UMWELTFACHSTELLEN

Verwertung von abgetragenem Bodenmaterial

Themenspezifische Untersuchung über die Jahre 2014-2018 **4108**

Kantonale Bodenüberwachung Zentralschweiz (KABO ZCH)

» *Bilanzierung der Art, Menge und Qualität von abgetragenem Bodenmaterial*
» *Aktuelle Materialflüsse von abgetragenem Bodenmaterial*

Projektbericht

Horw, 23. Dezember 2019

ilu AG
Ingenieure, Landschaftsarchitekten, Umweltfachleute

Zentralstrasse 2a
CH-8610 Uster
Tel. +41 (0)44 944 55 55
uster@ilu.ch
www.ilu.ch

Grisigenstrasse 6
CH-6048 Horw
Tel. +41 (0)41 349 00 50
horw@ilu.ch
www.ilu.ch

Auftraggeber – Bearbeitung

Auftraggeber

Kantonale Bodenüberwachung Zentralschweiz KABO ZCH
c/o Amt für Umwelt NW
Stansstaderstrasse 59
6371 Stans

Kontaktperson:
Fr. Angela Zumbühl, Fachspezialistin
Tel. 041 618 75 09

Beteiligte Fachstellen Bodenschutz

- Kt. Luzern, Dienststelle Umwelt und Energie, Matthias Grob
- Kt. Nidwalden, Amt für Umwelt, Angela Zumbühl
- Kt. Obwalden, Amt für Landwirtschaft und Umwelt, Ariane Jedelhauser
- Kt. Schwyz, Amt für Umweltschutz, Stefan Rüegg
- Kt. Uri, Amt für Umweltschutz, Harry Ilg
- Kt. Zug, Amt für Umwelt, Christoph Troxler / Rebecca Stecher / Agnes Rehmus

Externes Projektmanagement KABO ZCH

- Basler & Hofmann AG Matias Laustela

Planung, Koordination und Bearbeitung

ilu AG, Horw

- Andy Lancini, dipl. Natw. ETH / Geologe CHGEOL
- Michael Mächler, MSc ZFH in Natural Resource Sciences

Achermann Boden + Landschaft GmbH

- Matthias Achermann, dipl. Geograf UZH / BGS

Rev.	Datum	Beschreibung	Bearbeitet	Geprüft
0	29.11.2019	Entwurf in Vernehmlassung	AL / MM	M. Achermann
1	23.12.2019	Abgabe Projektbericht	AL	M. Achermann

Inhalt

		Seite
Zusammenfassung		**4**
1	**Grundlagen**	**6**
1.1	Ausgangslage	6
1.2	Auftrag und Zielsetzungen	6
1.3	Begriffe	7
1.4	Bearbeitungsgrundlagen	7
2	**Methodik und Projektablauf**	**8**
2.1	Stoffflussmodell	8
2.2	Denkbare Methoden	9
2.3	Gewählte Methoden	9
2.4	Ablauf Projektbearbeitung	11
3	**Vorgehensweise**	**12**
3.1	Datenaufbereitung und -analyse GIS	12
3.2	Geografische Einzugsgebiete / Ausschlussgebiete	14
3.3	Korrektur Einzelfälle	14
3.4	Datenverschnitte GIS	14
3.5	Modellannahmen	15
4	**Resultate**	**17**
4.1	Relevante Flächen bezüglich Bodenabtrag	17
4.2	Abgetragenes Bodenmaterial	17
4.3	Abgetragenes, verwertbares Bodenmaterial	18
4.4	Bodenverschiebungen für Verwertungsprojekte verfügbar	19
4.5	Tatsächlich verwertete Bodenmaterial-Kubaturen	20
4.6	Stoffffluss Bodenmaterial Zentralschweiz	21
4.7	Beurteilung der Repräsentativität	21
5	**Interpretation der Resultate**	**23**
5.1	Diskussion	23
5.2	Plausibilisierung	25
6	**Ausblick und vorgeschlagene Massnahmen**	**28**

Anhang

A1	Bewertung denkbarer Methoden zur Ermittlung der Bodenmaterial-Stoffflüsse
A2	Ablauf Projektbearbeitung (Ablaufschema und Meilensteine tabellarisch)
A3	Arten der Bodenbedeckung nach AV-Datenmodell MOpublic
A4	Anteil des abgetragenen Bodenmaterials: Erläuternde Beispiele
A5	Bodenrelevante Abtragsflächen: Erläuternde Beispiele
A6	Übersicht Bodenrelevante Abtragsflächen und Einzugsgebiete pro Kanton
A7	Zusammenfassende Kubaturberechnungen pro Kanton
A8	Anonymisierte Antworten aus den Interviews mit Schlüsselpersonen

Abbildungen

Alle Fotos und Grafiken: ilu AG, Horw (wenn nicht separat verwiesen)

Zusammenfassung

Basierend auf der Pflicht zur Verwertung von abgetragenen Bodenmaterial (Art. 18 VVEA) lassen die Zentralschweizer Bodenschutzfachstellen verschiedene Vollzugsgrundlagen erheben. Die vorliegende Untersuchung zeigt rückblickend auf, welche Mengen an abgetragenem Ober- und Unterboden über den Zeitraum 2014 bis 2018 angefallen sind, welcher Anteil davon als verwertbar im Sinne Art. 18 VVEA galt und wie hoch die Verwertungsquote lag.

Die Methodik beruht in einem ersten Schritt auf GIS-Analysen, durch welche basierend auf Veränderungen bei der Bodenbedeckung (amtlichen Vermessung) relevante Flächen bezüglich Bodenabtrag ermittelt werden konnten. Um Abtragskubaturen zu erhalten wurden bodenkundlich fundierte Modellannahmen getroffen und mit den kantonalen Bodenschutzfachstellen abgeglichen. Schliesslich wurde der Praxisbezug hergestellt, indem verschiedene Schlüsselpersonen aus der Bauwirtschaft hinsichtlich ihrer Einschätzung der Resultate und ihrer Erfahrungen bezüglich Bodenverwertungsprojekten interviewt wurden.

In den letzten fünf Jahren wurden in der Zentralschweiz jährlich ca. 800'000 m^3 (fest) Bodenmaterial (Ober- und Unterboden) auf rund 160 ha abgetragen. 635'000 m3 (fest) davon sind von guter Qualität und somit verwertbar. 180'000 m^3 (fest) wurden entsprechend vor Ort wiedereingesetzt und 300'000 m^3 (fest) wurden andernorts einer Bodenverwertung zugeführt. Rund 150'000 m^3 (fest) wurden allerdings keiner eigentlichen Bodenverwertung zugeführt – im Idealfall hätten damit jährlich 15-30 ha degradierte Böden aufgewertet werden können. Rund 90 % des Bodenmaterials stammen aus Tiefbautätigkeiten innerhalb der Bauzone. Gegenüber dem Oberbodenmaterial (46 %) steht nur unwesentlich mehr an Unterbodenmaterial zur Verfügung (54%). Diese «Abreicherung» von Unterbodenmaterial im Stoffflussmodell kann insbesondere auf den teilweise unvollständigem Bodenabtrag bei flächigen Tiefbauprojekten und den hohen Anteil an schwierig verwertbaren, tonreichen Böden in der Zentralschweiz zurückgeführt werden.

Die Plausibilisierung bestätigte durchwegs die Erkenntnis, dass deutlich mehr Unterboden-Material auf dem Markt vorhanden sein müsste, als wirklich in Verwertungsprojekte gelangt ist. Begründet wird dies insbesondere damit, dass bei kleineren/mittelgrossen Baustellen die Ressource Unterboden oft gar nicht als solche erkannt wurde bzw. die ökonomische Motivation für einen vom Untergrundmaterial getrennten Abtrag gar nicht vorhanden war. Das Interesse an Bodenverwertungsprojekten ist bei den Tiefbauunternehmungen grundsätzlich vorhanden. Selbst bei guten Rahmenbedingungen wird es jedoch eher als schwierig eingeschätzt, solche Projekte im aktuellen Umfeld wirtschaftlich realisieren zu können.

Die Resultate der vorliegenden Untersuchung ergänzen die Ergebnisse ähnlicher Studien. Mit der hier neu gewählten Methodik basierend auf räumlichen Analysen, können über die Kantone gute, vergleichbare und reproduzierbare Resultate generiert werden. Als Handlungsempfehlung wird der Blick in die Zukunft, also die Prognose bezüglich künftig (vermutlicher eher knapper) anfallenden Bodenkubaturen sowie die Evaluation von über die Region verteilten Gebieten mit Verwertungsdefiziten priorisiert. Weitere Handlungsfelder betreffen die Unterstützung sinnvoller Verwertungsprojekte, die Verbesserung des Datenmanagements bezüglich Bodenmaterial-Stoffffluss sowie die Sensibilisierung/Schulung der relevanten Akteure der Bauwirtschaft hinsichtlich der wichtigen Ressource «Unterboden».

1 Grundlagen

1.1 Ausgangslage

Bei aushubrelevanten Bauvorhaben fällt zumeist auch abgetragener Ober- und Unterboden an. Vor Ort überschüssiges Bodenmaterial wird extern entsorgt, d.h. entweder einer Wiederverwertung zugeführt oder in Wiederauffüllungen/Deponien abgelagert. In der Zentralschweiz ist über diese Stoffflüsse relativ wenig bekannt.

Die 2016 in Kraft getretene Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (Abfallverordnung VVEA) regelt unter anderem die Anforderungen an die Trennung und Verwertung von Bauabfällen unter welche auch abgetragener Ober- und Unterboden fällt. Relevant für den Bodenschutz-Vollzug sind die Vorgaben, dass abgetragener Ober- und Unterboden einerseits auf der Baustelle jeweils möglichst sortenrein von den anderen Bauabfällen zu trennen ist (Art. 17 VVEA) und andererseits bei Eignung möglichst vollständig einer Verwertung zuzuführen ist (Art. 18 VVEA). Somit wurde insbesondere die Pflicht zur Verwertung von abgetragenem Bodenmaterial mit der VVEA rechtlich verankert. Bei der Verwertung ist mit dem Ober- und Unterboden gemäss Art. 6 und 7 der Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo) umzugehen.

Basierend auf der nun rechtlich verankerten Pflicht zur Verwertung von abgetragenem Bodenmaterial, möchten die Zentralschweizer Bodenschutzfachstellen ihren Vollzug mit der Erhebung von Grundlagendaten optimieren.

1.2 Auftrag und Zielsetzungen

Eine themenspezifische Untersuchung soll für die verschiedenen Zentralschweizer Kantone aufzeigen, welche Mengen an abgetragenem Ober- und Unterboden an welchem Ort pro Zeiteinheit anfallen, welcher Anteil davon als verwertbar im Sinne Art. 18 VVEA gilt (Qualität) und wie hoch die Verwertungsquote liegt. Folgende Fragestellungen sollen geklärt werden:

1. In welchen Mengen fällt zurzeit abgetragener Boden in den Zentralschweizer Kantonen (pro Kanton, inner- und ausserhalb der Bauzone) an?
2. Wie erfolgt aktuell der Umgang mit abgetragenem Boden (z.B. Verwertung vor Ort, Verwertung andernorts, Ablagerung, keine Trennung von Aushubmaterial…)?
   Welche Anteile davon werden aktuell sachgerecht verwertet (d.h. rechtskonform im Sinne Art. 18 VVEA)?
3. Wie gross sind die Anteile getrennt nach Ober- und Unterboden?
   Kann der Anteil der unbelasteten oder belasteten Fraktion ermittelt werden?

Die Zielsetzungen können basierend auf den Fragestellungen wie folgt definiert werden:

- Bilanzierung der Art, Menge und Qualität von abgetragenem Bodenmaterial im Raum Zentralschweiz
- Erlangen erweiterter Kenntnisse bezüglich aktuellen Materialflüsse von abgetragenem Bodenmaterial in der Zentralschweiz

1.3 Begriffe

Tabelle 1: Für die vorliegende Berichterstattung verwendete Schlüsselbegriffe

Begriff	**Erläuterung**	**Stoffffluss-Kategorie (vgl. Kap. 2.1)**
Abgetragenes Bodenmaterial	Der gesamte abgetragene Boden (Ober- und Unterboden) der im Rahmen eines Bauvorhabens abgetragen wird, inkl. nicht wieder als Boden verwertbarer Fraktionen. Klar abzugrenzen von ausgehobenem Untergrundmaterial bzw. Aushub- und Ausbruchmaterial (vgl. Art. 3 Bst. f VVEA).	B
Entsorgtes Bodenmaterial	Das entsorgte Bodenmaterial umfasst sowohl die verwerteten als auch die abgelagerten Fraktionen (Entsorgung der Abfälle umfasst ihre Verwertung oder Ablagerung, vgl. Art. 7 Ziffer 6bis USG).	B
Verschobenes Bodenmaterial	Aus dem Bauperimeter weggeführtes, abgetragenes Bodenmaterial, inkl. nicht wieder als Boden verwertbarer Fraktionen.	B2+C
Verwertetes Bodenmaterial	Abgetragener Ober- und Unterboden, welcher wieder als Bodenmaterial auf- oder eingebracht wird. Dabei ist zwischen der Verwertung vor Ort (im Bauperimeter) und externer Wiederverwertung, wie z.B. Rekultivierungen, Bodenaufwertungen, Terrainveränderungen zu unterscheiden.	B1+C1
Abgelagertes Bodenmaterial	Abgetragener Ober- und Unterboden, welcher in Wiederauffüllungen oder in Deponien als Abfall eingebaut wird gilt als abgelagert. Er nimmt keine Bodenfunktionen im Sinne der VBBo mehr wahr.	B2+C2
Verwertungspflicht	Die Pflicht zur Wiederverwertung von abgetragenem Ober- und Unterbodenmaterial gemäss Art. 18 VVEA, sofern die dort aufgeführten Kriterien erfüllt sind.	C

1.4 Bearbeitungsgrundlagen

Als rechtliche Grundlagen gelten die einschlägigen Gesetzte und Verordnungen auf nationaler sowie auf kantonaler Ebene mit jeweiligem aktuellstem Stand vor Berichtsdatum. Auf eine Auflistung wird verzichtet.

Fachliche Grundlagen:

[1] «Bodenaushub und -verschiebung im Kanton Zürich, 2006-2015», Bericht Basler & Hofmann AG, ALN Fachstelle Bodenschutz, Zürich, 31. Dezember 2016

[2] «Modellierung der Kies-, Rückbau und Aushubmaterialflüsse (KAR): Modellerweiterung und Nachführung 2016, Bezugsjahr 2016», Bericht Energie- und Ressourcen-Management GmbH, Umweltämter diverser Kantone, Zürich, April 2018

[3] «Boden und Bauen, Stand der Technik und Praktiken», BAFU, 2015

2 Methodik und Projektablauf

2.1 Stoffflussmodell

Die Abbildung 1 zeigt schematisch das Stoffflussmodell für Oberboden (OB) und Unterboden (UB) auf, welches der vorliegenden Untersuchung zugrunde gelegt wurde. Die einzelnen Stoffflüsse weisen ein Kürzel auf und sind in

Tabelle 2 kurz umschrieben.

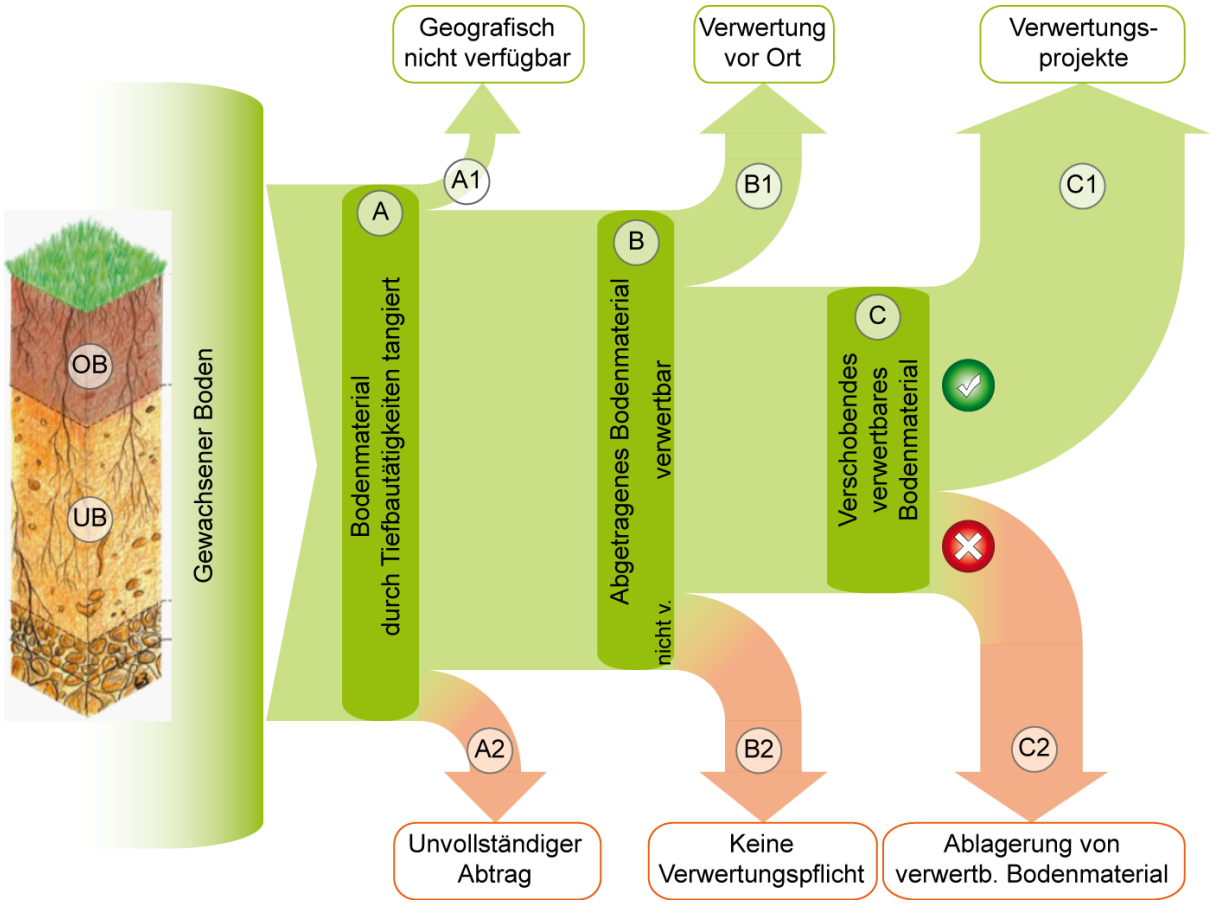


Abbildung 1: Bodenmaterial-Stoffflussmodell für Ober- und Unterboden

Tabelle 2: Stoffflüsse gemäss Modellannahmen

Stoffluss-Kategorie		Umschreibung	Modellannahmen / Resultate
A		Bodenmaterial, welches auf tiefbaurelevanten Flächen liegt.	Kap. 3 / 4.1 / 4.6
	A1	Tiefbaurelevante Flächen, welche in abgelegenen bzw. schwer erreichbaren Gegenden oder in weitgehend geschlossenen/unabhängigen geografischen Räumen liegen.	Kap. 3.2 / 4.6
	A2	Bodenmaterial, welches aufgrund beschränkter Abtragstiefe beim Bauvorhaben im Untergrund verbleibt (nicht abgetragen).	Kap. 3.5.2 / 4.6

	B			Gesamtes, abgetragenes Bodenmaterial in den definierten Einzugsgebieten (inkl. nicht der Verwertungspflicht unterstehende Fraktionen)	Kap. 4.2 / 4.6
		B1		Vor Ort im Bauperimeter wieder verwendetes Material.	Kap. 3.5.4 / 4.6
		B2		Aufgrund physikalischer Eigenschaften, Schadstoffe, Fremdstoffe etc. nicht der Verwertungspflicht unterstehendes, abgetragenes Bodenmaterial	Kap. 3.5.3 / 4.6
		C		Gesamtes, abgetragenes und aus dem Bauperimeter verschobenes Bodenmaterial, welches der Verwertungspflicht untersteht und auch für Verwertungsprojekte zur Verfügung steht (Einzugsgebiete)	Kap. 4.5 / 4.6
			C1	Verschobenes Bodenmaterial welches in Bodenaufwertungen, Rekultivierungen etc. verwertet wurde.	Kap. 4.5 / 4.6
			C2	Verschobenes Bodenmaterial, welches in Wiederauffüllungen oder Deponien abgelagert wurde und nicht mehr als Boden zur Verfügung steht.	Kap. 4.5 / 4.6

2.2 Denkbare Methoden

Um die obigen Zielsetzungen zu erreichen, kann man einerseits auf die Erhebung und Auswertung von bereits vorhandenen Rohdaten/Messwerten setzen (Primärdaten). Im Vordergrund stehen hier auf kantonaler Stufe vorhandene Erhebungen, Mengenmeldungen, Bodenschutzkonzepte, Entsorgungsnachweise etc. und auf kommunaler Stufe mindestens teilweise vorhandene Entsorgungserklärungen / - Nachweise aus den Baubewilligungsverfahren.

Andererseits können erweiterte Kenntnisse über abgeleitete Daten, durch Modellier- oder Verarbeitungsschritte, gewonnen werden (Sekundärdaten). Denkbar sind für die obigen Zielsetzungen Methoden wie Befragungen, statistische Modellierungen oder GIS-Analysen.

Im Anhang A1 wurden die verschiedenen, denkbaren Methoden zur Ermittlung der Bodenmaterial-Stoffflüsse aufgelistet und bezüglich Eignung, Aufwand und Nutzen bewertet.

2.3 Gewählte Methoden

2.3.1 GIS-Analysen für die relevanten Flächen bezüglich Bodenabtrag

Basierend auf dem eher zurückhaltenden Datenmanagement der Zentralschweizer Kantone bezüglich Bodenmaterial-Stoffflüssen (Primärdaten), wurde vorliegend auf eine aus GIS-Analysen gewonnene Datenbasis gesetzt (Sekundärdaten). Allgemein können mit solchen räumlichen Analysen gute, über die Kantone vergleichbare und reproduzierbare Resultate generiert werden. Diese Methodik erlaubt insbesondere auch Betrachtungen mit individuellen Bezugsrahmen (Zentralschweiz, Kantone, Regionen, etc.) und bei Bedarf einen Ausblick auf künftige Stoffflüsse mit einem verhältnismässigen Aufwand.

Im Vordergrund steht dabei die Amtliche Vermessung (AV) mit der Informationsebene Bodenbedeckung bzw. die Verschiebungen von Arten der Bodenbedeckung in einem Zeitraum von rund 5 Jahren. In der Gesamtheit dieser attributiven und/oder geometrischen Verschiebungen (Differenzflächen) werden früher oder später auch die aushubrelevanten Bauvorhaben

«sichtbar». Es gilt diese bestmöglich herauszufiltern, um über den Betrachtungszeitraum die relevanten Flächen bezüglich Bodenabtrag zu erhalten.

Luftbild 2014 | Luftbild 2017 | Veränderung in AV-Bodenbedeckung

Abbildung 2: Anwendungsbeispiel: Identifikation von Veränderungen in AV-Bodenbedeckung. Im Zeitraum zwischen 2014 und 2017 wurde ein neues landw. Gebäude inkl. Umschwung gebaut, die Veränderung der Bodenbedeckung von [Acker, Wiese, Weide] zu [Gebäude] bzw. [übrige befestige Fläche] wird im Vergleich der zwei Zeitstände der amtlichen Vermessung sichtbar
Gemeinde Beromünster, Kanton Luzern (Koordinaten: 2'655'150/1'226'710)
Quelle Luftbilder: geoportal.lu.ch; https://www.geo.lu.ch/map/luftbild (Zugriff: 20.11.2019)

Durch Verschnitte dieser Flächen mit den Geodatensätzen «Nutzungsplanung», «Prüfperimeter Boden» oder «Kataster der belasteten Standorte» können weitere projektspezifische Resultate gewonnen werden.

2.3.2 Mit bodenkundlichen Modellannahmen zu Kubaturen

Um aus den relevanten Flächen bezüglich Bodenabtrag abgetragene Bodenkubaturen zu erhalten, wurden bodenkundlich fundierte Modellannahmen getroffen und soweit möglich mit den Bodenschutzfachstellen abgeglichen. Es sind dies insbesondere Annahmen / Schätzungen bezüglich Bodenmächtigkeiten, Abtragstiefen, Anteile von nicht verwertbarem Bodenmaterial und Verwertungsquoten vor Ort. Die getroffenen Modellannahmen sind im Kap. 3.5 separat erläutert.

2.3.3 Plausibilisierung der Resultate

Die so berechnete Kubatur an Bodenmaterial, welches theoretisch für “Verwertungsprojekte” zur Verfügung steht, wurde mit vorhandenen Stoffflussbetrachtungen (z.B. für Bodenverbesserungen eingesetzte Kubaturen im Jahr X im Kanton Y) verglichen.

Um den Praxisbezug herzustellen, wurden Interviews mit verschiedenen Schlüsselpersonen (insb. Tiefbauunternehmungen, Deponie- und Grubenbetreiber) geführt. Im Vordergrund stand eine Einschätzung der Resultate gemäss vorliegendem Projektbericht und Erfahrungen bezüglich Bodenverwertungsprojekten.

2.4 Ablauf Projektbearbeitung

Die Projektbearbeitung erfolgte in vier Phasen A bis D gemäss Ablaufschema im Anhang A2. Die Meilensteine bzw. Dauer der Projektphasen sind dort tabellarisch zusammengefasst.

3 Vorgehensweise

3.1 Datenaufbereitung und -analyse GIS

3.1.1 Aufbereitung Rohdaten

Die Basis für die GIS-Analysen bildete das Datenmodell MOpublic der amtlichen Vermessung. Es handelt sich dabei um ein vereinfachtes, nationales AV-Datenmodell. Aufbereitet wurde die Informationsebene «Bodenbedeckung» zu zwei verschiedenen Zeitpunkten. Diese Informationsebene war praktisch flächendeckend über den Projektperimeter verfügbar. Es gilt zu berücksichtigen, dass:

- Gewisse Rohdaten im interlis-Format und/oder im Koordinatensystem LV03 vorlagen und entsprechend konvertiert mussten
- Für einzelne Gemeinden[1] die historischen Daten lückenhaft waren (Aufgrund geringer Relevanz für Gesamtresultat aus der Analyse ausgeklammert)
- Sich die Zeitstände der Rohdaten von Kanton zu Kanton unterscheiden (was bei der weiteren Datenverarbeitung entsprechend berücksichtigt werden muss).

Tabelle 3: Zeitstände Rohdaten AV-MOPublic, Bodenbedeckung

Kanton	Zeitstand AV-Rohdaten		Betrachtungszeitraum
	T_0 «historisch»	T_1 «aktuell»	
LU	31.12.2013	31.03.2019	5.2 Jahre
NW	31.12.2013	20.03.2019	5.2 Jahre
OW	31.12.2013	20.03.2019	5.2 Jahre
SZ	23.12.2013	10.03.2019	5.2 Jahre
UR	31.12.2013	29.03.2019	5.2 Jahre
ZG	Dez. 2013	Dez. 2018	5.0 Jahre

3.1.2 Bodenbedeckung: Differenzmodell

Die Informationsebene “Bodenbedeckung” des AV-Datenmodells MOpublic besteht aus 6 Bodenbedeckungsarten mit insgesamt 25 Unterarten (vgl. Anhang A3). Die Zuordnung erfolgt durch die Geometer flächendeckend, d.h. die Summe dieser Teilflächen (Unterarten) entspricht 100% der Kantonsflächen.

Die Veränderung der Bodenbedeckung vom historischen Zeitpunkt T_0 zum aktuellen Zeitpunkt T_1 (vgl. Tabelle 3) ergibt über die gesamte Zentralschweiz eine Differenzfläche von rund 13’000 ha, aufgeteilt in 600 «Verschiebungskategorien». Oder anders ausgedrückt: In den letzten 5 Jahren wechselte rund 3 % der Zentralschweizer Fläche die Art der Bodenbedeckung aufgrund vermessungstechnischer Nachführungen der Geometer.

[1] Gemeinden Freienbach, Einsiedeln, Innerthal, Riemenstalden und Muotathal

3.1.3 Bodenbedeckung: Bodenrelevante Verschiebungskategorien

Im Differenzmodell der gesamten Bodenbedeckung sind viele Verschiebungen auf reine geometrische Nachführungen, Korrekturen, Umbuchen etc. ohne Relevanz für einen Abtrag von Bodenmaterial zurückzuführen.

Mehr als 95% der Nachführungen bodenrelevanter Bautätigkeiten kommen in den zwölf Verschiebungskategorien (von insgesamt 600) gemäss Tabelle 4 zu liegen. Verschiebungen von oder zur Bodenbedeckungsart [*Abbau, Deponie*] wurden bewusst ausgeklammert, weil aus solchen Anlagen heraus in den seltensten Fällen Bodenmaterial an andere Standorte verschoben wird.

3.1.4 Relevante Differenzflächen für Bodenabtrag

Auch in den bodenrelevanten Verschiebungskategorien sind nicht alle Differenzflächen relevant für einen Bodenabtrag (insb. Nachführungen, Umbuchungen rein Vermessungstechnisch). Relevante Bodenabtrags-Tätigkeiten sind zumeist an neue Gebäude geknüpft oder weisen aber dann eine gewisse Mindestfläche auf. Zudem weisen die geometrische Nachführung nach Bautätigkeiten meist mehrere verknüpfte Verschiebungen auf. Basierend darauf wurden für die Feinselektion folgende drei Filter definiert und via GIS-Analyse auf die bodenrelevanten Verschiebungskategorien angewandt:

A. Differenzflächen zu [Gebäude] sind abtragsrelevant, wenn >50 m^2

B. Differenzflächen sind abtragsrelevant, wenn diese direkt an A. (neues Gebäude >50 m^2) grenzen, also «berühren».

C. Weitere Differenzflächen (Vorhaben ohne Hochbau) sind abtragsrelevant, wenn diese eine Mindestfläche von 500 m^2 aufweisen und nicht als Einzelpolygone vorliegen (sondern mit anderen Verschiebungen geometrisch zusammenhängen).

Tabelle 4: Bodenrelevante Verschiebungskategorien mit angewandten Feinselektionsfiltern

Nr.	VON T_0 (historischer Stand)	NACH T_1 (aktueller Stand)	Filter Feinselektion
1	Acker, Wiese, Weide	Gebäude	A
2	Übrige humusierte Flächen	Gebäude	A
3	Gartenanlage	Gebäude	A
4	Acker, Wiese, Weide	Gartenanlage	B, C
5	Acker, Wiese, Weide	Strasse, Weg	B, C
6	Acker, Wiese, Weide	Übrige befestigte Flächen	B, C
7	Acker, Wiese, Weide	Übrige humusierte Flächen	B, C
8	Übrige humusierte Flächen	Gartenanlage	B, C
9	Übrige humusierte Flächen	Strasse, Weg	B, C
10	Übrige humusierte Flächen	Übrige befestigte Flächen	B, C
11	Gartenanlage	Strasse, Weg	B, C
12	Gartenanlage	Übrige befestigte Flächen	B, C

3.2 Geografische Einzugsgebiete / Ausschlussgebiete

Bodenmaterial welches bei Tiefbautätigkeiten in abgelegenen bzw. schwer erreichbaren Gegenden oder in weitgehend geschlossenen/unabhängigen geografischen Räumen anfällt, steht oft nicht mit verhältnismässigem Aufwand für Wiederverwertungsprojekte zur Verfügung. In Absprache mit den Bodenschutzfachstellen wurden für die Kantone NW, OW und UR geografische Ausschlussgebiete definiert, also Bereiche, aus denen das anfallenden Bodenmaterial nicht bilanziert werden soll (vgl. Kartendarstellungen im Anhang A6). Die komplementären Flächen zu den Ausschlussgebieten sind dementsprechend Einzugsgebiete für Bodenmaterial, welches für Wiederverwertungsprojekte zur Verfügung steht und somit bilanziert wird.

3.3 Korrektur Einzelfälle

Nach der durchgeführten Datenprozessierung erfolgte der manuelle Ausschluss von Differenzflächen auf Golfplätzen, Parkanlagen, Familiengartenarealen und teilweise auf Sportanlagen. Diese Flächen tauchen zwar in geringer Anzahl auf, weisen aber eine grosse Ausdehnung auf und führen aber in den seltensten Fällen zu relevanten Bodenverschiebungen aus dem Bauperimeter hinaus (bzw. sind teilweise auf rein geometrische Nachführungen zurückzuführen).

3.4 Datenverschnitte GIS

3.4.1 Nutzungsplanung

Die relevanten Differenzflächen bezüglich Bodenabtrag wurden mit den vier Grundnutzungen des minimalen Geodatenmodell des ARE für Nutzungsplanung (Geobasisdatensatz Nr. 73) verschnitten. Für die Berichterstattung wurden die Grundnutzungen Nr. 2 bis 4 als “ausserhalb Bauzonen” zusammengefasst.

Tabelle 5: Umgang mit den Grundnutzungen gemäss Nutzungsplanung

Geobasisdatensatz		**Berichterstattung KABO**	
Nr.	**Grundnutzungen**	**Nr.**	**Grundnutzungen**
1	Bauzonen	1	Bauzonen
2	Landwirtschaftszonen	2	Ausserhalb Bauzonen
3	Schutzzonen ausserhalb Bauzonen		
4	Weitere Zonen ausserhalb Bauzonen		

3.4.2 Verdachtsflächen Bodenbelastungen

Die relevanten Differenzflächen bezüglich Bodenabtrag wurden weiter mit Datensätzen bezüglich “Verdachtsflächen Bodenbelastungen” verschnitten. Dies waren die Kataster der belasteten Standorte KbS und Prüfperimeter Boden PBV (für LU, UR und ZG).

Welcher Anteil dieser Schnittmengen aufgrund chemischer Bodenbelastungen / Fremdstoffen nicht zur Verwertung geeignet ist, wird bei den Modellannahmen im Kap. 3.5.3 definiert.

3.5 Modellannahmen

3.5.1 Bodenmächtigkeiten

Flächendeckende, einheitliche Geodatensätze bezüglich «Bodenmächtigkeiten» sind in den Zentralschweizer Kantonen nicht vorhanden. Es wurden pro Kanton durchschnittliche Mächtigkeiten der vorhandenen Ober- und Unterbodenhorizonten definiert und mit den Bodenschutzfachstellen validiert.

Durchschnittliche Bodenmächtigkeiten für LU, SZ, ZG (OB/UB gesetzt): **0.2 m / 0.5 m**

Durchschnittliche Bodenmächtigkeiten für NW, OW, UR (OB/UB gesetzt): **0.2 m / 0.4 m**

3.5.2 Abtragstiefe Bodenmaterial

Nicht immer wird bei aushubrelevanten Bauvorhaben in der Tiefe sämtliches Bodenmaterial abgetragen. So kann es sein, dass z.B. vor dem Neubau eines Parkplatzes oder eines Laufstalls zwar 100% des Oberbodens aber nur 80% oder gar nur 50% des Unterbodens abgetragen werden. Das belassene Bodenmaterial verbleibt unter dem «Bauwerk» und steht für Boden-Wiederverwertungsprojekte nicht mehr zur Verfügung.

Die prozentualen Anteile des abgetragenen Bodens wurden unter Berücksichtigung der Bodenbedeckungs-Verschiebungskategorie und separiert nach Bauzone / Landwirtschaftszone definiert bzw. abgeschätzt. Die Beispiele im Anhang A4 sollen diesen Prozess exemplarisch erläutern. Es wurden jedoch für alle Kantone die gleichen Prozentsätze bzw. Abtragstiefen angewandt (vgl. Anhang A7).

3.5.3 Nicht der Verwertungspflicht unterstehendes Bodenmaterial

Aufgrund chemischer Bodenbelastungen und / oder Fremdstoffanteilen nicht mehr der Verwertungspflicht unterstehendes Bodenmaterial wurde basierend auf der Tabelle 6 in Abzug gebracht. Der Anteil der Flächen mit Belastungsverdacht (KbS und PBV) an den relevanten Flächen bezüglich Bodenabtrag, ergibt sich durch den Verschnitt der beiden Datensätze via GIS-Analyse. Die Modellannahmen zu den nicht verwertbaren Anteilen von Ober- und Unterboden wurden in Absprache mit den Bodenschutzstellen validiert.

Tabelle 6: Modellannahmen bez. chemischer Bodenbelastungen / Fremdstoffanteilen

	Kataster der bel. Standorte (KbS)				**Prüfperimeter Boden (PBV)**			
	Flächenanteil[1)]		**Anteil OB nicht verwertbar**	**Anteil UB nicht verwertbar**	**Flächenanteil[1)]**		**Anteil OB nicht verwertbar**	**Anteil UB nicht verwertbar**
Kt.	**Bauzone**	**Ausserh. Bauzone**						
LU	1.2 %	0.6 %	50 %	50 %	7.1 %	1.4 %	20 %	10 %
NW	1.3 %	0.1 %			10.0 %	2.5 %		
OW	1.4 %	0.3 %			10.0 %	2.5 %		
SZ	1.1 %	0.0 %			10.0 %	2.5 %		
UR	0.1 %	0.0 %			34.3 %	6.1 %		
ZG	0.7 %	0.2 %			13.9 %	3.1 %		

1)	Anteil der Flächen mit Belastungsverdacht (KbS oder PBV) an den relevanten Flächen bezüglich Bodenabtrag aus GIS-Analyse.
%	Durchschnittlicher Ansatz abgeschätzt (ohne Berücksichtigung UR, da dort grossflächige Verdachtsflächen FvBB im Talboden).

Aufgrund physikalischer Eigenschaften nicht mehr der Verwertungspflicht unterstehendes Bodenmaterial wurde basierend auf Tabelle 7 in Abzug gebracht (einheitlich für ganze Zentralschweiz). Abzüge basierend auf biologischen Bodenbelastungen, wurden in der vorliegenden Untersuchung vernachlässigt. Die Modellannahmen wurden in Absprache mit den Bodenschutzfachstellen validiert.

Tabelle 7: Modellannahmen bez. physikalischen Bodeneigenschaften und biologischer Belastungen

	Abzug aufgrund physikalischer Bodeneigenschaften		**Abzug aufgrund biologischer Bodenbelastungen**	
	OB	**UB**	**OB**	**UB**
ZCH	0 %	30 %	0 %	0 %

3.5.4 Verwertung vor Ort

Das nach dem Bodenabtrag vor Ort im Bauperimeter verwertete Material wurde anhand der Modellannahmen in Tabelle 8 quantifiziert. Neben den Abschätzungen im Projektteam und der Validierung am Workshop mit den Bodenschutzfachstellen sind hier insbesondere auch Erkenntnisse aus den Unternehmer-Interviews (vgl. Kap. 5.2) eingeflossen.

Tabelle 8: Modellannahmen bez. Verwertung vor Ort

	Bauzonen		**Ausserhalb Bauzonen**	
	OB	**UB**	**OB**	**UB**
ZCH	20 %	10 %	70 %	50 %

4 Resultate

4.1 Relevante Flächen bezüglich Bodenabtrag

Die aus den GIS Analysen ermittelten relevanten Flächen bezüglich Bodenabtrag sind in Tabelle 9 ersichtlich. Im Anhang A5 sind einige stichprobenartig gewählte Flächen dargestellt und erläutert. Der Überblick über diese Flächen kann den Kartendarstellungen im Anhang A6 entnommen werden.

In der Zentralschweiz sind somit pro Jahr in den definierten Einzugsgebieten (vgl. Kap. 3.2) rund 160 ha durch bodenrelevante Bautätigkeiten betroffen. Rund ¾ dieser Flächen liegen in Bauzonen.

Tabelle 9: Relevante Flächen bezüglich Bodenabtrag in ha/a

[ha/a]	Innerhalb Bauzone	Ausserhalb Bauzone	Summe
LU	71.6	19.4	91.0
NW	5.8	1.4	7.2
OW	8.0	2.5	10.5
SZ	24.3	8.6	32.9
UR	4.7	0.9	5.6
ZG	12.6	4.8	17.4
Zentralschweiz	**127.0**	**37.6**	**164.6**

4.2 Abgetragenes Bodenmaterial

Unter Berücksichtigung der Modellannahmen zu den Bodenmächtigkeiten (vgl. Kap. 3.5.1) und zu den Abtragstiefen (vgl. Kap. 3.5.2) ergeben sich die Bodenkubaturen gemäss Tabelle 10 und Tabelle 11. Dabei handelt es sich um das gesamte, abgetragene Bodenmaterial in den definierten Einzugsgebieten inkl. den nicht der Verwertungspflicht unterstehenden Fraktionen und dem in der Folge vor Ort verwertetem Anteil (Stoffffluss-Kategorie B).

In der Zentralschweiz werden somit pro Jahr knapp 800'000 m³ (fest) an Bodenmaterial abgetragen, welches sich aus rund 40 % Oberbodenmaterial und 60 % Unterbodenmaterial zusammensetzt. 80 % der Abtragsarbeiten finden innerhalb der Bauzone statt.

Tabelle 10: Abgetragenes Bodenmaterial total, Zentralschweiz

Zentralschweiz	Innerhalb Bauzone		Ausserhalb Bauzone		Total	
	[m3 fest/a]	[%]	[m3 fest/a]	[%]	[m3 fest/a]	[%]
Oberboden	240'000	38%	71'000	45%	**311'000**	**39%**
Unterboden	395'000	62%	86'000	55%	**481'000**	**61%**
Summe	**635'000**	**100%**	**157'000**	**100%**	**792'000**	**100%**

Tabelle 11: Abgetragenes Bodenmaterial total, absolut pro Kanton

[m3 fest/a]	Innerhalb Bauzone		Ausserhalb Bauzone		Summe
	OB	UB	OB	UB	
LU	136'000	233'000	36'000	45'000	450'000
NW	10'000	14'000	3'000	3'000	30'000
OW	16'000	19'000	5'000	5'000	45'000
SZ	45'000	75'000	16'000	19'000	155'000
UR	9'000	13'000	2'000	2'000	26'000
ZG	24'000	41'000	9'000	12'000	86'000
Zentralschweiz	**240'000**	**395'000**	**71'000**	**86'000**	**792'000**

4.3 Abgetragenes, verwertbares Bodenmaterial

Unter Berücksichtigung der Modellannahmen bezüglich nicht der Verwertungspflicht unterstehendes Bodenmaterial (vgl. 3.5.3), ergeben sich die Bodenkubaturen gemäss Tabelle 12 und Tabelle 13. Dabei handelt es sich um das abgetragene Bodenmaterial in den definierten Einzugsgebieten, welches der Verwertungspflicht untersteht (Stoffffluss-Kategorie B1+C).

In der Zentralschweiz fallen pro Jahr rund 635'000 m³ (fest) an verwertbarem Bodenmaterial an, welches sich ungefähr aus den gleichen Anteilen Oberboden/Unterboden zusammensetzt. 80 % des Materials fällt innerhalb der Bauzone an. Somit unterstehen aufgrund chemischer Bodenbelastungen, Fremdstoffen oder physikalischer Eigenschaften rund 2 % des abgetragenen Oberbodens und rund 30 % des abgetragenen Unterbodens nicht mehr der Verwertungspflicht.

Tabelle 12: Abgetragenes, verwertbares Bodenmaterial, Zentralschweiz

Zentralschweiz	Innerhalb Bauzone		Ausserhalb Bauzone		Total	
	[m3 fest/a]	[%]	[m3 fest/a]	[%]	[m3 fest/a]	[%]
Oberboden	235'000	37%	71'000	11%	**306'000**	**48%**
Unterboden	269'000	42%	60'000	9%	**329'000**	**52%**
Summe	**504'000**	**79%**	**131'000**	**21%**	**635'000**	**100%**

Tabelle 13: Abgetragenes, verwertbares Bodenmaterial, absolut pro Kanton

[m3 fest/a]	Innerhalb Bauzone		Ausserhalb Bauzone		Summe
	OB	UB	OB	UB	
LU	133'000	160'000	36'000	31'000	360'000
NW	10'000	9'000	3'000	2'000	24'000
OW	15'000	13'000	5'000	3'000	36'000
SZ	44'000	51'000	16'000	13'000	124'000
UR	9'000	8'000	2'000	2'000	21'000
ZG	24'000	28'000	9'000	9'000	70'000
Zentralschweiz	**235'000**	**269'000**	**71'000**	**60'000**	**635'000**

4.4 Bodenverschiebungen für Verwertungsprojekte verfügbar

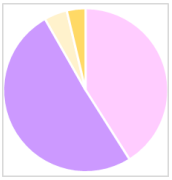
4.4.1 Verwertungspotential Zentralschweiz

Nach Abzug des vor Ort im Bauperimeter verwerteten Bodenmaterials (vgl. Modellannahmen im Kap. 3.5.4), ergeben sich die abgetragenen und verschobenen Bodenkubaturen. Dies entspricht den in den definierten Einzugsgebieten für Verwertungsprojekte zur Verfügung stehenden Kubaturen an Bodenmaterial (Stoffffluss-Kategorie C).

Gemäss den durchgeführten Untersuchungen stehen somit in der Zentralschweiz pro Jahr rund 450'000 m³ (fest) an Bodenmaterial für Verwertungsoptionen zur Verfügung (vgl. Tabelle 14). Dabei stammt rund 90 % des Bodenmaterials aus Tiefbautätigkeiten innerhalb der Bauzone. Gegenüber dem Oberbodenmaterial (46 %) fällt nur unwesentlich mehr an Unterbodenmaterial an (54%).

Tabelle 14: Boden-Verwertungspotential über die Zentralschweiz

Zentral-schweiz	Innerhalb Bauzone		Ausserhalb Bauzone		Total		pro Einw.
	[m3 fest/a]	[%]	[m3 fest/a]	[%]	[m3 fest/a]	[%]	[m3 fest/a]
Oberboden	186'600	41%	20'500	5%	207'100	46%	0.26
Unterboden	230'600	51%	16'800	4%	247'400	54%	0.31
Summe	417'200	92%	37'300	8%	454'500	100%	0.57



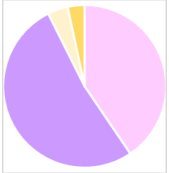
Ähnlich wie bei den Aushubmaterial- und Kiesabbaustoffflussbetrachtungen, wird auch vorliegend der relative Bezug «pro Kopf» aufgezeigt (Diskussion in Kap. 5.1.4): In der Zentralschweiz lebten in der Mitte des Untersuchungszeitraums rund 790'500 Personen (mittlere Wohnbevölkerung per Januar 2016, BfS). Pro Kopf standen also pro Jahr rund 0.57 m³ (fest) an Bodenmaterial für Verwertungsprojekte zur Verfügung.

4.4.2 Verwertungspotential Kantone

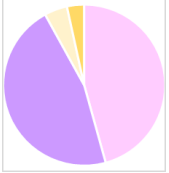
Die in den einzelnen Kantonen für Verwertungsprojekte zur Verfügung stehenden Bodenkubaturen (Stoffffluss-Kategorie C), werden in Tabelle 15 aufgezeigt. Die Verteilung bewegt sich in einem engen Schwankungsbereich. So stammen über die einzelnen Kantone gesehen 89-94% des Bodenmaterials aus Tiefbautätigkeiten innerhalb der Bauzone. Gegenüber dem Oberbodenmaterial (45-53%) fällt nur unwesentlich mehr an Unterbodenmaterial an (47-55%). Die Pro-Kopf-Betrachtungen für die einzelnen Kantone ergeben Werte zwischen 0.39 und 0.69 m³ (fest) pro Einwohner und Jahr an Bodenmaterial, welches für Verwertungsprojekt zur Verfügung steht.

Tabelle 15: Boden-Verwertungspotential für die einzelnen Kantone

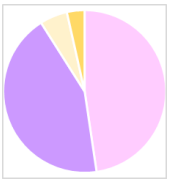
Luzern	Innerhalb Bauzone		Ausserhalb Bauzone		Total		pro Einw.
	[m3 fest/a]	[%]	[m3 fest/a]	[%]	[m3 fest/a]	[%]	[m3 fest/a]
Oberboden	106'100	41%	10'500	4%	116'600	45%	0.29
Unterboden	136'400	52%	8'800	3%	145'200	55%	0.36
Summe	242'500	93%	19'300	7%	261'800	100%	0.66



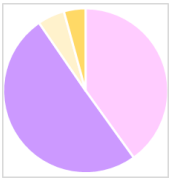
Nidwalden	Innerhalb Bauzone		Ausserhalb Bauzone		Total		pro Einw.
	[m3 fest/a]	[%]	[m3 fest/a]	[%]	[m3 fest/a]	[%]	[m3 fest/a]
Oberboden	8'000	46%	800	5%	8'800	50%	0.21
Unterboden	8'100	46%	600	3%	8'700	50%	0.21
Summe	16'100	92%	1'400	8%	17'500	100%	0.41



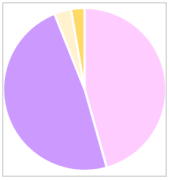
Obwalden	Innerhalb Bauzone		Ausserhalb Bauzone		Total		pro Einw.
	[m3 fest/a]	[%]	[m3 fest/a]	[%]	[m3 fest/a]	[%]	[m3 fest/a]
Oberboden	12'200	48%	1'400	5%	13'600	53%	0.37
Unterboden	11'100	43%	900	4%	12'000	47%	0.32
Summe	23'300	91%	2'300	9%	25'600	100%	0.69



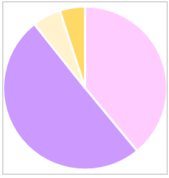
Schwyz	Innerhalb Bauzone		Ausserhalb Bauzone		Total		pro Einw.
	[m3 fest/a]	[%]	[m3 fest/a]	[%]	[m3 fest/a]	[%]	[m3 fest/a]
Oberboden	34'800	40%	4'600	5%	39'400	45%	0.26
Unterboden	43'700	50%	3'700	4%	47'400	55%	0.31
Summe	78'500	90%	8'300	10%	86'800	100%	0.56



Uri	Innerhalb Bauzone		Ausserhalb Bauzone		Total		pro Einw.
	[m3 fest/a]	[%]	[m3 fest/a]	[%]	[m3 fest/a]	[%]	[m3 fest/a]
Oberboden	6'800	46%	500	3%	7'300	49%	0.20
Unterboden	7'200	48%	400	3%	7'600	51%	0.21
Summe	14'000	94%	900	6%	14'900	100%	0.41



Zug	Innerhalb Bauzone		Ausserhalb Bauzone		Total		pro Einw.
	[m3 fest/a]	[%]	[m3 fest/a]	[%]	[m3 fest/a]	[%]	[m3 fest/a]
Oberboden	18'700	39%	2'700	6%	21'400	45%	0.18
Unterboden	24'100	50%	2'400	5%	26'500	55%	0.22
Summe	42'800	89%	5'100	11%	47'900	100%	0.39



4.5 Tatsächlich verwertete Bodenmaterial-Kubaturen

Für den Kanton Luzern wurden die bekannten Bodenmaterial-Verwertungen über den Untersuchungszeitraum detailliert zusammengetragen. Nicht für alle Projekte sind Zahlen vorhanden, jedoch lassen die Resultate eine erste Einschätzung zu. Dokumentiert sind pro Jahr rund 10'000 m^3 (fest) an Oberboden und rund 50'000 m^3 (fest) an Unterboden, welche direkt zu Bodenverbesserungen oder Deponierekultivierungen verschoben und dort verwertet worden sind. Das entspricht nur rund 10 % (Oberboden) bzw. 35 % (Unterboden) des berechneten Verwertungspotentials gemäss Kap. 4.4. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass die tatsächlich im bodenkundlichen Sinne verwerteten Kubaturen höher lagen (insbesondere kleinere «Oberboden-Verwertungsaktionen» ausserhalb der Bauzone).

Bezüglich der Ablagerung von Oberbodenmaterial liegen keine Erhebungen vor. Basierend auf unseren Erfahrungen kann jedoch festgehalten werden, dass Oberbodenmaterial in wenigen Fällen abgelagert werden muss (Überschuss, keine Verwertungsmöglichkeiten, unsachgemässe Behandlung). Die Unternehmer-Interviews (vgl. Kap. 5.2) bestätigen diesen Sachverhalt. Der Anteil am Oberbodenpotential welcher abgelagert wird, schätzen wir somit auf rund 10 %.

Bezüglich der Ablagerung von Unterbodenmaterial liegen ebenfalls keine Erhebungen vor. Sämtliche durchgeführten Unternehmer-Interviews bestätigen jedoch die Vermutung, dass das Unterbodenmaterial bei kleineren bis mittleren Baustellen durch die Baumeister nicht als solches erkannt wird und in der Folge als «Untergrundmaterial» in Gruben oder auf Deponien abgelagert wird. Der Anteil am Unterbodenpotential welcher abgelagert wird, schätzen wir somit auf rund 50%.

4.6 Stoffffluss Bodenmaterial Zentralschweiz

Basierend auf den Resultaten und den zugehörigen Abschätzungen präsentiert sich das im Kap. 2.1 definierte Stoffflussmodell für den Zeitraumgemäss 2014 bis 2018 gemäss Abbildung 3 (in m³ fest pro Jahr, aufgeteilt in Ober- und Unterboden).

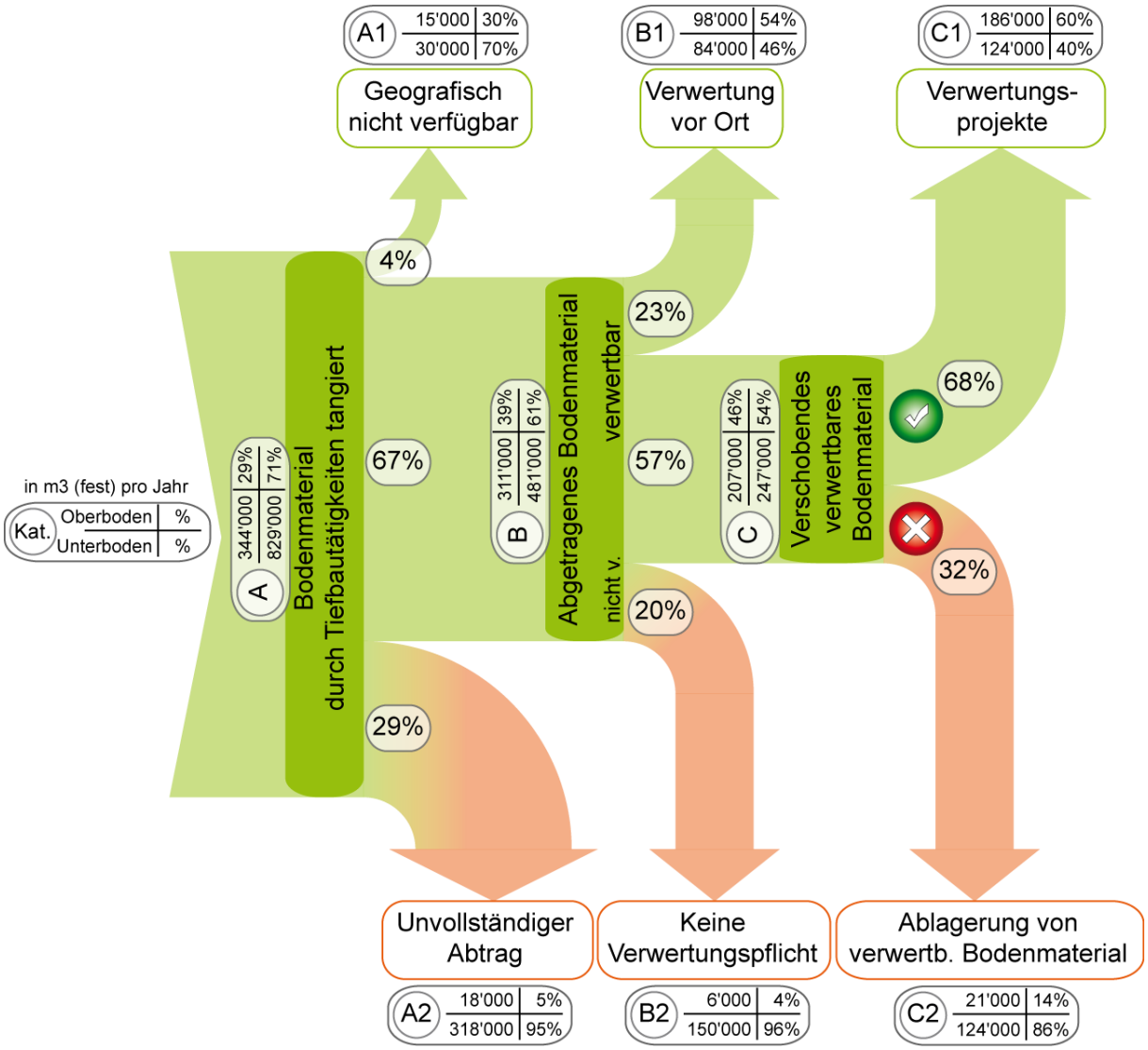


Abbildung 3: Bodenmaterial-Stoffflussmodell für die Zentralschweiz (in m³ fest pro Jahr), Zeitraum 2014-2018

4.7 Beurteilung der Repräsentativität

4.7.1 Repräsentativität der Resultate bezüglich Flächen (GIS-Analysen)

Bei den GIS-Analysen können im Rahmen der Prozessierung folgende Schritte zu Fehlerquellen führen:

- Durch die getroffenen Annahmen werden bodenrelevante Flächen ausgeschlossen. Andererseits können durch die getroffenen Annahmen auch nicht bodenrelevante Flächen in der Bilanz verbleiben.

- Zwischen den Tiefbauarbeiten (Bodenabtrag vor Ort) und der Nachführung durch den Geometer liegt der Zeitpunkt T_0, d.h. die Differenzflächen sind sichtbar – der Bodenabtrag erfolgte aber vor dem Betrachtungszeitraum von 5 Jahren.
- Zwischen den Tiefbauarbeiten (Bodenabtrag vor Ort) und der Nachführung durch den Geometer liegt der Zeitpunkt T_1, d.h. die Differenzflächen sind nicht sichtbar – der Bodenabtrag erfolgte aber innerhalb des relevanten Betrachtungszeitraum von 5 Jahren.

Der resultierende Fehler bezüglich der bodenabtrags-relevanten Flächen wird auch basierend auf der visuellen Sichtung des Differenzlayer auf weniger als ±10 % geschätzt. Die Resultate sind somit glaubwürdig, objektiv und können für einen beliebigen Zeitraum und über beliebige geografische Räume in der Zentralschweiz wiederholt werden.

4.7.2 Repräsentativität der Resultate bezüglich Kubaturen (Modellannahmen)

Die getroffenen Modellannahmen wurden in Absprache mit den Bodenschutzfachstellen validiert und basierend auf Interviews mit Schlüsselpersonen plausibilisiert. Dennoch mussten vereinfachte Annahmen und grobe Abschätzungen getätigt werden. Der resultierende Fehler muss daher auf ±20 % gesetzt werden.

Dennoch können die Resultate als glaubwürdig eingestuft werden und stellen gemäss unserer Einschätzung zurzeit die bestmögliche Datengrundlage für Betrachtungen des Boden-Stoffflusses in der Zentralschweiz dar. Mit den Resultaten können die Fragestellungen der themenspezifischen Untersuchung «KABO-Bodenverwertung» zufriedenstellend beantwortet werden.

5 Interpretation der Resultate

5.1 Diskussion

5.1.1 Verteilung Oberboden / Unterboden

Auf den tiefbaurelevanten Flächen liegt gemäss Modellannahmen gegenüber dem Oberboden eine rund 2.5-fach grössere Menge an Unterboden. Es mag somit erstaunen, dass beim resultierenden Verwertungspotential sich Ober- und Unterboden ungefähr die Waage halten (46% OB zu 54 % UB). Diese “Abreicherung” von Unterbodenmaterial im Stoffflussmodell ist primär auf folgende Gründe zurückzuführen:

- **Unvollständer Bodenabtrag (Stoffflusskat. A2)**
  Insbesondere bei flächigen Tiefbauprojekten, Infrastrukturprojekten und Geländegestaltungen findet oft nur ein teilweiser Bodenabtrag statt. Vor Ort belassen wird praktisch nur Unterboden, welcher in der Folge nicht mehr für Verwertungsprojekte zur Verfügung steht. Bauprojekte mit Materialersatz (Unterboden durch C-Material ersetzen) sind zurzeit noch absolute Einzelfälle.
- **Nicht der Verwertungspflicht unterstehendes Bodenmaterial (Kat. B2).**
  Aufgrund grossflächiger, schwerer / tonreicher Böden in der Zentralschweiz scheidet insbesondere Unterbodenmaterial aus dem Stoffffluss aus (aufgrund physikalischer Eigenschaften nicht mehr der Verwertungspflicht unterstehendes Bodenmaterial).

Verschärft wird dieses Verhältnis durch die überproportionale Unterboden-Nachfrage für Bodenverbesserungen und teilweise auch für Rekultivierungsprojekte (Deponien, Gruben). Der Oberboden ist bei solchen Projekten meist schon nahezu vollständig vor Ort vorhanden. Es scheint somit klar, dass der limitierende Faktor bezüglich künftiger Bodenverwertungs-Massnahmen der Unterboden darstellen wird.

5.1.2 Herkunft des Bodenmaterials

Obwohl rund ¼ der relevanten Flächen bezüglich Bodenabtrag ausserhalb der Bauzonen zu liegen kommt, resultieren daraus nur 10 % des Potentials an verwertbarem Bodenmaterial. Dies ist in erster Linie auf die erhöhte Verwertung vor Ort bei landwirtschaftlichen Bauprojekten zurückzuführen. Gegenläufig zeigt die Entwicklung innerhalb der Bauzone, dass dort immer weniger Bodenmaterial vor Ort zurückbehalten wird (vgl. auch Kap. 5.2).

5.1.3 Belastete Fraktionen

Der Anteil der durch chemische Stoffe oder Fremdstoffe belasteten Bodenfraktion fällt in der Zentralschweiz mit dem Verschnitt KbS / PBV und den getroffenen Modellannahmen dazu erstaunlich gering aus: Nur rund 2 % des abgetragenen Bodenmaterials unterstehen als “belastete Fraktion” nicht mehr der Verwertungspflicht.

Einerseits ist auf KbS-Arealen meistens kein Bodenmaterial mehr vorhanden. Tabelle 6 (auf Seite 15) zeigt, dass selbst in der Bauzone nur 1% der relevanten Flächen bezüglich Bodenabtrag mit den Flächen mit Belastungsverdacht (KbS oder PBV) überschneiden. Andererseits ist im PBV-Perimeter nur von einem geringen Anteil an effektiv belastetem Material auszugehen (insb. beim Unterbodenmaterial).

5.1.4 Vergleich mit ausgehobenem Aushubmaterial

In den Zentralschweizer Kantonen fallen pro Kopf und Jahr zwischen 3.0 und 5.5 m^3 (fest) an Aushub- und Ausbruchmaterial an [2]. Die vorliegende Untersuchung kommt auf 1.0 m^3 (fest) an abgetragenem Bodenmaterial total (Stoffffluss-Kategorie B) bzw. auf rund 0.57 m^3 (fest) an verwertbarem, verschobenem Bodenmaterial (vgl. Kap. 4.4.1, Stoffffluss-Kategorie C)

Daraus lässt sich schliessen, dass bei tiefbaurelevanten Tätigkeiten in der Zentralschweiz rund 15-25 % abgetragenes Bodenmaterial und dementsprechend 75-85% ausgehobenes Aushub- und Ausbruchmaterial anfallen. Wir schätzen dieses Verhältnis als plausibel ein.

5.1.5 Vergleich mit ähnlichen Studien

Der Bericht “Bodenaushub und -verschiebung im Kanton Zürich, 2006-2015” [1] stellt eine Studie mit gut vergleichbaren Zielsetzungen dar. Tabelle 16 vergleicht die relevanten Stoffffluss-Kategorien der beiden Studien auf pro Kopf-Basis.

Die Resultate der beiden Studien stimmen recht gut überein. In der Zentralschweiz fällt pro Kopf weniger verschobenes, verwertbares Bodenmaterial an als im Kanton Zürich (Stoffffluss-Kategorie C). Hauptsächlich lässt sich das wie folgt erklären: In der Zentralschweiz fällt der ausscheidende Stoffffluss B2 aufgrund der Modellannahmen zu den physikalischen Bodeneigenschaften (nicht mehr der Verwertungspflicht unterstehendes Bodenmaterial) deutlich grösser aus.

Tabelle 16: Vergleich der relevanten Stoffffluss-Kategorien mit Studie Kt. ZH

Stoffffluss-Kategorie	Kt. ZH (2006-2015)		ZCH (2014-2018)	
	m3 (fest)/a	Pro Kopf[2]	m3 (fest)/a	Pro Kopf
B	1'612’000	1.07	792’000	1.00
C	1’054’000[3]	0.70	450’000	0.57

[2] Mittlere Wohnbevölkerung Kt. Zürich im Beobachtungszeitraum ca. 1'500'000 Einwohner
[3] Unbelastete Bodenverschiebungen gemäss Anhang 1 in [1]

5.2 Plausibilisierung

Zur Plausibilisierung der Resultate und auch um den Praxisbezug herzustellen, wurden mit verschiedenen Schlüsselpersonen Interviews (teilweise telefonisch) geführt. Die Fragestellungen mit den jeweiligen, anonymisierten Antworten sind im Anhang A8 ersichtlich.

Übergeordnet kann festgehalten werden, dass die Aussagen und Einschätzungen gut übereinstimmen. Es muss aber berücksichtigt werden, dass z.B. Deponie- und Grubenbetreiber andere bodenrelevante Interessen verfolgen als z.B. reine Tiefbauunternehmungen (ev. sogar noch mit Bodenverbesserungsprojekten). Regional können sich sogar Rekultivierungen bestehender Anlagen mit Bodenverbesserungsprojekten konkurrenzieren.

Die für die vorliegende Untersuchung relevanten Aussagen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Oberboden (OB) ist über das ganze Jahr gesehen bisher im Überschuss vorhanden. Der Umgang mit dem OB ist etabliert und das Material ist auf dem Markt handelbar bzw. verfügbar. In der Offertphase für Tiefbauprojekte ist eine Oberboden-Position standartmässig vorhanden.
2. Sämtliche Schlüsselpersonen teilen die Erkenntnis, dass basierend auf der Tiefbautätigkeit deutlich mehr Unterboden-Material (UB) auf dem Markt vorhanden sein sollte, als bekannt ist. In erster Linie begründet wird dies, dass insbesondere bei kleineren bis mittelgrossen Baustellen oft gar nicht erkannt wird, dass zwischen «Abhumusieren» und «Aushubarbeiten» noch UB als Rohstoff vorhanden ist (d.h. es wird nicht getrennt ausgehoben). Oft hat dies schlichtweg mit Wissen oder Ausbildung der Tiefbauverantwortlichen zu tun. Teilweise fehlt aber auch die ökonomische Motivation für einen getrennten Abtrag bzw. separatem Handling. Hier müsste bezüglich Bodenverbesserungen, Rekultivierungen etc. mehr laufen, um das Interesse an einem korrektem Bodenabtrag zu steigern.
3. Bauherrenseitig ist es nicht oft bekannt, dass guter UB ein wertvolles Produkt für sich ist, weshalb dieser als Deponiegut gerechnet und behandelt wird. Das hat aber andererseits oft den Vorteil, dass UB sozusagen im Nachhinein vom Transportunternehmer/Deponiebetreiber separiert und widerverwertet wird und somit die Verwertungskosten durch die bezahlte Deponiegebühr (mindestens teilweise) getragen werden.
4. Unternehmerseitig werden in der Offertphase soweit möglich keine «vergünstigten» Angebote bezüglich UB-Entsorgung gemacht (aber teilweise «gedanklich» im Gesamtangebot berücksichtigt). Das Risiko nachteiliger Rahmenbedingungen beim Bodenabtrag (fixer Baustart-Termin, Jahreszeit, Witterung), wird gross oder zumindest als schwer kalkulierbar eingestuft. Wie das Bodenmaterial konkret entsorgt werden kann, wird oft sehr kurzfristig bzw. parallel zum Abtrag entschieden. Wenn zu diesem Zeitpunkt keine zumutbaren Verwertungsmöglichkeiten vorhanden sind, wird abgelagert. Die bauseitige Zwischenlagerung, auch von qualitativ hochwertigem Bodenmaterial, rechnet sich heute (noch) nicht.
5. Bei grossen Baustellen beginnt sich jedoch (korrekterweise) bereits in der Offertphase eine Unterscheidung von OB-UB-Untergrundmaterial (C-Material) zu etablieren. UB wird etwas günstiger „entsorgt“, „abgeholt“ mit dem grossen Nachteil, dass z. Bsp. für eine Bodenverbesserung das volle Deponie-Geld des Bauherrn fehlt, resp. anders beschafft werden muss (z. Bsp. durch den Einbau von gutem C-Material als Sickerschicht).
6. Bodenmaterial kann ab Baustelle zu vergünstigten Konditionen abgeführt werden,

wenn ein Unternehmer einen dringenden Bedarf an Bodenmaterial hat (z.B. für anstehende Rekultivierungsetappen auf Deponien). Es zeigt sich aber, dass laufende Bodenverbesserungsprojekte nur selten dazu führen, dass Bodenmaterial zu vergünstigen Konditionen ab Bauperimeter abgeführt wird. Das in der Bodenverbesserung verwertete Material soll am Abtragsort ebenfalls «Deponieeinnahmen» (Abgaben des Bauherrn) generieren, damit wirtschaftliche Projekte realisiert werden können.

7. Die Rolle der BBB als kurzfristige Beratung parallel zum Bodenabtrag wird begrüsst (direkte Begehung, fachlicher Austausch). Hingegen gab es mehrfach kritische Äusserungen bezüglich teurem, nicht verständlichem und praxisfernem Gutachtertum.

8. Zur Thematik «Baustart Bodenabtrag» lässt sich festhalten, dass bodenkundliche Argumente leider selten zu einer Verschiebung des Bauprogramms führen (Bauherr bzw. Geldgeber gibt den Terminplan fix vor). Die Gründe, den Baustart aufgrund schlechter Witterung zu verschieben sind:
   a) BBB sagt aufgrund Bodenkundlicher Argumente «nein» und kann seit Veto auch durchsetzen;
   b) der Empfänger auf der Bodenverbesserung sagt «nein», weil er nur trockenes Material will;
   c) der Unternehmer will den Nasszuschlag auf der Deponie vermeiden.
   Positiv zu werten ist, dass bei vereinzelten Tiefbauvorhaben mit einer Verknüpfung zu bewilligten Bodenverbesserungsprojekten, bereits ein Jahr vor Baubeginn bei idealen Bedingungen der A- und B-Boden abgetragen und verwertet wurde (Baustart wurde extra vorgezogen).

9. Die Verwertung von OB vor Ort (im Bauperimeter) ist auch bei vorhandenem Zwischenlagerplatz abnehmend. Die Gartenbauer brauchen einen geringer werdenden Anteil des OB für die Umgebungsgestaltung (extensive, magere Gestaltungen, Steingärten etc.). UB vor Ort qualifiziert verwerten ist eine absolute Ausnahme. Die bevorzugte Verwendung von UB für Hinterfüllungen ist aber plausibel, sobald tonreiches, also für Hinterfüllungen ungeeignetes, C-Material ansteht. Oft wird die Baustelle vollständig von UB und C-Material geräumt und erst am Schluss wird wieder entsprechendes Material für Hinterfüllungen und Terraingestaltungen zugeführt (dann meist nur noch C-Material).

10. Die Zwischenlagerung von gutem UB rechnet sich ausschliesslich auf laufenden Bodenverbesserungsprojekten bzw. Rekultivierungen. Bei ungünstigen Witterungsverhältnissen oder gar Jahreszeiten macht es Sinn das Material dort an Depots zu nehmen und bei idealen Verhältnissen ohne grossen Zwischentransport fachgerecht einzubauen.

11. Dass zunehmend im Siedlungsraum gebaut wird und weniger auf der «grünen Wiese», spürt man heute insbesondere bei der Qualität des Aushubmaterials (C-Material). Im Vordergrund steht Material mit Fremdstoffen aus alten Hinterfüllungen und Aufschüttungen.

12. Die Bodenverwertungspflicht führt zu mehr Baubewilligungsakten, zu erbringenden Nachweisen wie Verwertungsdeklarationen und vielen behördlichen Auflagen. Es besteht oft eine Diskrepanz zwischen Bewilligung und tatsächlichen Projektabwicklung. Die Behörden müssten auch die Erfüllung der Auflagen kontrollieren.

13. Einige Tiefbauunternehmungen sind bereits seit Jahren in Bodenverbesserungsprojekte involviert. Das Interesse an diesen Projekten ist breit abgestützt. Es wurde

aber wiederholt darauf hingewiesen, dass es schwierig ist, solche Projekte wirtschaftlich zu realisieren. Dies selbst bei optimalen Rahmenbedingungen wie geringe Abgaben an Grundeigentümer, pragmatischem Bewilligungsverfahren, keinem zeitlichem Korsett, einfacher Erschliessung sowie der Möglichkeit unter der Rekultivierung 1-2 m C-Material einzubauen.

6 Ausblick und vorgeschlagene Massnahmen

Basierend auf der vorliegend dokumentierten Untersuchung zu den Bodenmaterial-Stoffflüssen in der Zentralschweiz und den getätigten Unternehmer-Interviews, werden folgende Handlungsempfehlungen zuhanden der KABO-ZCH bzw. der Zentralschweizer Bodenschutzfachstellen formuliert:

1. **Blick in die Zukunft**
   Untersuchung bezüglich der künftig anfallenden Bodenkubaturen unter Berücksichtigung der neuen Raumplanungsgesetze und der baulichen Entwicklungsschwerpunkte (Verdichtung nach innen, Füllen von Baulücken, Brachflächenrecycling). Vertiefte Fokussierung auf den in der Zentralschweiz limitierenden Faktor «Unterboden».

2. **Potential Verwertungsprojekte**
   Evaluation von Gebieten mit Verwertungsdefiziten in der Zukunft. Aufzeigen möglicher Verwertungsflächen bez. Bodenverbesserungen /-aufwertungen und Prüfung ob solche Flächen bewilligungsmässig in nützlicher Frist bereitgestellt werden könnten. Erhebung möglicher weiterer Verwertungsarten, insb. bezüglich einem allfälligen Oberboden-Überschuss.

3. **Unterstützung sinnvoller Bodenverwertungsprojekten**
   Sinnvolle Bodenverwertungsprojekte sollen durch die kantonalen Behörden unterstützt werden. Dazu gehören einfache Bewilligungsverfahren, das erhöhte Gewichten gegenüber anderen kantonalen Interessen und das Schaffen möglichst optimaler Ausführungs-Rahmenbedingungen (z. Bsp. keine zu engen zeitlichen Befristungen, das Bereitstellen von Zwischenlagerflächen etc.).

4. **Zielgerichtete Rekultivierungsmächtigkeiten fördern**
   Da sich die Verfügbarkeit von UB als limitierender Faktor zumindest phasenweise verknappen kann, soll behördenseits das standardmässige Verlangen von (zu) mächtigen UB-Auftrag bei Bodenverbesserungen und Rekultivierungen hinterfragt werden. Das nicht differenzierte Einfordern von 80 cm UB-Auftrag gemäss FSKB-Rekultivierungsrichtlinie bringt oft keine bodenkundliche Verbesserung für die geplanten Zielnutzungen.

5. **Datenmanagement Bodenmaterial-Stoffffluss**
   Prüfen möglicher Massnahmen zur Verbesserung / Einführung eines einheitlichen Datenmanagements bezüglich Bodenmaterial-Stoffffluss in der Zentralschweiz. Abschätzung welche Anteile davon mit der künftigen Berichterstattung gemäss Art. 27 VVEA bzw. der Datenlieferung der Kantone ans BAFU gemäss Art. 6 VVEA abgedeckt werden können.

6. **Sensibilisierung und Schulung Akteure Bauwirtschaft**
   Intensivierung bezüglich Sensibilisierung und Schulung der Baumeister hinsichtlich der wertvollen Ressource «Unterboden». Prüfen und Umsetzen von solchen Massnahmen, welche insbesondere auch kleinere bis mittlere Tiefbauunternehmungen mit einbeziehen.

7. **Reproduzierung vorliegende Stoffflussanalyse**
   Wir empfehlen die vorliegende Untersuchung in geeigneten Zeitabständen zu wiederholen, um das Bodenmaterial-Datenmanagement zu unterstützen und allfällige Entwicklungen frühzeitig zu erkennen.

8. **Weiterentwicklung Bewilligungs- und Kontrollpraxis**
   Die Bewilligungs- und Kontrollpraxis der Bodenschutzfachstellen in den Zentralschweizer Kantonen soll bezüglich der Verwertung von Bodenmaterial weiterhin laufend optimiert werden.

ilu AG, Horw, 23. Dezember 2019

Andy Lancini
Dipl. Natw. ETH / Geologe CHGEOL
Projektleiter

Michael Mächler
MSc Umweltingenieurwesen ZFH

Achermann Boden+Landschaft GmbH, Luzern, 23. Dezember 2019

Matthias Achermann
Dipl. Geograf UZH / BGS