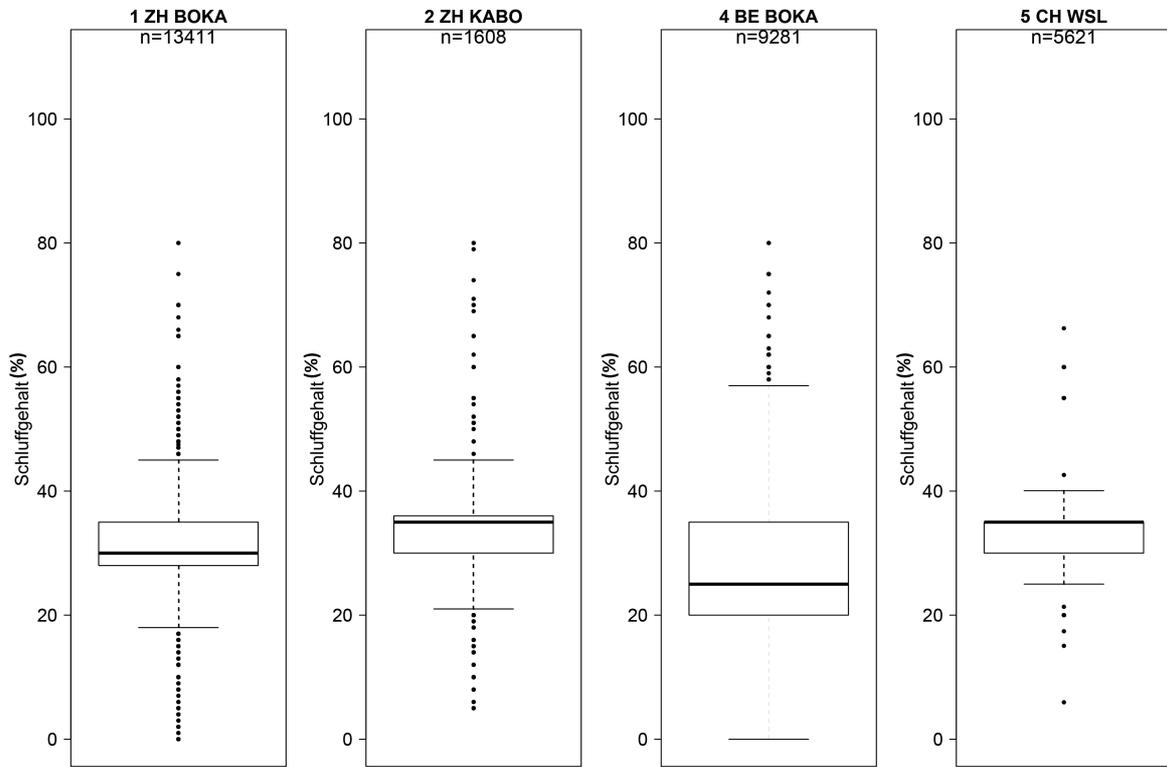


Abbildung 18: Schätzwert-Verteilungen von Schluff.

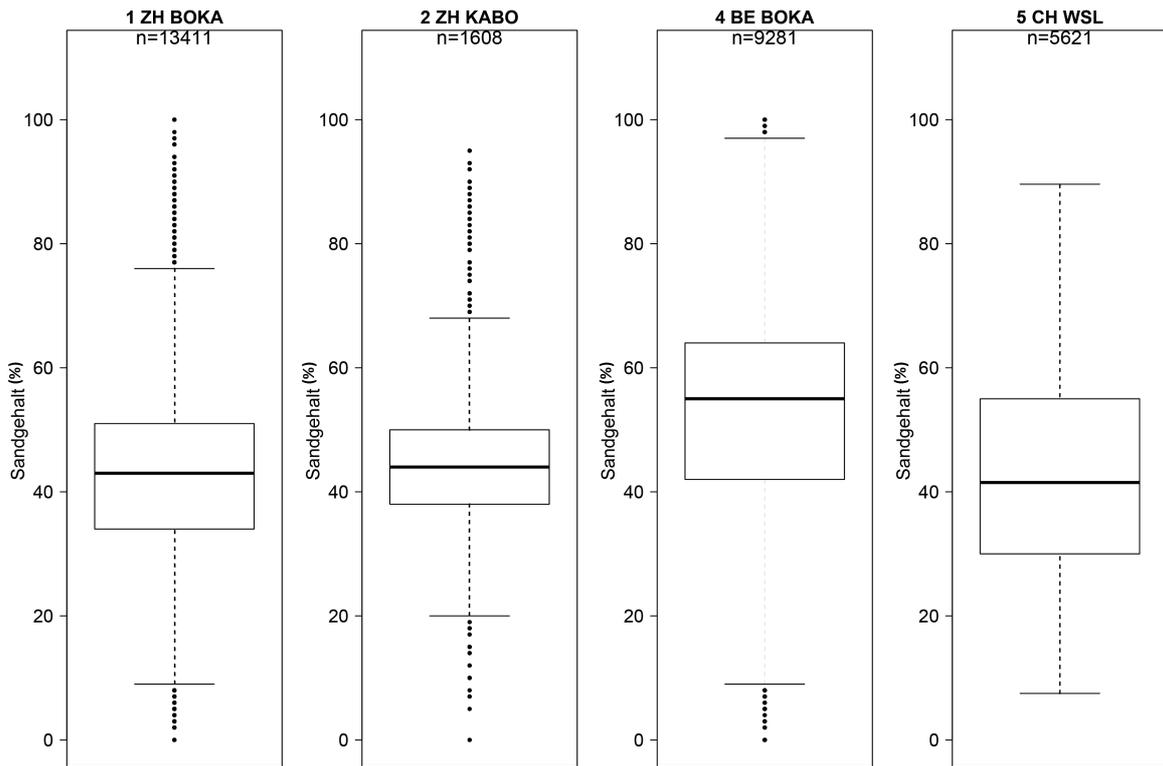


Abbildung 19: Schätzwert-Verteilungen von Sand.

6.3.4 Werteverteilungen in Texturdreiecken

Wie bei den Textur-Messwerten wurden auch die Textur-Schätzwerte in Texturdreiecken visualisiert und untersucht (Abb. 20).

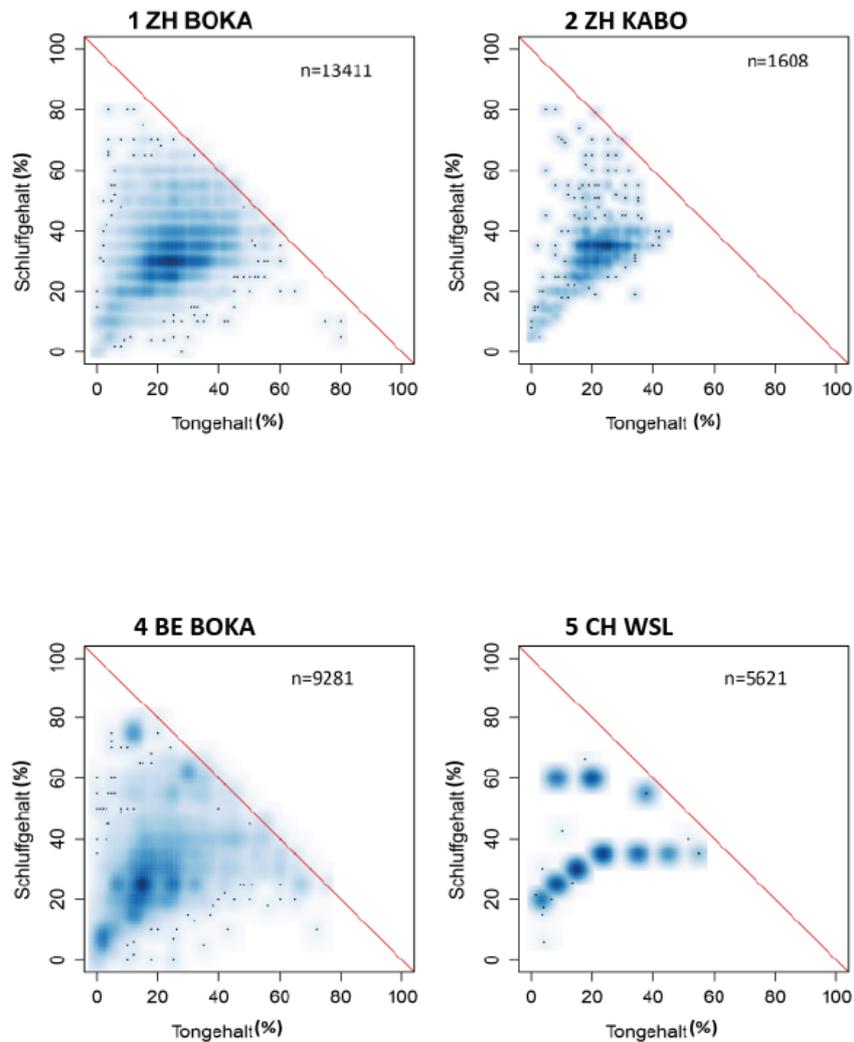


Abbildung 20: Texturdreiecke der Schätzwerte.

Da sich die Datenpunkte der vier Datenquellen in hohem Masse überlappen (Abb. 20), bewerten wir die Plausibilität der Schätzwerte generell als gut. Alle vier Datenquellen haben eine Probenhäufung bei 10-30 % Tongehalt und bei 20-40 % Schluffgehalt. Die Datenquellen 1 ZH BOKA und 4 BE BOKA haben im Gegensatz zu den beiden anderen Datenquellen einige Proben, die ziemlich tonreich (20-40 %) sind und gleichzeitig nahezu keinen Schluff enthalten (Abb. 20). Diese Kombination ist unplausibel. Die 10 Texturklassen der Datenquelle 5 CH WSL decken nur den häufig vorkommenden mittleren Bereich des Texturdreiecks ab. Extrem sandige und extrem schluffige Böden können damit nicht abgebildet werden.

Aufgrund der Textur-Werteverteilungen in den Körnungsdreiecken liessen sich zwar einige Mängel in der Datenqualität vermuten. Diese wurden in der Datenbank jedoch nicht codiert.

6.3.5 Vergleich Mess- und Schätzwerte

Für diesen Vergleich wurden alle Proben der Datenquellen 1, 4 und 5 verwendet, bei denen die Textur sowohl als Mess- als auch als Schätzwert verfügbar war. Dabei wurden nur die in den vorangehenden Kapiteln bereinigten Mess- und Schätzwerte verwendet und anhand von Streudiagrammen verglichen (Abb. 21).

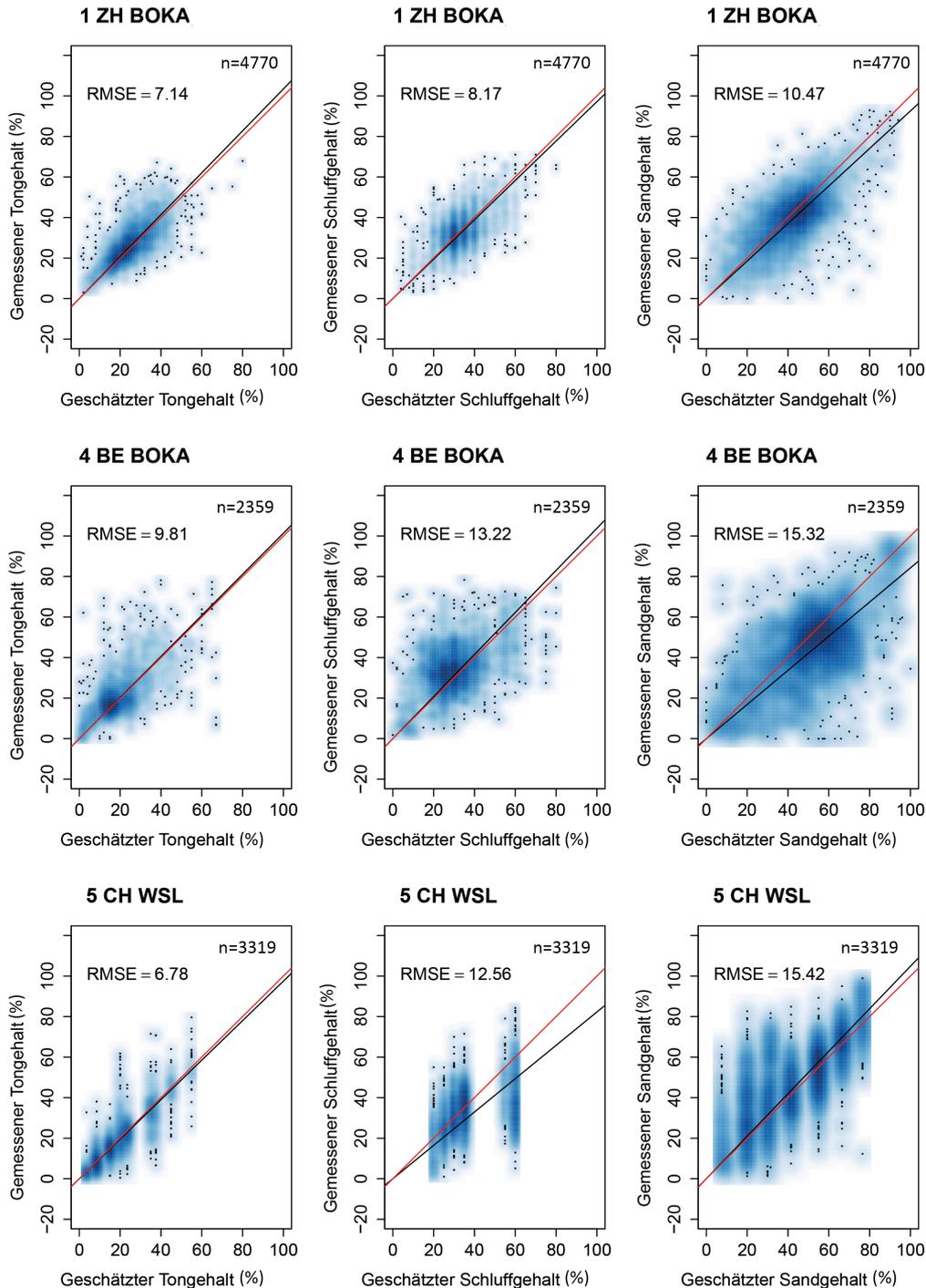


Abbildung 21: Lineare Regression zwischen Mess- und Feldschätzwerten mit der Bedingung, dass die Gerade durch den Nullpunkt geht. Die roten Linien haben die Steigung 1 und den Y-Achsenabschnitt 0.

Bei allen Datenquellen nimmt der RMSE in der Reihenfolge Ton, Schluff und Sand zu. Während die Übereinstimmung zwischen Messwert und Feldschätzwert bei der Datenquelle 1 ZH BOKA am besten ist, gibt es bei allen drei Datenquellen teilweise erstaunlich grosse Unterschiede zwischen Mess- und Schätzwert. Dies betrifft alle drei Korngrössenfraktionen.

Aufgrund dieser Befunde kann die Verwendung von Textur-Schätzwerten im Projekt PMSoil nur bedingt empfohlen werden.

6.4 Bodendichte

Für das Projekt PMSoil ist die Dichte der Feinerde interessant, weil sie für die Beurteilung der Durchwurzelbarkeit des Bodens und für die Berechnung der Feinerdemenge und der Nährstoffvorräte erforderlich ist. Die Qualität der verfügbaren Dichte-Messwerte konnte im Workpackage A nicht systematisch untersucht werden. Einerseits waren von einigen Datenquellen keine oder nur wenige Dichte-Messwerte verfügbar. Andererseits waren die für die Dichtebestimmung verwendeten Methoden teilweise unbekannt. Vereinzelt Dichtewerte von mehr als 2 g/cm^3 liessen zudem Zweifel aufkommen, ob es sich bei den vorhandenen Messwerten durchwegs um die Dichte der Feinerde handelt. Bei so grossen Werten dürfte es sich eher um die Bodendichte inklusive Skelett handeln.

Als einzige Massnahme bei der Datenkontrolle wurden alle Dichtewerte mit dem Code 1 gelabelt, welche von Zylinderproben mit weniger als 10 % Skelett stammen. Bei all diesen Proben können die Dichtewerte als Feinerde-Dichte verwendet werden. Dasselbe gilt unter Vorbehalt für die Dichtewerte mit dem Code 2 (10-20 % Skelettgehalt). Dichtewerte mit Code 3 (> 20 % Skelettgehalt) sollten dagegen nicht als Feinerde-Dichte verwendet werden.

7. Chemische Messwerte

7.1 Säuregrad (pH, CEC(H⁺) und CEC(Al))

7.1.1 Wertebereiche/-verteilungen

pH-Wert

Analysemethoden: Bei 1 ZH BOKA wurde ein Teil der Proben mit der CaCl₂-Methode gemessen (n=5135) und ein Teil mit der H₂O-Methode (n=1119). Bei 2 ZH KABO und 3 ZH KABO, sowie bei 5 CH WSL und 7 ZH WSL wurde nur die CaCl₂-Methode verwendet (Tab. 10). Bei 4 BE BOKA wurde ein Teil der Proben mit der CaCl₂-Methode gemessen (n=2607), ein Teil mit der H₂O-Methode (n=1061) und ein Teil mit beiden Methoden (n=283).

Tabelle 10: Angaben zur pH-Bestimmung.

Datenquelle	Methode	Agens	Referenz
1 ZH BOKA	potentiometrisch	0.02 M CaCl ₂	Jäggli et al., 1998, S. 176
2 ZH KABO_P	potentiometrisch	0.01 M CaCl ₂	ELF, 1996; Ribl, 2008
3 ZH KABO_M	potentiometrisch	0.01 M CaCl ₂	ELF, 1996; Ribl, 2008
4 BE BOKA	potentiometrisch	0.02 M CaCl ₂	Jäggli et al., 1998, S. 176
5 CH WSL	potentiometrisch	0.01 M CaCl ₂	Walther et al., 2004, S. 697
7 ZH WSL	potentiometrisch	0.01 M CaCl ₂	Walther et al., 2004, S. 697

Datenprüfung: Um die Vergleichbarkeit zwischen den Datenquellen zu gewährleisten, wurden jeweils nur jene pH-Werte in Boxplots dargestellt, die mit der CaCl₂-Methode gemessen wurden (Abb. 22). Interpretationen zu den Daten und Korrekturen: Es gab nur eine einzige Ausreisserprobe (Probenbezeichnung: 4_1018_Be-306), und zwar in der Datenquelle 4 BE BOKA mit einem pH-Wert von 0.2. Die Kontrolle auf dem Profilblatt ergab, dass es sich um einen Tippfehler handelte. Der korrekte pH-Wert beträgt 7.2. Nur der korrekte Wert wurde in die Boxplot-Darstellung einbezogen. Waldböden (Datenquellen 5 und 7) sind im Median saurer als Landwirtschaftsböden (Abb. 22), was uns als plausibel erschien.

Mutation in Datenbank: Der Ausreisser wurde in der Datenbank korrigiert (ohne Codierung).

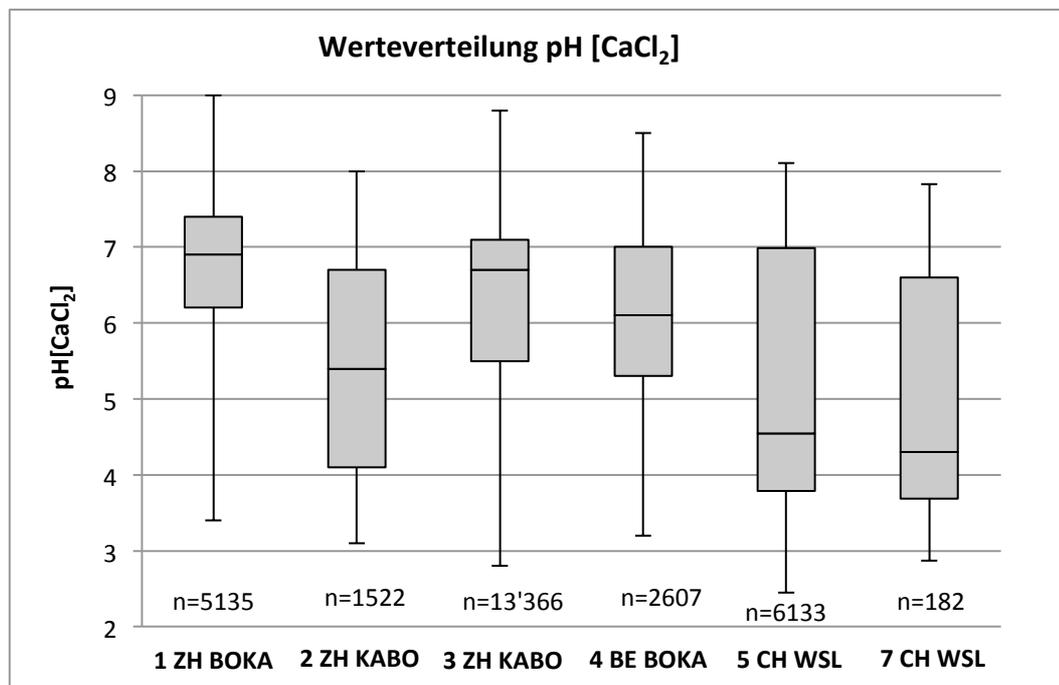


Abbildung 22: Darstellung der pH-Wertebereiche und -verteilungen der verschiedenen Datenquellen.

Azidität CEC(H⁺)

Die Methoden zur Bestimmung der H-Azidität sind in Tabelle 11 dokumentiert.

Tabelle 11: Angaben zur Bestimmung der austauschbaren H-Azidität.

Datenquelle	Methode	Agens	Bemerkung	Referenz
1 ZH BOKA	keine Daten			
2 ZH KABO_P	Titration	0.1 M BaCl	Azi_H = Azi_tot – Azi_Al	FAC, 1989, 204 ff
3 ZH KABO_M	Titration	0.1 M BaCl	Azi_H = Azi_tot – Azi_Al	FAC, 1989, 204 ff
4 BE BOKA	Titration potentiometrisch	Ba-Triäthanolamin alk. Pufferlösung	Methodencode: HA-1 Methodencode: HA-2 / HA-3	ART-Archiv ART-Archiv
5 CH WSL	Titration	1 M KCl	Azi_H = Azi_tot – Azi_Al	Walther et al., 2004, S. 697
7 ZH WSL	Titration	1 M KCl	Azi_H = Azi_tot – Azi_Al	Walther et al., 2004, S. 697

Datenprüfung: Vor der eigentlichen Plausibilisierung der Wertebereiche von CEC(H⁺) wurden bei 2 ZH KABO und 3 ZH KABO negative und damit unplausible Messwerte gleich Null gesetzt, in die Datenbank eingefügt und dort mit dem Code 6 gelabelt. Negativwerte bei 2 ZH KABO: n=194, bei 3 ZH KABO: n=61. Einige CEC(H⁺)-Werte von 2 ZH KABO sind im Vergleich zu den anderen Datenquellen relativ hoch (Abb. 23). Hier wurden unplausible Werte (Ausreisser) oft durch zu grosse Streuung der zugrunde liegenden Messwerte (Mehrfachbeprobung) verursacht. Daher wurden jene Messwerte der Mehrfachbeprobung, welche die hohe Streuung verursachten, mit einer speziellen Methodik eliminiert (siehe dazu Kapitel 7.1.2) und die Daten ohne diese Ausreisser neu dargestellt (Abb. 24). Die eliminierten Ausreisser (n=78) wurden in der Datenbank gelabelt (Code 13).

Interpretationen zu den Daten: Bei der Datenquelle 2 ZH BOKA befinden sich die Werte nach Eliminierung der Ausreisser in einem vergleichbaren und plausiblen Bereich wie die Werte aus den Datenquellen 3, 5 und 7 (Abb. 24). Bei 4 BE BOKA waren zahlreiche Messwerte unplausibel hoch (Abb. 23). Beim Studium der Analyseverfahren wurde klar, dass bei 4 BE BOKA die Gesamtazidität (Azi_H plus Azi_Al) gemessen wurde, diese jedoch als CEC(H⁺) in der Datenbank gespeichert war. Zur Datenquelle 4 BE BOKA sind für PMSoil daher keine CEC(H⁺)-Werte verfügbar. Bei dieser Datenquelle wurde durch Vergabe des Code 15 in der Datenbank darauf aufmerksam gemacht, dass es sich nicht um CEC(H⁺)-Werte sondern um die Gesamtazidität handelt. Die Boxplots in Abbildung 24 sind eigentlich nur bedingt vergleichbar, weil sich geringe CEC(H⁺)-Gehalte in den einzelnen Datenquellen unterschiedlich auf die Boxplots auswirken. In 2 ZH BOKA und in 3 ZH KABO wurden offenbar vor allem saure Bodenproben analysiert. Daher hat es relativ wenige Werte nahe bei Null und der Median ist grösser als bei den Waldböden der Datenquelle 5 CH WSL, wo viele Nullwerte alkalischer Proben den Median vermindern. Trotz dieser limitierten Vergleichbarkeit der Boxplots ist erkennbar, dass der Median der Datenquelle 3 ZH KABO infolge der vielen Oberbodenproben saurer ist als jener der Datenquelle 2 ZH KABO, wo ganze Bodenprofile beprobt wurden. Anhand der Werteverteilung in den Boxplots der Abbildung 24 liessen sich keine weiteren Ausreisser erkennen.

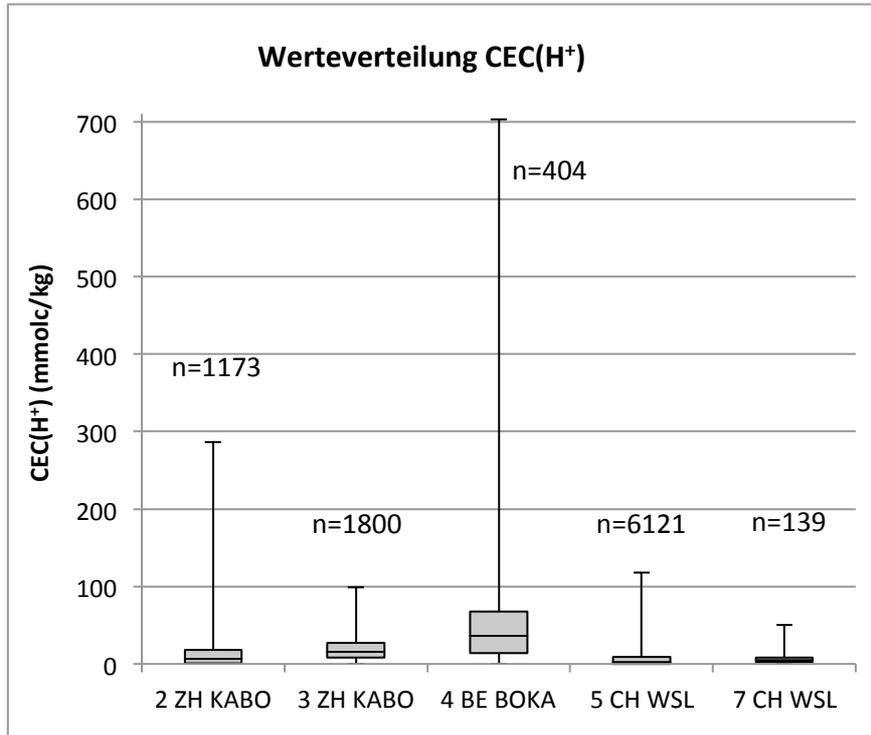


Abbildung 23: Darstellung der $CEC(H^+)$ -Wertebereiche und -Verteilungen der verschiedenen Datenquellen.

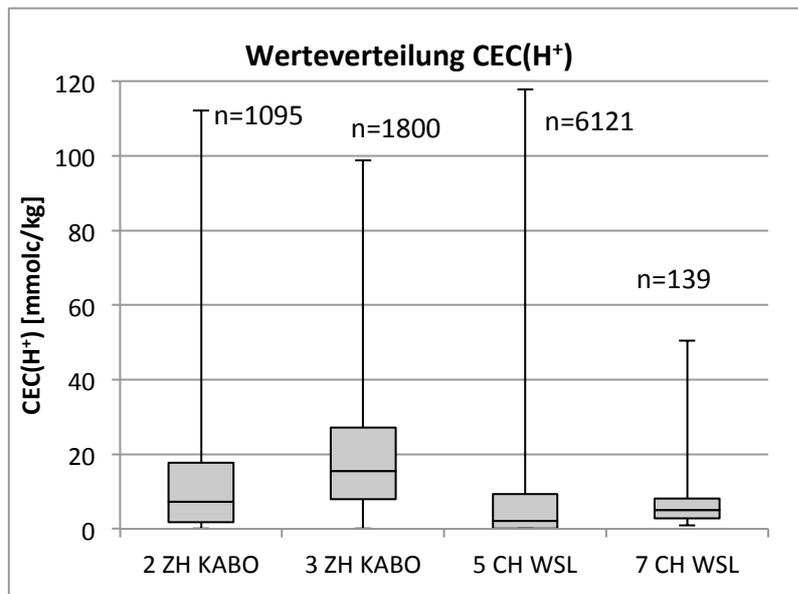


Abbildung 24: Darstellung der $CEC(H^+)$ -Wertebereiche und -Verteilungen der verschiedenen Datenquellen ohne die unplausiblen Werte bei 2 ZH KABO und ohne Datensatz 4 BE BOKA.

Azidität CEC(AI)

Die Methoden zur Bestimmung der Al-Azidität sind in Tabelle 12 dokumentiert.

Tabelle 12: Angaben zur Bestimmung der austauschbaren Al-Azidität.

Datenquelle	Methode	Agens	Bemerkung	Referenz
1 ZH BOKA	keine Daten	-	-	-
2 ZH KABO_P	Titration	0.1 M BaCl		FAC, 1989, 204 ff
3 ZH KABO_M	Titration	0.1 M BaCl		FAC, 1989, 204 ff
4 BE BOKA	keine Daten	-	Es ist nur Gesamtazidität verfügbar	-
5 CH WSL	Elementaranalyse	1 M NH ₄ Cl	-	Walthert et al., 2004, S. 697
7 ZH WSL	Elementaranalyse	1 M NH ₄ Cl	-	Walthert et al., 2004, S. 697

Datenprüfung: Vor der eigentlichen Plausibilisierung der Wertebereiche von CEC(AI) wurden bei 2 ZH KABO_P und 3 ZH KABO_M negative und damit unplausible Messwerte gleich Null gesetzt, in die Datenbank eingefügt und dort mit dem Code 6 gelabelt. Negativwerte bei 2 ZH KABO: n=235, bei 3 ZH KABO: n=222. Einige CEC(AI)-Werte von 2 ZH KABO sind im Vergleich zu den anderen Datenquellen relativ hoch (Abb. 25). Hier wurden unplausible Werte (Ausreisser) oft durch zu grosse Streuung der zugrunde liegenden Messwerte (Mehrfachbeprobung) verursacht. Daher wurden jene Messwerte der Mehrfachbeprobung, welche die hohe Streuung verursachten, mit einer speziellen Methodik eliminiert (siehe dazu Kapitel 7.1.2) und die Daten ohne diese Ausreisser neu dargestellt (Abb. 26). Die eliminierten Ausreisser (n=53) wurden in der Datenbank gelabelt (Code 13). Die unplausiblen Al-Werte sind nicht so starke Ausreisser wie bei CEC(H⁺), weshalb man keinen Unterschied in den Boxplots mit und ohne Ausreisser erkennt (Abb. 25 und Abb. 26).

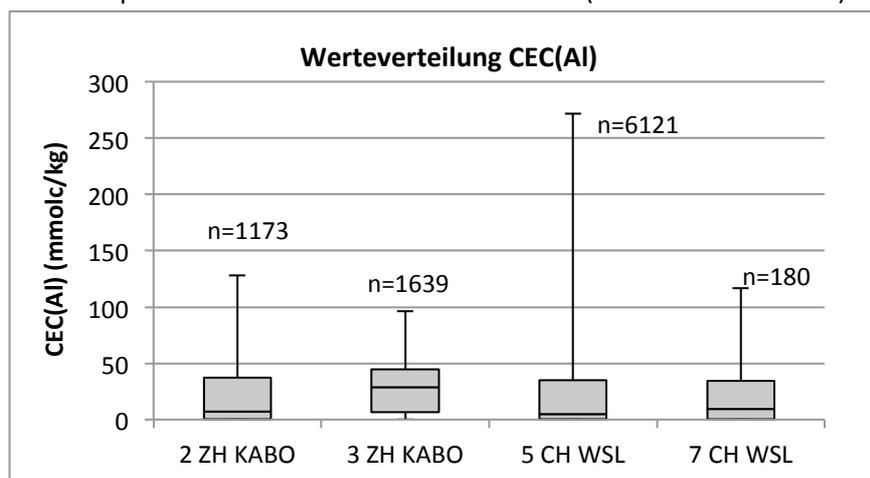


Abbildung 25: Darstellung der CEC(AI)-Wertebereiche und –Verteilungen der verschiedenen Datenquellen.

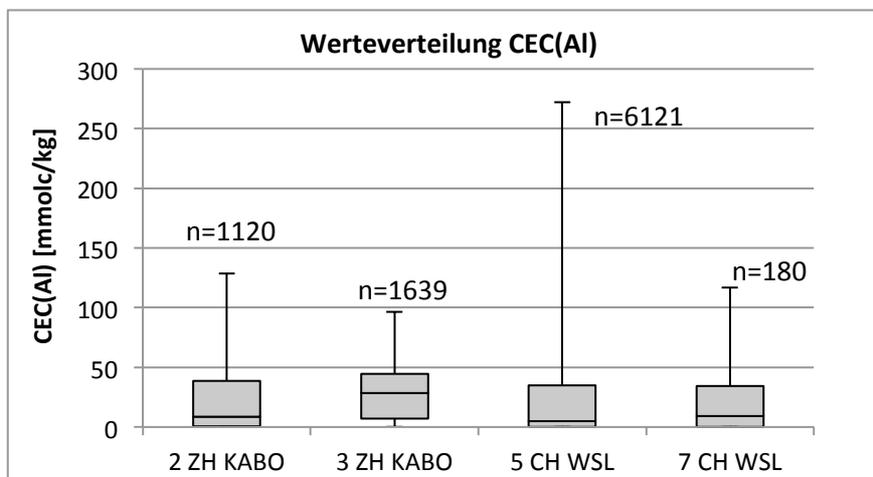


Abbildung 26: Darstellung der CEC(Al)-Wertebereiche und –Verteilungen der verschiedenen Datenquellen ohne die unplausiblen Werte bei 2 ZH KABO.

Interpretationen zu den Daten: Die Al-Werteverteilung sind bei den einzelnen Datenquellen recht ähnlich (Abb. 26). Allerdings ist der Median der Datenquelle 3 ZH KABO infolge der vielen Oberbodenproben grösser (saurer) als jener der Datenquelle 2 ZH KABO, wo ganze Bodenprofile beprobt wurden. Auffällig sind zudem zahlreiche hohe Al-Gehalte bei der gesamtschweizerischen Datenquelle 5 CH WSL, welche vermutlich geologisch (Gesteine mit hohem Al-Gehalt) und pedogenetisch (z.B. Anreicherungshorizonte in Podzolen) bedingt sind. Anhand der Werteverteilung in den Boxplots (Abb. 26) liessen sich keine weiteren Ausreisser erkennen.

7.1.2 Korrelationen zwischen pH und CEC(H⁺) sowie zwischen pH und CEC(Al)

pH und CEC(H⁺) - Datenquelle 2 ZH KABO

Analysemethoden: siehe vorheriges Kapitel (Wertebereiche)

Datenprüfung und Labeling von Ausreissern: In der Datenbank sind die Messwerte zu den verschiedenen Bodeneigenschaften gegliedert in Werte aus linker, mittlerer und rechter Bahn des Bodenprofils. Oft ist allerdings gar kein Wert oder nur der Wert der mittleren Bahn vorhanden. Wahrscheinlich entspricht der Wert, der zu der mittleren Bahn in der DB gespeichert ist, dem Mittelwert aus allen drei Bahnen. Zu diesem Schluss kommt man, wenn man die Probennummern und die Struktur der DB betrachtet.

Aufgrund der Bodenbeprobung in drei Bahnen konnten/mussten die jeweils drei CEC(H⁺)-Messwerte aus demselben Bodenhorizont vorgängig hinsichtlich Plausibilität überprüft werden. Diese Prüfung zeigte, dass die dreifach vorhandenen CEC(H⁺)-Werte teilweise stark voneinander abwichen. Um das Mass der Streuung zu quantifizieren und damit eine Grundlage zur Ausreisser Beurteilung zu erhalten, wurde in allen Horizonten mit drei Messwerten jeweils der Variationskoeffizient von CEC(H⁺) berechnet. Das 75%-Quantil der Variationskoeffizienten aller Horizonte wurde als Grenzwert für die Ausreisser Definition gesetzt. Als Ausreisser wurden all jene Werte bezeichnet, welche zu einem Variationskoeffizienten von mehr als 58.9% in einem Horizont führten (entspricht dem 75 %

Quantil aller Horizonte). Hätte man ein grösseres Quantil verwendet (z.B. 95%) wäre die sehr grosse Streuung von $\text{CEC}(\text{H}^+)$ in sehr vielen Horizonten als plausibel beurteilt worden.

In 231 Bodenprofilen waren zwei oder drei $\text{CEC}(\text{H}^+)$ -Messwerte aus jeweils der gleichen Bodentiefe vorhanden (aus mehreren Bahnen). Hier konnte der Variationskoeffizient berechnet werden. Basierend auf dem Datentest mit dem Variationskoeffizienten wurden in der DB 78 $\text{CEC}(\text{H}^+)$ -Messwerte mit dem Code 13 als Ausreisser gelabelt (teilweise zwei negative Werte oder zwei Nullwerte pro Bodentiefe).

Beim pH-Wert war die Streuung in den drei beprobten Bahnen jeweils gering, daher wurden beim pH-Wert keine Ausreisser bestimmt.

Interpretationen zu den Daten: Von 5231 Proben hatten nach Ausschluss der $\text{CEC}(\text{H}^+)$ -Ausreisser (wie oben beschrieben) 1087 Proben sowohl einen Messwert für $\text{CEC}(\text{H}^+)$ als auch einen pH-Wert und konnten demnach verglichen werden. Abbildung 28 zeigt die Korrelation von $\text{CEC}(\text{H}^+)$ mit dem pH-Wert ohne Ausreisser. Im Vergleich zur Korrelation von pH und $\text{CEC}(\text{H}^+)$ ohne Ausschluss der Ausreisserproben (Abb. 27) ist die Korrelation nun ähnlich gut wie bei der Datenquellen 5 CH WSL (Abb. 34). Allerdings hat 2 ZH bei pH Werten unter 4.0 höhere $\text{CEC}(\text{H}^+)$ -Werte als 5 CH WSL. Vermutlich hat es bei 5 CH WSL im Gegensatz zu 2 ZH KABO viele saure aber humusarme Unterbodenhorizonte mit tiefem pH Wert aber relativ wenig austauschbaren Protonen.

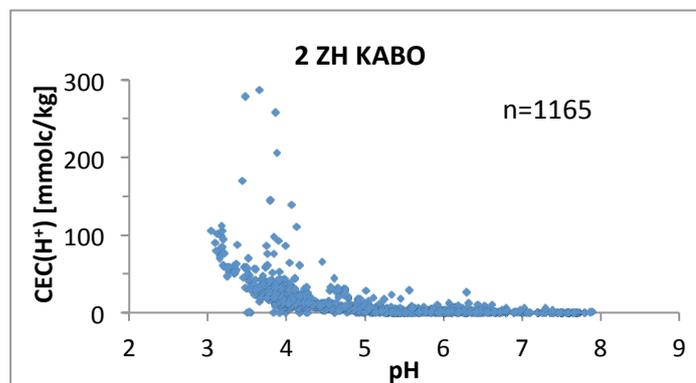


Abbildung 27: Korrelation von $\text{CEC}(\text{H}^+)$ und pH (CaCl_2) bei 2 ZH KABO ohne Ausschluss von Ausreissern.

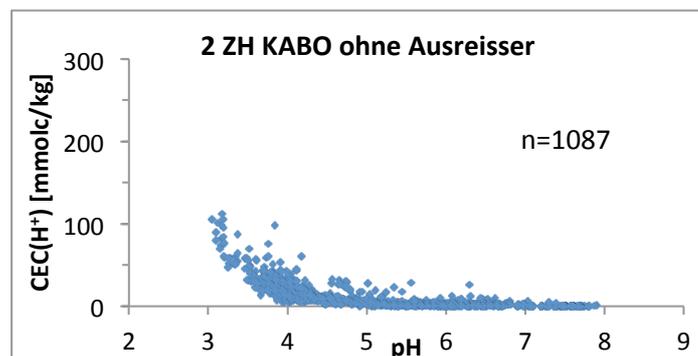


Abbildung 28: Korrelation von $\text{CEC}(\text{H}^+)$ und pH (CaCl_2) bei 2 ZH KABO ohne Ausreisser. Zur Definition von Ausreissern siehe Text.

pH und CEC(Al) - Datenquelle 2 ZH KABO

Analysemethoden: siehe vorheriges Kapitel (Wertebereiche)

Datenprüfung und Labeling von Ausreißern: Analog wie bei CEC(H⁺) war auch bei CEC(Al) eine vorgängige Beurteilung der Messwerte-Streuung in mehrfach beprobten Horizonten nötig. Der Grenzwerte des Variationskoeffizienten lag bei 39.6 % (entspricht dem 75%-Quantil aller Horizonte).

In 231 Bodenprofilen waren zwei oder drei CEC(Al)-Messwerte aus jeweils der gleichen Bodentiefe vorhanden (aus mehreren Bahnen). Hier konnte der Variationskoeffizient berechnet werden. Basierend auf dem Datentest mit dem Variationskoeffizienten wurden in der DB 53 CEC(Al)-Messwerte mit dem Code 13 als Ausreisser gelabelt (teilweise zwei negative Werte oder zwei Nullwerte pro Bodentiefe). Die unplausiblen CEC(Al)-Werte betrafen nicht immer jene Proben, bei denen auch die CEC(H⁺)-Werte unplausibel waren.

Interpretationen zu den Daten: Von 5231 Proben hatten nach Ausschluss der CEC(Al)-Ausreisser (wie oben beschrieben) 1112 Proben sowohl einen Messwert für CEC(Al) als auch einen pH-Wert und konnten demnach verglichen werden. Abbildung 29 zeigt die Korrelation zwischen CEC(Al) und pH-Wert einschliesslich Ausreisserproben, Abbildung 30 zeigt dieselbe Korrelation ohne Ausreisser. Beide Abbildungen sind ähnlich, da die Werte der Al-Ausreisser nicht extrem waren. Verglichen mit der Datenquelle 5 CH WSL (Abb. 35) ist das Muster bei 2 ZH KABO (Abb. 30) grundsätzlich ähnlich. Es wird vermutet, dass die Übereinstimmung vor allem bei den humusarmen Proben gut ist. Auffällig ist allerdings, dass bei 2 ZH KABO der Anteil an sauren organischen Auflagehorizonten mit geringen Al-Gehalten viel kleiner ist als bei 5 CH WSL, wo viele saure Auflagehorizonte von Waldböden vertreten sind.

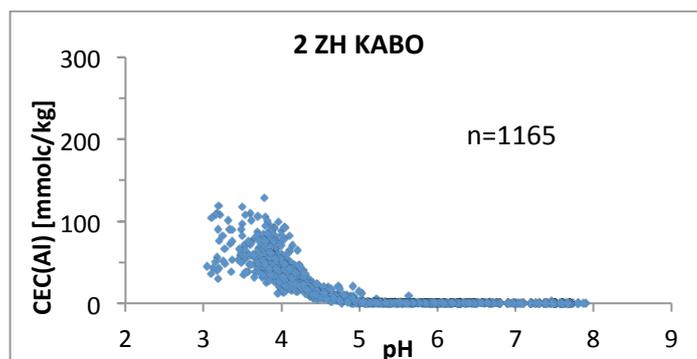


Abbildung 29: Korrelation von CEC(Al) und pH (CaCl₂) bei 2 ZH KABO ohne Ausschluss von Ausreißern

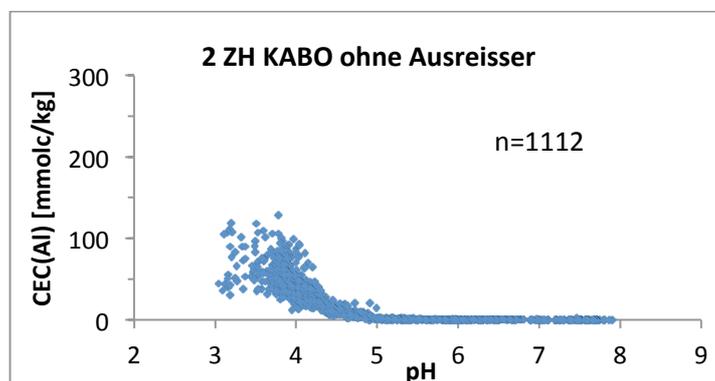


Abbildung 30: Korrelation von CEC(Al) und pH (CaCl₂) bei 2 ZH KABO ohne Ausreisser. Zur Definition von Ausreißern siehe Text.

pH und CEC(H⁺) - Datenquelle 3 ZH KABO

Analysemethoden: siehe vorheriges Kapitel (Wertebereiche)

Datenprüfung und Labeling von Ausreißern: Bei diesem Datensatz erfolgte die Bodenbeprobung nicht nach unterschiedlichen Bahnen. Somit mussten keine Variationskoeffizienten berechnet werden. Die CEC(H⁺)-Werte sehen plausibel aus und haben keine groben Ausreißer.

Interpretationen zu den Daten: Von 15'652 Proben hatten 1800 einen Messwert für CEC(H⁺) und 13'366 einen pH-Messwert und bei 1476 Proben waren beide Werte verfügbar. Abbildung 31 zeigt die Korrelation zwischen CEC(H⁺) und pH-Wert. Im Vergleich zur Datenquelle 5 CH WSL (Abb. 34) hat 3 ZH KABO bei pH Werten unter 4.0 höhere CEC(H⁺)-Werte. Wie bereits bei 2 ZH KABO festgestellt hat offenbar auch 3 ZH KABO im Vergleich zu 5 CH WSL wenig saure und humusarme Unterbodenhorizonte. Solche Unterböden zeichnen sich aus durch tiefe pH-Werte und relativ geringe Gehalte an austauschbaren Protonen (Abb. 34).

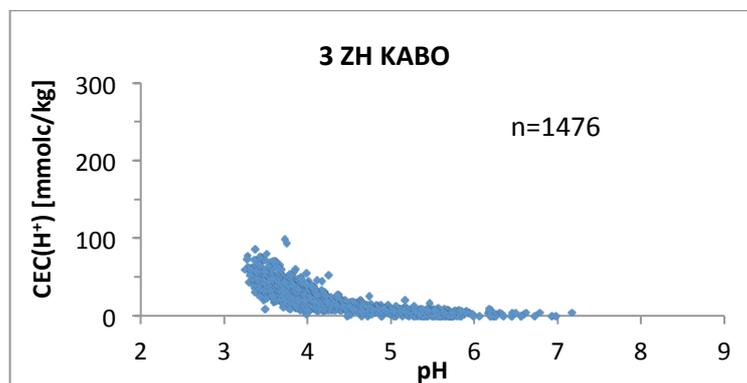


Abbildung 31: Korrelation von CEC(H⁺) und pH (CaCl₂) bei 3 ZH KABO

pH und CEC(Al) - Datenquelle 3 ZH KABO

Analysemethoden: siehe vorheriges Kapitel (Wertebereiche)

Datenprüfung und Labeling von Ausreißern: Bei diesem Datensatz erfolgte die Bodenbeprobung nicht nach unterschiedlichen Bahnen. Somit mussten keine Variationskoeffizienten berechnet werden. Die CEC(Al)-Werte sehen plausibel aus und haben keine groben Ausreißer.

Interpretationen zu den Daten: Von 15'652 Proben hatten 1639 einen Messwert für CEC(Al) und 13'366 einen pH-Messwert und bei 1476 Proben waren beide Werte verfügbar. Abbildung 32 zeigt die Korrelation zwischen CEC(Al) und pH-Wert. Im Vergleich zur Datenquelle 5 CH WSL (Abb. 35) fehlen bei 3 ZH KABO bei pH Werten unter 4.0 Proben mit geringem Gehalte an CEC(Al) weitgehend. Wie bereits bei 2 ZH KABO festgestellt sind offenbar auch in 3 ZH KABO im Vergleich zu 5 CH WSL nur wenige saure Auflagehorizonte von Waldböden vertreten. Solche Auflagehorizonte zeichnen sich aus durch tiefe pH-Werte und relativ geringe Gehalte an austauschbarem Aluminium (Abb. 35).

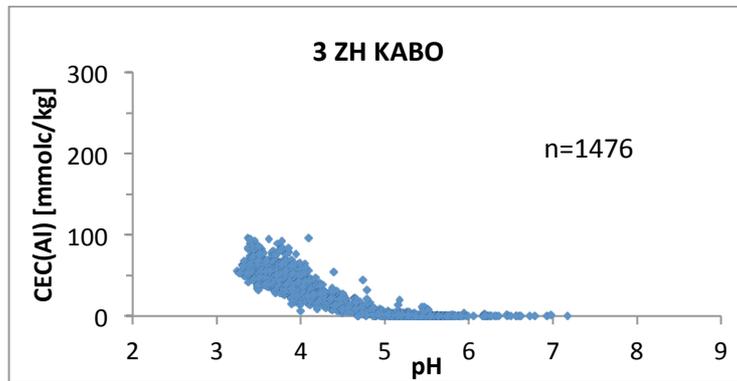


Abbildung 32: Korrelation von CEC(Al) und pH (CaCl₂) bei 3 ZH KABO

pH und CEC(H⁺) - Datenquelle 4 BE BOKA

Analysemethoden: siehe vorheriges Kapitel (Wertebereiche)

Datenprüfung und Interpretationen zu den Daten: Bei dieser Datenquelle sind keine Werte für CEC(Al) verfügbar, daher können nur die beiden Parameter pH-Wert und CEC(H⁺) verglichen werden. Von 3482 Proben hatten 404 einen Messwert von CEC(H⁺) und 2607 einen Messwert von pH (CaCl₂) und 1061 von pH (H₂O). Es wurden nur die Messwerte für pH (CaCl₂) ausgewertet, damit die Ergebnisse mit den anderen Datenquellen vergleichbar sind. Bei 181 Proben waren sowohl Werte für CEC(H⁺) als auch für pH (CaCl₂) für die Gegenüberstellung verfügbar (Abb. 33). Im Vergleich zur Datenquelle 5 CH WSL (Abb. 34) hat 4 BE BOKA über den gesamten pH-Bereich immer wieder sehr hohe CEC(H⁺)-Werte, insbesondere im pH-Bereich 6-7 sowie 3-4. Wie bereits im Kapitel 7.1.1 erwähnt, wurde bei 4 BE BOKA jeweils nur die Gesamtazidität gemessen, die Messwerte aber als CEC(H⁺) deklariert. Daher sind die CEC(H⁺)-Gehalte so hoch. Es wird empfohlen, CEC(H⁺) der Datenquelle 4 BE BOKA in PMSoil nicht zu verwenden.

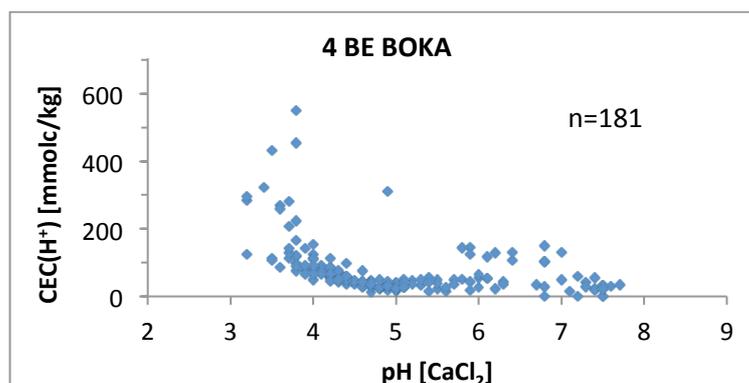


Abbildung 33: Korrelation von CEC(H⁺) und pH (CaCl₂) bei 4 BE BOKA.

pH und CEC(Al) - Datenquelle 4 BE BOKA

Bei diesem Datensatz gibt es keine Werte für CEC(Al).

pH und CEC(H⁺) sowie pH und CEC(Al) - Datenquelle 5 CH WSL

Analysemethoden: siehe vorheriges Kapitel (Wertebereiche)

Datenprüfung und Labeling von Ausreißern: Dieser Datensatz wurde als Referenz zur Beurteilung der Datenqualität der anderen Datenquellen verwendet. Ausreißer im Datensatz wurden bereits im Verlaufe der verschiedenen Qualitätssicherungsmassnahmen an der WSL eruiert und durch geeignete Massnahmen (Nachextraktion und/oder Nachmessung) eliminiert.

Interpretationen zu den Daten: Von 7543 Proben hatten 6121 einen Messwert für CEC(H⁺) und für CEC(Al) und 6133 einen pH-Messwert. Bei 6121 Proben waren jeweils beide für die Korrelation benötigten Parameter verfügbar. Abbildung 34 zeigt die Korrelation zwischen CEC(H⁺) und pH-Wert und Abbildung 35 jene zwischen CEC(Al) und pH-Wert.

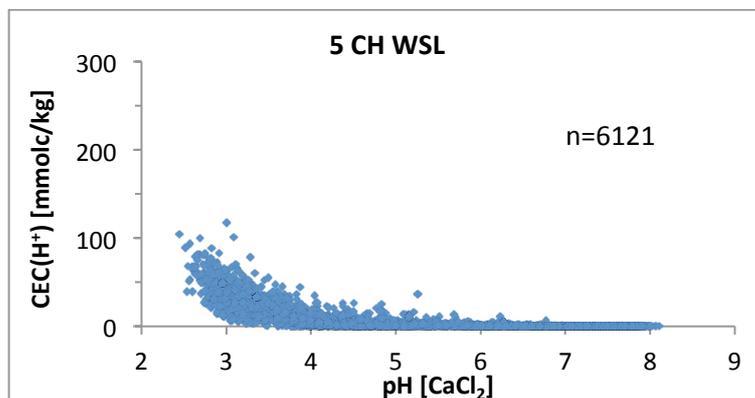


Abbildung 34: Korrelation von CEC(H⁺) und pH (CaCl₂) bei 5 CH WSL.

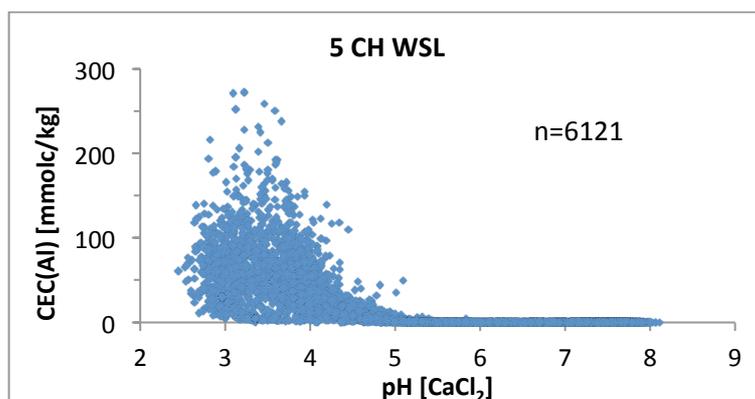


Abbildung 35: Korrelation von CEC(Al) und pH (CaCl₂) bei 5 CH WSL.

pH und CEC(H⁺) sowie pH und CEC(Al) - Datenquelle 7 ZH WSL

Analysemethoden: siehe vorheriges Kapitel (Wertebereiche)

Datenprüfung und Interpretationen zu den Daten: Dieser Datensatz wurde mit den gleichen Methoden erfasst wie der Datensatz 5 CH WSL. Ausreißer im Datensatz wurden bereits im Verlaufe der verschiedenen Qualitätssicherungsmassnahmen an der WSL eruiert und durch geeignete Massnahmen (Nachextraktion und/oder Nachmessung) eliminiert.

Von 182 Proben hatten 139 einen Messwert für CEC(H⁺) und 182 einen pH-Messwert. Bei 139 Proben waren jeweils beide für die Korrelation benötigten Parameter verfügbar. Von 182 Proben hatten 180

Proben einen Messwert für CEC(Al) und 180 einen pH-Messwert. Bei 180 Proben waren jeweils beide für die Korrelation benötigten Parameter verfügbar. Die Werte von CEC(H⁺) und CEC(Al) der Datenquelle 7 ZH WSL (Abb. 36/37) liegen vollständig im Punkteschwarm der entsprechenden Werte der Datenquelle 5 CH WSL (Abb. 34/35). Folglich liessen sich bei der Datenquelle 5 CH WSL keine Ausreisser von CEC(H⁺) und CEC(Al) detektieren.

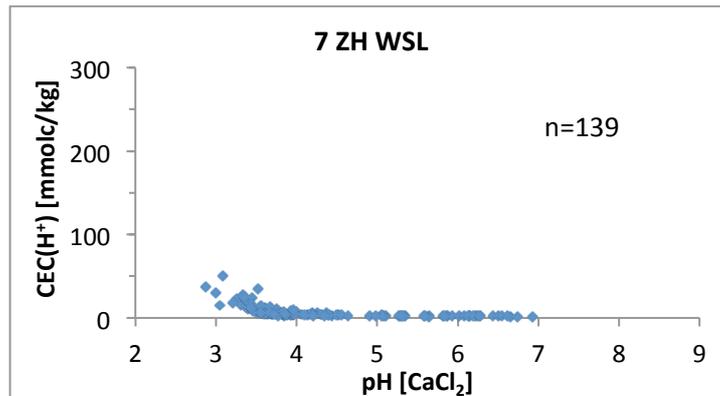


Abbildung 36: Korrelation von CEC(H⁺) und pH bei 7 ZH WSL

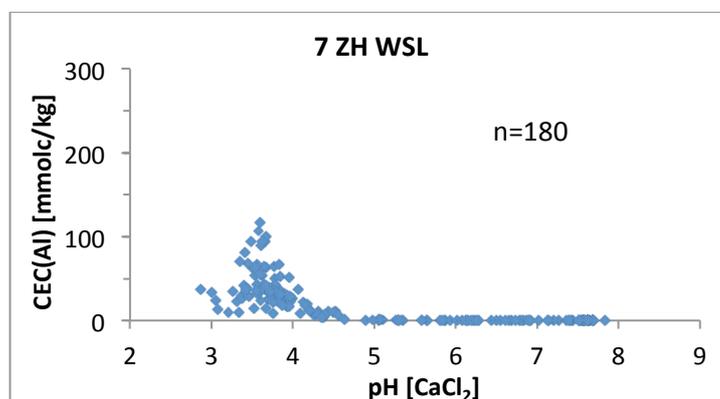


Abbildung 37: Korrelation von CEC(Al) und pH bei 7 ZH WSL

Fazit zu Wertebereichen und Korrelationen von pH, CEC(H⁺) und CEC(Al)

Mit Ausnahme der Datenquelle 4 BE BOKA wird die Datenqualität von pH, CEC(H⁺) und CEC(Al) nach dem Ausschluss von Ausreissern als brauchbar für PMSoil bewertet. Vorhandene Abweichungen in den Wertebereichen der drei Bodenparameter zwischen den Datenquellen lassen sich summarisch erklären und erscheinen daher plausibel zu sein. Hingegen wird empfohlen, CEC(H⁺) der Datenquelle 4 BE BOKA in PMSoil nicht zu verwenden, da dieser Parameter erstens die Gesamtazidität (CEC(H⁺) und CEC(Al)) repräsentiert und zweitens viele unplausibel hohe Werte im Datensatz vorhanden sind.

7.2 Kationenaustauschkapazität CEC_{eff} und Basensättigung

7.2.1 Wertebereiche/-verteilungen von CEC_{eff}

Die Methoden zur Bestimmung der effektiven Kationenaustauschkapazität (CEC_{eff}) sind in Tabelle 13 dokumentiert.

Tabelle 13: Angaben zur Bestimmung der effektiven Kationenaustauschkapazität.

Datenquelle	Methode	Agens	Bemerkung	Referenz
1 ZH BOKA	keine Daten			
2 ZH KABO_P	Elementaranalyse	0.1 M BaCl ₂ / 1 M NH ₄ Cl	CEC lässt sich als bulk oder als Summe der austauschbaren Kationen bestimmen	FAC, 1989, S. 199 ff
3 ZH KABO_M	Elementaranalyse	0.1 M BaCl ₂ / 1 M NH ₄ Cl	CEC lässt sich als bulk oder als Summe der austauschbaren Kationen bestimmen	FAC, 1989, S. 199 ff
4 BE BOKA	keine Daten			
5 CH WSL	Elementaranalyse Titration	1 M NH ₄ Cl 1 M KCl	Summe der austauschbaren Kationen plus H-Azidität	Walther et al., 2004, S. 698
7 ZH WSL	Elementaranalyse Titration	1 M NH ₄ Cl 1 M KCl	Summe der austauschbaren Kationen plus H-Azidität	Walther et al., 2004, S. 698

Datenprüfung: In der Abbildung 38 sind bei den Datenquellen 2 ZH KABO und 3 ZH KABO die als Ganzes gemessenen CEC_{eff}-Werte dargestellt, also nicht die aus den einzelnen Kationen berechnete CEC_{eff}. Die Mediane der vier dargestellten Datenquellen haben ähnliche Werte, wobei sie bei den Datenquellen 3 ZH KABO und 5 CH WSL einen grösseren Wertebereich einnehmen.

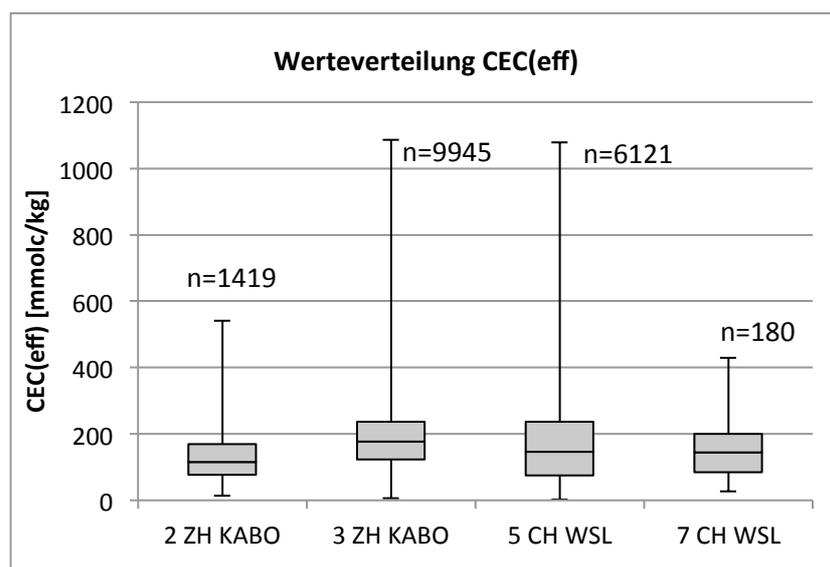


Abbildung 38: Wertebereiche und -verteilungen von CEC(eff) der verschiedenen Datenquellen. Bei 2 ZH KABO und 3 ZH KABO wurde die CEC_{eff} als Ganzes (Bulk) gemessen.

Die in Abb. 39 dargestellte CEC_{eff} entspricht bei den Datenquellen 2 ZH KABO und 3 ZH KABO der Summe der einzeln gemessenen Kationen K, Ca, Mg, Na, Mn, Al und H. Bei den Datenquellen 5 CH

WSL und 7 ZH WSL sind die in den Abbildungen 38 und 39 dargestellten Daten identisch. Die Wertebereiche von 2 ZH KABO, 3 ZH KABO und 7 ZH WSL sind sehr ähnlich, vereinzelte Proben der Datenquelle 5 CH WSL erreichen jedoch 2-3 mal so grosse Werte.

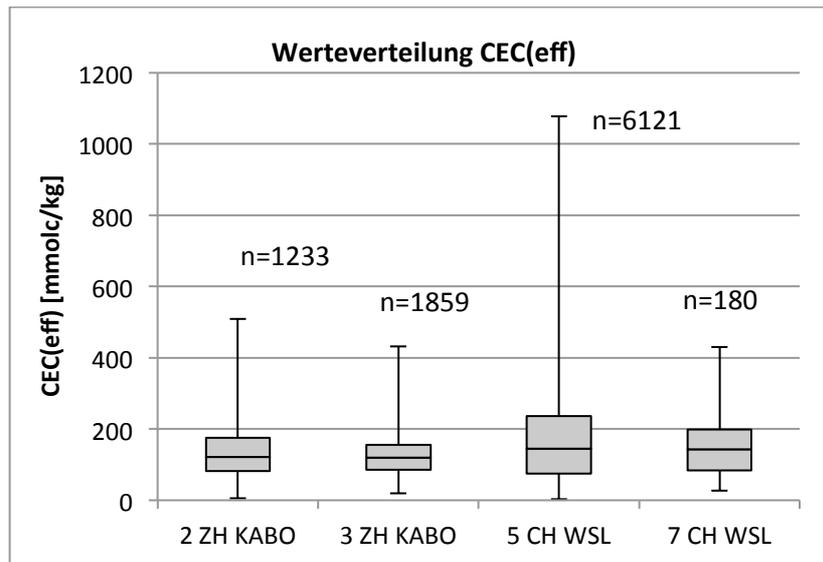


Abbildung 39: Wertebereiche und –verteilungen von CEC(eff) der verschiedenen Datenquellen. Bei 2 ZH KABO und 3 ZH KABO entspricht die CECeff der Summe der einzeln gemessenen Kationen.

Interpretationen zu den Daten und Korrekturen: Die vereinzelt sehr hohen CECeff-Werte bei der Datenquelle 5 CH WSL lassen sich mit der Analyseverfahren erklären. Im Gegensatz zu Bariumchlorid wird bei der Extraktion der Proben mit Ammoniumchlorid leicht lösliches Karbonat aufgelöst, was die austauschbaren Ca-Gehalte und demnach auch die CECeff bei solchen Proben erhöht. Bei 7 ZH WSL sind offenbar keine Proben mit leicht löslichem Karbonat vorhanden. Die im Vergleich zu den Landwirtschaftsböden der Datenquellen 2 und 3 etwas grösseren 75%-Quantile in den Waldböden dürften durch zahlreiche Waldproben mit relativ hohem Humusgehalt verursacht sein.

Bei den Datenquellen 2 und 3 gibt es wesentlich mehr Daten zur Ceff als Ganzes gemessen als zur CECeff als Summe der einzeln gemessenen Kationen. Aufgrund der beobachteten Wertebereiche und –verteilungen scheinen vorerst beide CECeff in PMSoil brauchbar zu sein. Aufgrund der Wertebereiche und –verteilungen liessen sich keine Ausreisserproben eruieren. In Kapitel 7.2.2 wird jedoch ersichtlich, dass nicht beide CECeff für die Berechnung der Basensättigung geeignet sind.

7.2.2 Korrelationen zwischen pH und Basensättigung

Datenquelle 2 ZH KABO

Analysemethoden: Die Basensättigung (BS) und die Summe der basischen Kationen (BC) sind in der Datenbank nicht vorhanden. Wo es die Datenlage erlaubte, berechneten wir BC als $BC = CEC_{eff} - CEC(H^+) - CEC(Al)$. Die Basensättigung berechneten wir als $BS = (BC / CEC_{eff}) * 100$. Wo CECeff sowohl als Ganzes (bulk) als auch als Summe der einzeln gemessenen basischen Kationen verfügbar war, verwendeten wir für die Berechnung der Basensättigung die als bulk gemessene CECeff.

Datenprüfung und Korrekturen: Zuerst musste ein analytisch-rechnerisches Problem gelöst werden. Die Summe von $CEC(H^+)$ und $CEC(Al)$ war bei zahlreichen Proben grösser als CECeff, welche als

Ganzes gemessen wurde. Daraus resultierten auch unplausible (negative) Werte für BC und für die Basensättigung (Abb. 40).

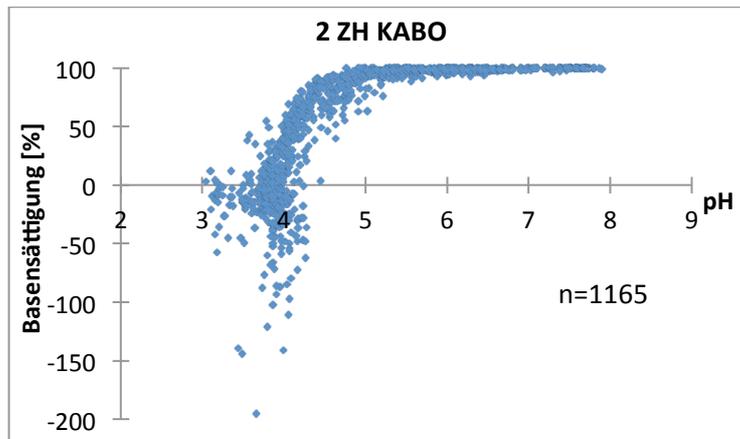


Abbildung 40: Korrelation zwischen pH-Wert und Basensättigung, wobei die BS hier auf der als Ganzes gemessenen CECeff beruht.

Im Vergleich zur CECeff unplausibel hohe Gehalte an $\text{CEC}(\text{H}^+)$ und $\text{CEC}(\text{Al})$ treten vor allem in sehr sauren Proben auf und sind auf analytische Unschärfen bei der Bestimmung der drei Parameter zurückzuführen. Ein weiterer Grund für die im Vergleich zur CECeff relativ hohen Gehalte an $\text{CEC}(\text{H}^+)$ und $\text{CEC}(\text{Al})$ liegt möglicherweise an der unterschiedlichen Wertigkeit, die man $\text{CEC}(\text{Al})$ bei der Erfassung als $\text{CEC}(\text{Al})$ und als Kation von $\text{CEC}(\text{eff})$ zuweist. Aluminium kommt im Boden als Al^{2+} und als Al^{3+} vor. Bei der CECeff-Messung werden diese Kationen als Teil der Gesamtazidität gemessen. Bei der Messung von $\text{CEC}(\text{Al})$ jedoch wird angenommen, dass alle Aluminium-Kationen als 3-wertige Ionen vorkommen. Dies kann bei der Bestimmung von $\text{CEC}(\text{Al})$ zu einer Überschätzung von $\text{CEC}(\text{Al})$ führen, weshalb $\text{CEC}(\text{Al}) + \text{CEC}(\text{H}^+) > \text{CEC}(\text{eff})$ werden kann. In Abb. 41 wird $\text{CEC}(\text{eff})$ der Summe von $\text{CEC}(\text{H}^+)$ und $\text{CEC}(\text{Al})$ gegenübergestellt. Werte unterhalb der 1:1-Linie sind unplausibel bzw. problematisch. Als Vergleich dient Abb. 45 mit Daten der Referenzdatenquelle 5 CH WSL, wo keine Werte unterhalb der 1:1-Linie vorkommen.

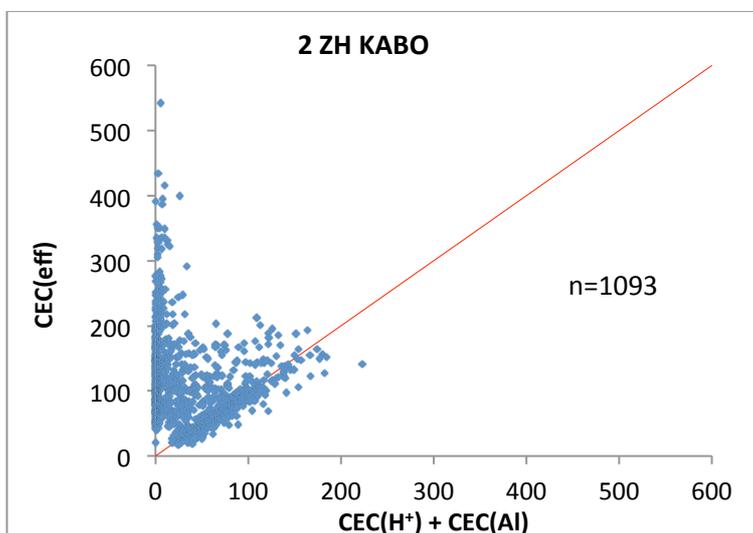


Abbildung 41: Gegenüberstellung von $\text{CEC}(\text{eff})$ als Ganzes gemessen und der Summe der sauren Kationen $\text{CEC}(\text{H}^+)$ und $\text{CEC}(\text{Al})$.

Aufgrund dieser methodischen Unschärfe wurde BC alternativ berechnet als Summe der Kationen Ca, K, Mg und Na und CE_{eff} als Summe von Ca, K, Mg, Na, Mn, H⁺ und Al (Fe war nicht vorhanden in der Datenbank). Die in einem weiter oben beschriebenen Arbeitsschritt als Ausreisser gelabelten Werte von CEC(H⁺) und CEC(Al) wurden nicht in die Berechnungen einbezogen. Negative Werte bei den Kationen wurden durch 0 ersetzt und in der Datenbank gelabelt (Code 6). Anzahl der mit 0 ersetzten negativen Werte: Ca 9, K 19, Mg 37, Mn 62, Na 48. Mit den alternativ berechneten BC und CE_{eff} konnte nun auch die Basensättigung bestimmt werden, ohne dass negative Werte oder Werte grösser als 100% resultierten (Abb. 42). Die alternativ berechneten CE_{eff}, BC und BS wurden nicht in die Datenbank importiert, weil es sich dabei um abgeleitete Parameter handelt.

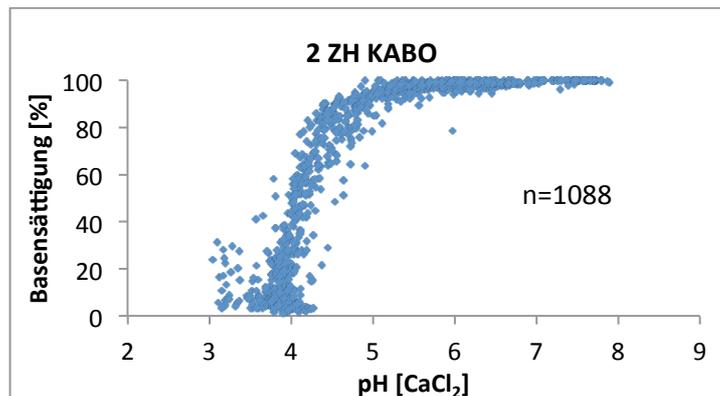


Abbildung 42: Korrelation zwischen pH-Wert und Basensättigung, wobei die BS hier auf der berechneten CE_{eff} und BC beruht.

Interpretationen zu den Daten: Der in Abb. 42 dargestellte Punkteschwarm liegt weitestgehend innerhalb des Punkteschwarms der Referenzdatenquelle 5 CH WSL (Abb. 48). Daher wurden bei der Basensättigung der Datenquelle 2 ZH KABO keine Ausreisser deklariert.

Datenquelle 3 ZH KABO

Bei der Prüfung der Basensättigung der Datenquelle 3 ZH KABO wurde analog vorgegangen wie bei 2 ZH KABO. Nachfolgend werden nur Sachverhalte beschrieben, welche ausschliesslich für die Datenquelle 3 ZH KABO gelten.

Datenprüfung und Korrekturen: Basierend auf der als Ganzes gemessenen CE_{eff} (Bulk) entstanden zahlreiche negative und damit unplausible Werte zur Basensättigung (Abb. 43).

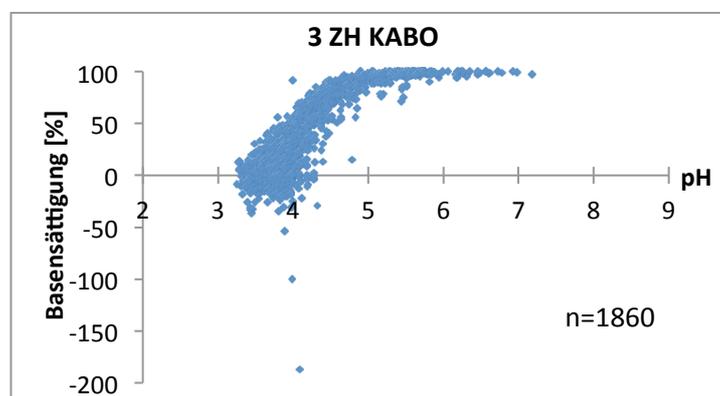


Abbildung 43: Korrelation zwischen pH-Wert und Basensättigung, wobei die BS hier auf der als Ganzes gemessenen CE_{eff} beruht.

In Abb. 44 wird CEC(eff) der Summe von CEC(H⁺) und CEC(Al) gegenübergestellt. Werte unterhalb der 1:1-Linie sind unplausibel bzw. problematisch. Als Vergleich dient Abb. 45 mit Daten der Referenzdatenquelle 5 CH WSL, wo keine Werte unterhalb der 1:1-Linie vorkommen.

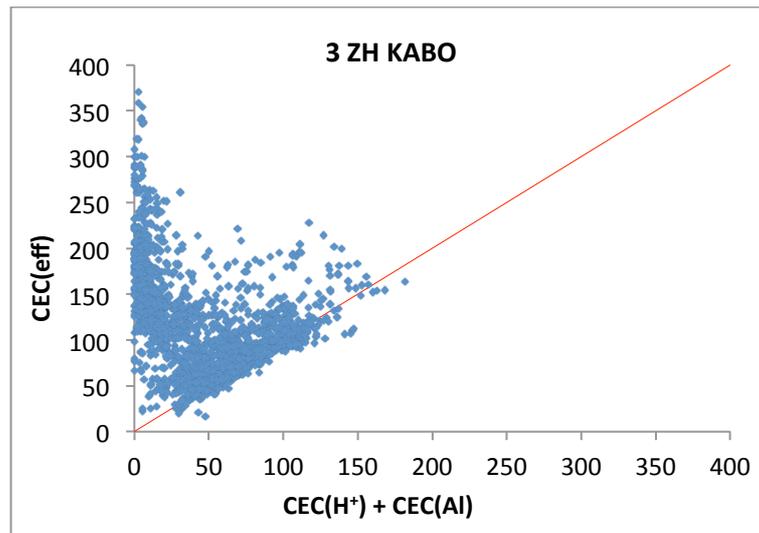


Abbildung 44: Gegenüberstellung von CEC(eff) als Ganzes gemessen und der Summe der sauren Kationen CEC(H⁺) und CEC(Al).

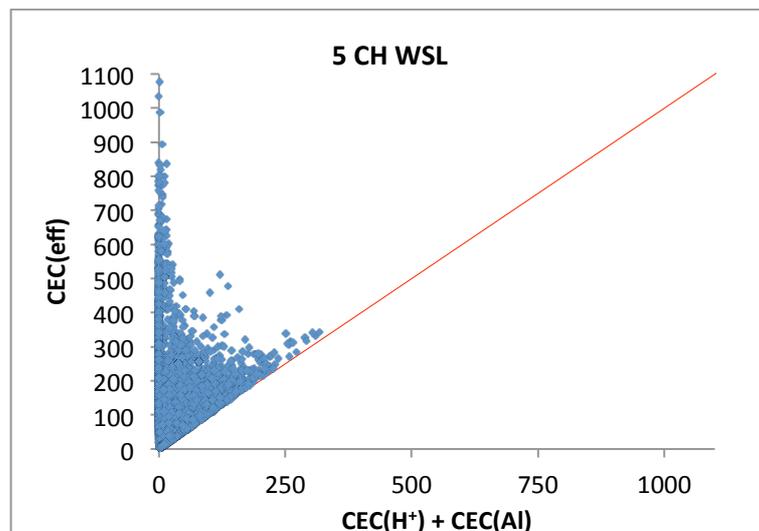


Abbildung 45: Gegenüberstellung von CEC(eff) und der Summe der sauren Kationen CEC(H⁺) und CEC(Al) mit Proben der Referenzdatenquelle 5 CH WSL.

Aufgrund dieser methodischen Unschärfen wurde BC alternativ berechnet als Summe der Kationen Ca, K, Mg und Na und CEC_{eff} als Summe von Ca, K, Mg, Na, Mn, H⁺, Al und Fe. Die in einem weiter oben beschriebenen Arbeitsschritt als Ausreisser gelabelten Werte von CEC(H⁺) und CEC(Al) wurden nicht in die Berechnungen einbezogen. Negative Werte bei den Kationen wurden durch 0 ersetzt und in der Datenbank gelabelt (Code 6). Anzahl der mit 0 ersetzten negativen Werte: Ca 9, K 8, Mg 53, Fe 126, Mn 28, Na 489. Mit den alternativ berechneten BC und CEC_{eff} konnte nun auch die Basensättigung bestimmt werden, ohne dass negative Werte oder Werte grösser als 100%

resultierten (Abb. 46). Die alternativ berechneten CE_{eff}, BC und BS wurden nicht in die Datenbank importiert, weil es sich dabei um abgeleitete Parameter handelt.

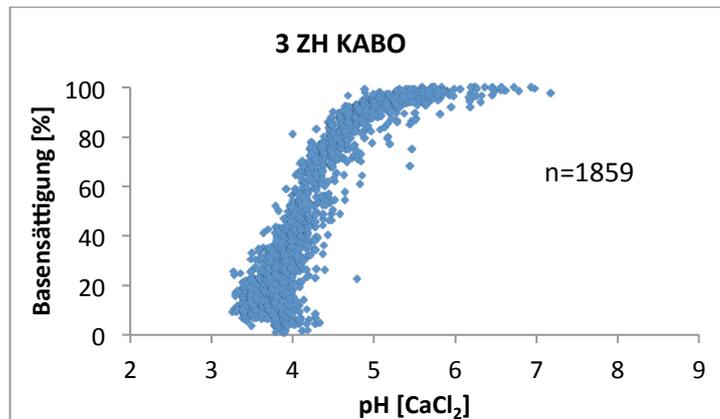


Abbildung 46: Korrelation zwischen pH-Wert und Basensättigung, wobei die BS hier auf der berechneten CE_{eff} und BC beruht.

Interpretationen zu den Daten: Der in Abb. 46 dargestellte Punkteschwarm liegt weitestgehend innerhalb des Punkteschwarms der Referenzdatenquelle 5 CH WSL (Abb. 48). Daher wurden bei der Basensättigung der Datenquelle 3 ZH KABO keine Ausreisser deklariert. Auffällig ist jedoch, dass die Abnahme der Basensättigung zwischen pH 4.5 und pH 3.5 bei 3 ZH KABO etwas flacher verläuft als bei 5 CH WSL.

Datenquelle 4 BE BOKA

Analysemethoden: Es sind keine Angaben zur Bestimmungsmethode der Basensättigung verfügbar.

Datenprüfung und Interpretationen zu den Daten: Von 3482 Proben in der Datenbank war bei 405 Proben ein Wert für die Basensättigung angegeben, bei 182 davon wurde auch ein pH-Wert gemessen. Die Korrelation von pH und Basensättigung zeigt, dass der Zusammenhang nicht optimal ist (Abb. 47). Im alkalischen Bereich gibt es zahlreiche Basensättigungswerte zwischen 50 und 80% und nur sehr wenige bei 100%, was nicht plausibel ist. Die Basensättigung der Datenquelle 4 BE BOKA sollte in PMSoil nur mit der nötigen Vorsicht verwendet werden.

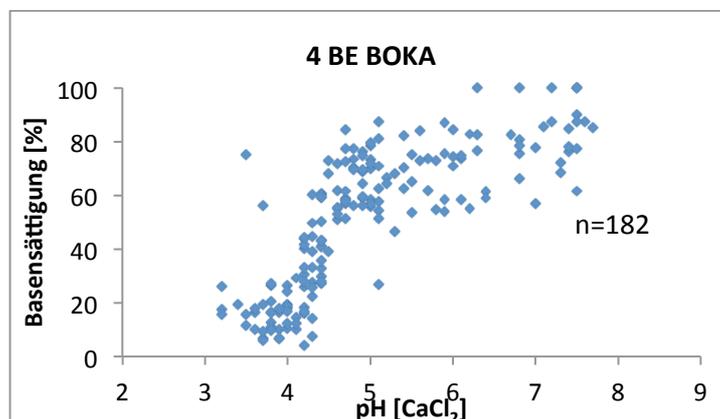


Abbildung 47: Korrelation zwischen pH-Wert und Basensättigung.

Datenquelle 5 CH WSL

Analysemethoden: Berechnung der Basensättigung: $BS=BC/CEC*100$

Datenprüfung und Interpretationen zu den Daten: Die Daten von 5 CH WSL wurden als Referenzdaten verwendet zur Beurteilung der Daten der übrigen Datenquellen. Von 7543 Horizonten war in der Datenbank bei 6121 Proben ein Wert für die Basensättigung angegeben. Bei allen 6121 Proben war auch ein pH-Wert verfügbar. Bei den in Abbildung 48 dargestellten Referenzdaten erkennt man zwei Punktschwärme. Eine Gliederung der Datenpunkte nach Humusgehalt zeigt, dass dieser die Beziehung zwischen pH-Wert und Basensättigung stark mitbestimmt (Abb. 49 und 50). Die beiden Punktschwärme mit Humusgehalt < 10% bzw. Humusgehalt > 10% sind recht deutlich voneinander abgegrenzt. Viele saure Proben mit hohem Humusgehalt sind relativ basenreich.

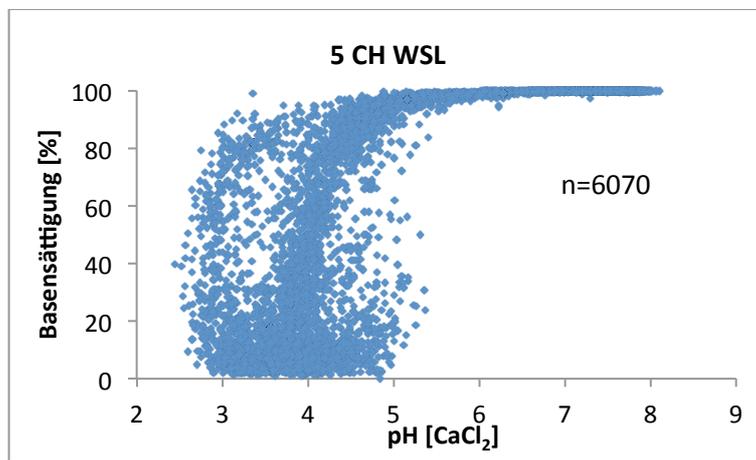


Abbildung 48: Korrelation zwischen pH-Wert und Basensättigung aller Proben der Datenquelle 5 CH WSL.

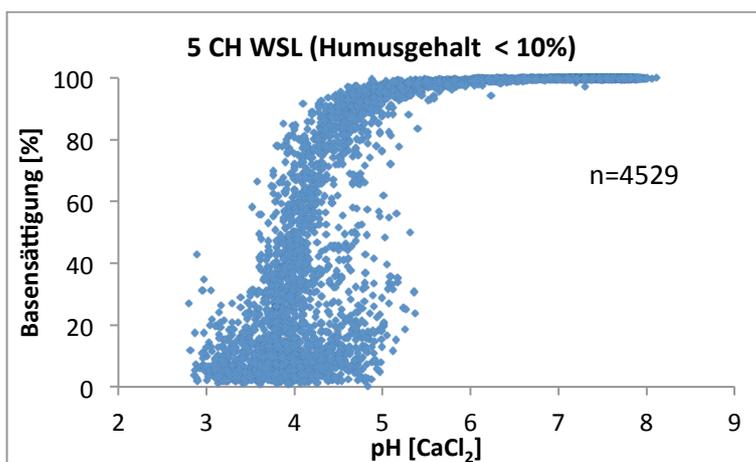


Abbildung 49: Korrelation zwischen pH-Wert und Basensättigung der Proben mit Humusgehalt < 10%.

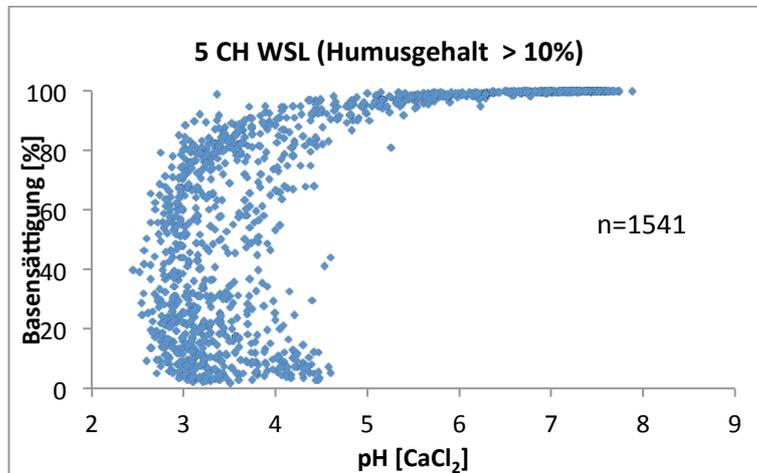


Abbildung 50: Korrelation zwischen pH-Wert und Basensättigung der Proben mit Humusgehalt > 10%.

Datenquelle 7 ZH WSL

Analysemethoden: Berechnung der Basensättigung: $BS = BC / CEC * 100$

Datenprüfung und Interpretationen zu den Daten: Von 182 Proben war in der Datenbank bei 180 Proben ein Wert für die Basensättigung angegeben. Bei allen 180 Proben war auch ein pH-Wert verfügbar. Der in Abb. 51 dargestellte Punkteschwarm liegt vollständig innerhalb des Punkteschwarms der Referenzdatenquelle 5 CH WSL (Abb. 48). Daher wurden bei der Basensättigung der Datenquelle 7 ZH WSL keine Ausreisser deklariert.

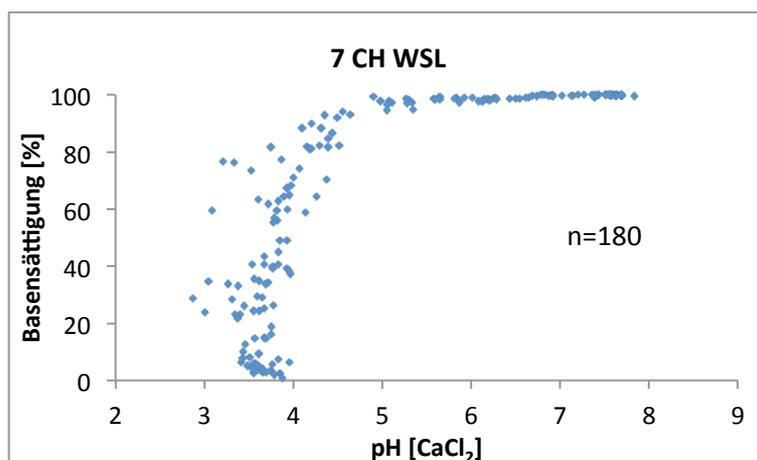


Abbildung 51: Korrelation zwischen pH-Wert und Basensättigung.

Fazit CECEff und Basensättigung

Die Datenqualität der Parameter CECEff und Basensättigung wird mit Ausnahme von 4 BE BOKA bei allen Datenquellen als ausreichend für den Gebrauch in PMSoil bewertet.

Eine paarweise Gegenüberstellung der beiden CECEff, als bulk gemessen oder als Summe der einzelnen Kationen berechnet, fehlt in diesem Bericht. Dieser Vergleich könnte zeigen, wie stark die

beiden CE_{eff} voneinander abweichen und ob bei der Datenquelle 3 ZH KABO die CE_{eff} (bulk) verwendet werden kann, wenn die als Summe der einzelnen Kationen berechnete CE_{eff} fehlt.

7.3 Stickstoff und organischer Kohlenstoff (SOC, Humus)

Für die Qualitätskontrolle von Daten zum organischen Kohlenstoffgehalt wären die zugehörigen Stickstoffgehalte sehr hilfreich. Daraus könnte man das C/N-Verhältnis (C_{org}/N_{tot}) der Proben berechnen, welches wertvolle Hinweise zur Güte der Stickstoff- und C_{org}-Bestimmung gibt. Leider sind Daten zum Stickstoffgehalt nur für die Waldböden der WSL verfügbar. Aus diesem Grund werden nachfolgend nur die Wertebereiche des organischen Kohlenstoffs der verschiedenen Datenquellen verglichen.

7.3.1 Wertebereiche/-verteilungen SOC

Die Methoden zur Bestimmung von C_{org} sind in Tabelle 14 dokumentiert.

Tabelle 14: Angaben zur Bestimmung des organischen Kohlenstoffgehaltes (C_{org}).

Datenquelle	Methode	Agens	Bemerkung	Referenz
1 ZH BOKA	Oxidation	Kaliumdichromat / Schwefelsäure	Methodencode: C _{org}	ART-Archiv; ELF, 1996
2 ZH KABO_P	Oxidation	Kaliumdichromat / Schwefelsäure	Methodencode: C _{org}	ELF, 1996
3 ZH KABO_M	Oxidation	Kaliumdichromat / Schwefelsäure	Methodencode: C _{org}	ELF, 1996
4 BE BOKA	Oxidation	Kaliumdichromat / Schwefelsäure	Methodencode: C _{org}	ART-Archiv; ELF, 1996
5 CH WSL	Trockenverbrennung	-	Karbonat wird mit rauchender Salzsäure ausgetrieben	Walthert et al., 2010
7 ZH WSL	Trockenverbrennung	-	Karbonat wird mit rauchender Salzsäure ausgetrieben	Walthert et al., 2010

Datenprüfung, Interpretationen zu den Daten und Korrekturen: Bei 5 CH WSL waren die SOC-Gehalte in der Datenbank sehr hoch (Max=484) und es war keine Masseinheit angegeben. Bei so hohen Gehalten muss es sich um die Einheit g/kg handeln. Die SOC-Gehalte wurden folglich in der Datenbank durch 10 geteilt und in % angegeben.

Bei 1 ZH BOKA, 2 ZH KABO, 3 ZH KABO und 4 BE BOKA war in der Datenbank der Humusgehalt angegeben. Diese Werte wurden für die Darstellung der Boxplots (Abb. 52) zu SOC-Gehalten umgerechnet ($SOC = \text{Humusgehalt} / 1.72$). Bei 2 ZH KABO und 3 ZH KABO waren zusätzlich zu den Humusgehalten teilweise auch die SOC-Gehalte in der Datenbank vorhanden. Die von uns berechneten SOC-Gehalte stimmten mit denjenigen in der Datenbank überein, was zeigt, dass unsere Umrechnung von Humusgehalt nach SOC korrekt ist.

Bei 1 ZH BOKA hatten 4 Proben einen SOC-Gehalt grösser als 50% und bei 4 BE BOKA waren 2 Werte grösser als 50%. Ein SOC-Gehalt grösser als 50 % ist nicht plausibel, da organische Substanz einen Kohlenstoffgehalt von maximal 50% hat. Diese sechs Proben mit zu hohem SOC-Gehalt wurden in der Datenbank markiert (Code 14) und in den Boxplots (Abb. 52) nicht dargestellt.

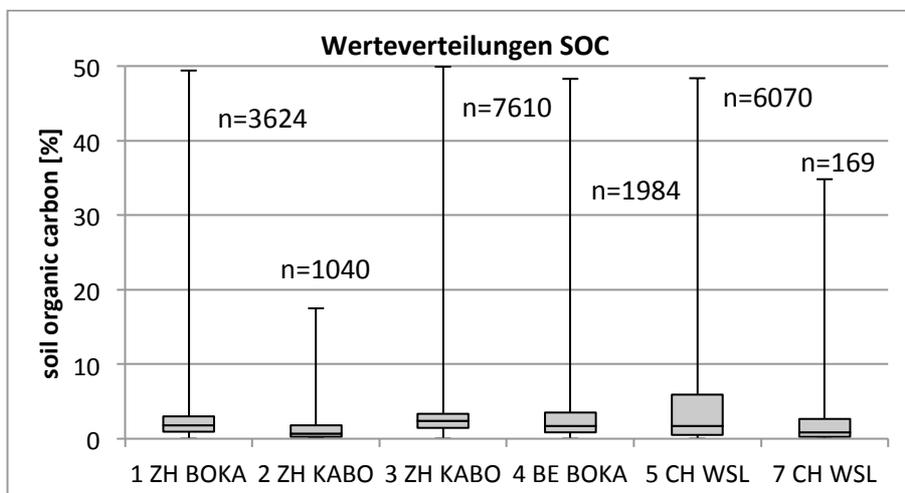


Abbildung 52: Gehalte an organischem Kohlenstoff (SOC) von Bodenproben der verschiedenen Datenquellen.

Mit Ausnahme von 2 ZH KABO haben die Datenquellen grundsätzlich recht ähnliche SOC-Wertevertellungen (Abb. 52). Bei 2 ZH KABO sind die SOC-Gehalte durchschnittlich rund dreimal kleiner als bei den übrigen Datenquellen. Es ist möglich, dass bei diesen Daten ein Umrechnungsfehler vorliegt, der z.B. beim Import der Daten in die Datenbank erfolgte. Es können auch Fehler beim Umrechnen von Humusgehalt in SOC und umgekehrt oder Fehler beim Umrechnen von Masseinheiten (z.B. g/kg in %) passiert sein. Das sind jedoch nur Vermutungen, möglicherweise sind die Gehalte wirklich so tief. Bei 5 CH WSL kann der relativ grosse Anteil an humusreichen Proben damit begründet werden, dass es sich bei diesem Probenkollektiv ausschliesslich um Waldböden handelt, die oft relativ humusreiche Oberböden haben.

An ausgesuchten Stichproben wurde untersucht, ob Proben mit hohen gemessenen SOC-Gehalten aus Horizonten stammen, die bei der Profilsprache im Feld ebenfalls als humusreich deklariert wurden. Hierfür wurden bei den Datenquellen 1 ZH BOKA, 2 ZH KABO, 3 ZH KABO und 4 BE BOKA einige Proben mit sehr grossen SOC-Gehalten überprüft (Tab. 15). In der Tabelle 15 sind auch jene Proben mit zu hohem Humusgehalt enthalten, das ist jedoch für den groben Vergleich zwischen Laborwert und Schätzwert im Feld nicht nachteilig. Bei den Datenquellen 1 ZH BOKA und 4 BE BOKA stammen alle Proben mit sehr hohen gemessenen Humusgehalten aus organischen Auflagen (Torf), was plausibel ist. Bei 2 ZH KABO stammen die humusreichsten Proben stets aus dem obersten Teil des Oberbodens, was plausibel ist. Hingegen ist es erstaunlich, dass bei dieser Datenquelle keine organischen Auflagen mit entsprechend hohem Humusgehalt in der Datenbank vorhanden sind. Bei 3 ZH KABO konnte kein Vergleich zwischen Labor und Feld gemacht werden, weil der Feldschätzwert fehlt.

Tabelle 15: Tiefe und Horizontbezeichnung von Proben mit hohem Humusgehalt aus verschiedenen Datenquellen.

Datenquelle	Proben Nr.	Humusgehalt (%)	SOC-Gehalt (%)	Tiefe (cm)	Horizontbezeichnung (Feldansprache)
1 ZH BOKA					
1_8582_UR179	1	92		0-15	Th
1_8782_WR084	4	90.1		55-65	Tr
1_8582_UR179	3	89		40-55	Tgg
1_8284_RT004	2	88.3		30-50	T1f
2 ZH KABO					
2_7270	14196	30.06	17.43	0-5	A1Eh
2_7270	14166	22.51	13.05	0-5	A1hE
2_7270	14141	19.7	11.42	0-8	A1E,h
2_8612	27045	16.63	9.64	0-4	E Ah1
3 ZH KABO					
3_6131	7088	85.9		40-60	Keine Info
3_6131	7461	82.8		40-60	Keine Info
3_6131	7087	75		0-20	Keine Info
3_6131	7460	73.8		0-20	Keine Info
3_7957	26214	41.3		0-20	Keine Info
4 BE BOKA					
4_35-ln-081	3	93.3		50-200	Tr
4_53-Bb-018	3	86.8		40-140	Tr
4_53-Bb-018	2	83.1		20-40	Tf,(r)
4_26-ln-034	4	82.4		97-120	Tr
4_35-ln-076	5	82.3		110-130	Tf,r

Fazit SOC-Gehalte

Die Güte der SOC-Messwerte konnte nicht abschliessend beurteilt werden, weil hierfür wichtige Vergleichsdaten fehlen. Von einem Gebrauch der SOC-Daten in PMSoil wird aber trotzdem nicht abgeraten.

7.4 Vergabe von Codes bei der Harmonisierung chemischer Bodendaten

Anschliessend sind als Überblick alle bei der Kontrolle der chemischen Daten vergebenen und in der Datenbank eingetragenen Codes aufgelistet:

7.4.1 Veränderte Daten

- **Code 6** Die Gehalte der Parameter CEC_Al und CEC_H waren bei den betroffenen Proben negativ und wurden in der DB auf Null gesetzt.

7.4.2 Unbrauchbare Daten

- **Code 13** Diese Messwerte verursachten einen zu hohen Variationskoeffizient beim Vergleich dreier Messwerte von Proben gleicher Tiefe aus drei Bahnen eines Bodenprofils (sie wurden als Ausreisser deklariert).
- **Code 14** Diese SOC-Messwerte waren grösser als 50 % und demnach unplausibel.
- **Code 15** Der Messwert entspricht der totalen Azidität (H + Al) und nicht der H-Azidität, wie fälschlicherweise in der DB vermerkt war.

8. Literatur

ART-Archiv: ART-interne Methodensammlung. Einzelblätter, unveröffentlicht.

FAC, 1989: Methoden für Bodenuntersuchungen. Schriftenreihe FAC Nr. 5 (ISSN-154X). Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene. Bern-Liebefeld. 266 S.

Brunner, J., Jäggli, F., Nievergelt, J., Peyer, K., 1997: Kartieren und Beurteilen von Landwirtschaftsböden. Schriftenreihe der FAL 24. Eidg. Forschungsanstalt FAL, Zürich-Reckenholz.

ELF, 1996: Schweizerische Referenzmethoden der Forschungsanstalten Agroscope - Band 2 - Bodenuntersuchung zur Standort-Charakterisierung. Loseblattordner E2.011.d. Forschungsanstalten Agroscope (ART und ACW). Ausgabe 1996 mit Änderungen bis 2015. Zürich-Reckenholz und Changin.

Hantke, R. et al., 1967: Geologische Karte des Kantons Zürich und seiner Nachbargebiete in zwei Blättern 1:50'000. Kommissionsverlag Leemann, Zürich.

Jäggli, F., Peyer, K., Pazeller, A., Schwab, P., 1998: Grundlagenbericht zur Bodenkartierung im Kanton Zürich. Eidg. Forschungsanstalt FAL. 207 S.

Kutschera, L., Lichtenegger, E., 2002: Wurzelatlas mitteleuropäischer Waldbäume und Sträucher. Stocker, Graz. 604 S.

Nussbaum, M., Papritz, A., Baltensweiler, A., Walthert, L., 2014: Estimating soil organic carbon stocks of Swiss forest soils by robust external-drift kriging. *Geoscientific Model Development* 7, 1197–1210.

Papritz et al., 2016: Schlussbericht PMSoil.

Ribi, A., 2008: Messung des pH-Wertes in einer Boden-CaCl₂-Suspension - Standard-Arbeitsanweisung Labor AN 104 (Version 2). Gewässerschutzlabor - Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft - Baudirektion Kanton Zürich (Prüfleiter: Christian Balsiger). 1.7.2008. 8090 Zürich. 6 p.

Ribi, A., 2014: Körnung der Feinerde - Standard-Arbeitsanweisung Labor FB 122 (Version 1) Fachstelle Bodenschutz - Amt für Landschaft und Natur - Baudirektion Kanton Zürich (Prüfleiter: Ubaldo Gasser). 15.05.2014. 8090 Zürich. 6 p.

Walthert, L., Lüscher, P., Luster, J., Peter, B., 2002: Langfristige Waldökosystem-Forschung LWF. Kernprojekt Bodenmatrix. Aufnahmeanleitung zur ersten Erhebung 1994-1999. [Published online February 2003]. Available from World Wide Web: < <http://e-collection.ethbib.ethz.ch/show?type=bericht&nr=269> >. Zürich, Eidg. Technische Hochschule. 56 S. + Anhang [pdf].

Walthert, L., Zimmermann, S., Blaser, P., Luster, J., Lüscher, P., 2004: Waldböden der Schweiz. Band 1. Grundlagen und Region Jura. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Bern, Hep Verlag. 768 S.

Walthert, L., Graf, U., Kammer, A., Luster, J., Pezzotta, D., Zimmermann, S., Hagedorn, F., 2010: Determination of organic and inorganic carbon, δ¹³C and nitrogen in soils containing carbonates after acid fumigation with HCl. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 173, 207-216.

Walthert, L., Graf Pannatier, E., Meier, E. S., 2013: Shortage of nutrients and excess of toxic elements in soils limit the distribution of soil-sensitive tree species in temperate forests. *Forest Ecol. Manage.* 297, 94-107.

9. Anhang

Tabelle A1: Übersicht der im Workpackage A kontrollierten Daten aller Datenquellen. Die Tabelle enthält nur Angaben zu den wichtigsten im Rahmen der Datenharmonisierung kontrollierten Parametern. Fehlerhafte Daten wurden in der Datenbank mit Codes markiert, Daten wurden also weder gelöscht noch verändert. Die Codes und deren Bedeutung sind im Text erläutert.

Parameter	Anzahl total	Anzahl kontrolliert	Anzahl Codierte Fehler
Standorte			
fälschlicherweise in Gewässer liegend	16077	15232	30
Profile			
Plausibilität von Vernässungsgrad und Durchwurzelungstiefe	7701	1307	keine Codierung
Horizonte			
Überlappung von Probe und Horizont	41443	41443	765
Proben-Physik			
Textur Messwerte	16500	16500	768
Textur Schätzwerte	29587	29587	*224
Vergleich Mess- und Schätzwerte	10448	10448	keine Codierung
Proben-Chemie			
pH	28945	28945	41
CEC(H)	9970	9970	333
CEC(AI)	9623	9623	510
CEC(eff) (Messung einzelner Kationen)	9393	9393	**640
CECb(eff) (Messung als bulk CEC)	11364	0	0
Corg	20503	20503	6
* Code 9-12 (unbrauchbare Daten)			
** Codierung von negativen Gehalten bei Ca, Mg, K, Na, Fe und Mn			