

ZÜRCHER HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN

DEPARTEMENT LIFE SCIENCES UND FACILITY MANAGEMENT

Institut für Umwelt und natürliche Ressourcen

## AUSWERTUNG ERFOLGSKONTROLLEN VON REKULTIVIERTEN BÖDEN



Semesterarbeit 1

von

Katja Lange

Bachelorstudiengang 2022

Umweltingenieurwesen

Abgabedatum 18. Juli 2024

### Korrektoren:

Dr. Luzius Jean Petit Matile, ZHAW Life Sciences und Facility Management, IUNR

Stefan Zeller, Agroterraconsult AG

## Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit hat zum Ziel, Faktoren zu identifizieren, welche sich positiv bzw. negativ auf den Erfolg von Rekultivierungsprojekten auswirken. Um diese Analyse durchführen zu können, wurden die Daten der Erfolgskontrollen von 24 Bodenrekultivierungsprojekten tabellarisch erfasst und ausgewertet. So erst war ein Vergleich der Projekte möglich. Auch die Daten zu den Erdarbeiten wurden im Rahmen dieser Arbeit tabellarisch zusammengefasst und im Anschluss der Auswertung der Erfolgskontrollen mit deren Erkenntnissen in Beziehung gesetzt. Die Auswertungsergebnisse lassen vermuten, dass sich lehmiger Sand, sandiger Schluff oder schluffiger Sand positiv auf den Erfolg der Bodenrekultivierung auswirken. Sicher ist aber, dass dies nicht die alleinigen Faktoren sind, welche den Rekultivierungserfolg beeinflussen. Die Kombination von schluffigem Sand und lehmigem Sand mit einer Einbaumächtigkeit von ca. 0.3m scheint zu weniger guten Ergebnissen zu führen. Dies bleibt vorerst auch nur eine Vermutung. Recherchen zum aktuellen Wissensstand erfolgreicher Bodenaufwertungen stärken zwar vereinzelt die Annahme, dass sich die Verwendung von Boden mit hohem Schluffanteil positiv auf den Rekultivierungserfolg auswirken kann, da aber ein hoher Schluffanteil zu Verdichtungsempfindlichkeit neigt und anfällig ist für Verschlammung, ist dies mit Vorbehalt zu betrachten.

## Abstract

The aim of this study was to determine factors that have a positive or negative effect on the success of soil recultivation. To conduct this analysis, the data from the performance reviews of 24 soil recultivation projects were tabulated and evaluated. Only then was it possible to compare the projects. The data on the earthworks were also summarized in tabular form as part of this work and then compared with the findings of the evaluation of the success controls. The evaluation results indicate that loamy sand, sandy silt or silty sand have a positive influence on the success of soil recultivations. However, it is certain that these are not the only factors influencing the success of soil recultivation. The combination of silty sand and loamy sand with an installation thickness of approx. 0.3 m appears to lead to less good results. This also remains just a guess for the time being. Research into the current state of knowledge of successful soil recultivation does indeed occasionally support the hypothesis that the use of soil with a high silt content can have a positive effect on the success of recultivation, but as a high silt content tends to be sensitive to compaction and is susceptible to silting, this should be viewed with caution.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAL UND METHODEN</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>ENTWICKLUNG UND GESCHICHTE DER BODENREKULTIVIERUNG</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>ABGRENZUNG DER BEGRIFFE IM ZUSAMMENHANG MIT DER BODENAUFWERTUNG</b>	<b>7</b>
4.1	BODENRENATURIERUNG	7
4.2	BODENREKULTIVIERUNG	7
4.3	BODENREVITALISIERUNG	7
4.4	BODENSANIERUNG	7
<b>5</b>	<b>AKTUELLE BEDEUTUNG UND ZIELE</b>	<b>8</b>
<b>6</b>	<b>AKTUELLER WISSENSSTAND ZUR ERFOLGREICHEN BODENAUFWERTUNG</b>	<b>9</b>
6.1	ERFAHRUNGEN DER RWE POWER AG	9
6.2	REKULTIVIERUNG DER LAUSITZER BRAUNKOHLE-TAGEBAUWERKE	10
6.3	AUSWIRKUNG DER REKULTIVIERUNG IN JAPAN AUF DIE BODENKLASSIFIKATION	11
6.4	VERGLEICH DER BODENFRUCHTBARKEIT NATÜRLICHER UND REKULTIVIERTER BÖDEN	12
6.5	REKULTIVIERUNG VON TORFBÖDEN	13
6.6	ERFOLGSKONTROLLE REKULTIVIERTER BÖDEN IN DER ZENTRALSCHWEIZ	14
6.7	ERFOLGSKONTROLLE REKULTIVIERTER BÖDEN IM AARGAU	14
6.8	AUSWIRKUNG DER BODENREKULTIVIERUNG AUF DEN EINDRINGWIDERSTAND	14
6.9	ZUSAMMENFASSUNG DER ERKENNTNISSE	15
<b>7</b>	<b>DATENMATERIAL AUS ERFOLGSKONTROLLEN DER AGROTERRACONSULT AG</b>	<b>16</b>
7.1	MÄCHTIGKEIT DES OBERBODENS	16
7.2	MÄCHTIGKEIT DES UNTERBODENS	18
7.3	BODENART DES OBERBODENS	20
7.4	SKELETTGEHALT	23
7.5	WASSERHAUSHALT UND PFLANZENNUTZBARE GRÜNDIGKEIT (PNG)	25
7.6	WURZELRAUM	29
7.7	GEFÜGEWERT	30
7.8	GEFÜGEOBERFLÄCHE	32
7.9	EINDRINGWIDERSTAND	34
7.10	ZUSAMMENFASSUNG DER VERÄNDERUNGEN	36
<b>8</b>	<b>ERDARBEITEN</b>	<b>40</b>
8.1	MATERIAL	41

8.2	LOGISTIK UND ERDARBEITEN	42
8.3	REKULTIVIERUNGSARBEITEN	44
8.4	FOLGEBEWIRTSCHAFTUNG	44
<b>9</b>	<b>ZUSAMMENHÄNGE ZWISCHEN ERFOLGSKONTROLLDATEN UND ERDARBEITEN</b>	<b>45</b>
<b>10</b>	<b>DISKUSSION</b>	<b>50</b>
<b>11</b>	<b>FAZIT / AUSBLICK</b>	<b>50</b>
<b>12</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>52</b>
<b>13</b>	<b>ANHANG</b>	<b>55</b>
A-1	MÄCHTIGKEIT OBERBODEN	55
A-2	MÄCHTIGKEIT UNTERBODEN	56
A-3	BODENART OBERBODEN	58
A-4	SKELETTGEHALT	61
A-5	WASSERHAUSHALT	63
A-6	PFLANZENNUTZBARE GRÜNDIGKEIT	66
A-7	WURZELRAUM	68
A-8	GEFÜGEWERT	70
A-9	GEFÜGEOBERFLÄCHE	71
A-10	EINDRINGWIDERSTAND	72

## 1 Einleitung

Die Firma Agrotterraconsult AG ist auf die Projektierung und Gutachtertätigkeit im Bereich Boden spezialisiert und führt bodenkundliche Baubegleitungen und Beratungen durch. Ihre Dienstleistungen umfassen unter anderem die Planung & Leitung von Bodensanierungen sowie die Projektierung, Bauleitung & Erfolgskontrolle von Bodenverbesserungsprojekten (Agrotterraconsult AG, 2024).

Die Erfolgskontrollen der abgeschlossenen Bodenrekultivierungsprojekte zeigen unterschiedlich gute Qualitäten der rekultivierten Böden. Daraus entstand die Anfrage der Agrotterraconsult AG an die ZHAW nach einer Forschungsarbeit, Einflussfaktoren zu identifizieren, welche die Bodenrekultivierung positiv bzw. negativ beeinflussen könnten. Die Agrotterraconsult AG hat in allen ihren Erfolgskontrollen bereits mögliche Gründe beschrieben, weshalb sich bestimmte Bodeneigenschaften noch nicht wie gewünscht entwickelt haben, diese betrafen aber meist die Witterung sowie äussere Umstände und Besonderheiten. Aussagekräftige Analysen durch einen Vergleich mehrerer Projekte wurden noch nicht durchgeführt.

Zum aktuellen Wissensstand zur Bodenrekultivierung durch Bodenauftrag gibt es nur einige wenige Publikationen. Diese geben unterschiedliche Anhaltspunkte zu möglichen positiven bzw. negativen Einflussfaktoren.

Die Fragestellung dieser Arbeit ist, ob sich anhand der Daten der Agrotterraconsult AG Faktoren ableiten lassen, welche den Erfolg der Bodenrekultivierung besonders gut bzw. eher nachteilig beeinflussen und sich diese durch die Erkenntnisse aus den Recherchen bestätigen lassen.

## 2 Material und Methoden

Für eine mögliche Vergleichbarkeit der Daten wurden diese für alle Projekte in Tabellenform erfasst. Die Konzentration lag dabei zum Einen auf den Faktoren der aktuellen Richtlinien zur Bodenrekultivierung in der Schweiz und zum Anderen auf den die Bodenfruchtbarkeit bestimmenden Faktoren. So entstanden zwei Datensammlungen, eine welche Daten zu den Erdarbeiten enthält und eine, welche die Ergebnisse aus den Erfolgskontrollen dokumentiert.

In einem ersten Schritt wurden die Erfolgskontrollen aller Projekte pro Faktor ausgewertet und grafisch dargestellt. Anschliessend wurden die Ergebnisse für alle Projekte tabellarisch erfasst und verglichen. So ergab sich eine Übersicht von Projekten, welche die Bodenqualität besonders verbesserten oder verringerten.

Auch die Daten über die Erdarbeiten wurden für alle Projekte in einer Tabelle zusammengetragen. Im letzten Schritt erfolgte der Versuch, einen Zusammenhang zwischen Bodenqualität und Erdarbeiten, insbesondere der eingebauten Bodenart herzustellen.

Vorbereitend wurde erklärt, worum es bei der Rekultivierung geht, welche Begrifflichkeiten abzugrenzen sind und welche Rolle die Bodenrekultivierung für die Landwirtschaft spielt. Auch die Recherche zum aktuellen Wissensstand über Faktoren, welche die Bodenrekultivierung positiv oder negativ beeinflussen war ein wesentlicher Teil der Arbeit.

### 3 Entwicklung und Geschichte der Bodenrekultivierung

In der Schweiz hat die Rekultivierung von Böden ihren Ursprung in der Wiederherstellung von Kulturland nach dem Kiesabbau. Sand und Kies sind mengenmässig und bezüglich Wertschöpfung die wichtigsten Rohstoffe der Schweiz. Ihr Abbau findet in Feld und Wald statt und ist geprägt von einer vorübergehenden Nutzung der Fläche. Daher wird bei der Planung und Durchführung des Abbaus auch die anschliessende Rekultivierung berücksichtigt und in diesem Rahmen der abgetragene Boden für die spätere Wiederherstellung sichergestellt (FSK Rekultivierungsrichtlinie, 2001). Mit der Abnahme der Bodenfruchtbarkeit und der Mächtigkeit fruchtbaren Bodens trockengelegter Moorlandschaften in der Schweiz wurden die abgetragenen und qualitativ hochwertigen Böden der Baustellen auch für die Aufwertung landwirtschaftlich genutzter Böden interessant. Gemäss einer 2009 publizierten Studie zur Wiederverwertung von abgetragenen Böden in der Landwirtschaft fallen auf Schweizer Baustellen jährlich 15 Millionen Kubikmeter Ober- und Unterboden an. Seit Anfang 2016 schreibt die Eidgenössische Abfallverordnung (VVEA) vor, dass dieses Material in der Landwirtschaft verwendet werden muss, sofern es sich dazu eignet (Baumgartner, 2017). Aber nicht nur abgetragener Ober- und Unterboden (VVEA, Art. 18), sondern auch geeignetes Aushub- und Ausbruchmaterial ist unter anderem für bewilligte Terrainveränderungen zu verwenden (VVEA Art. 19, 2022). Ziel dieser Verordnungen ist es, der Degradierung landwirtschaftlich genutzter Flächen entgegenzuwirken.

In Deutschland besteht der Bedarf an Bodenrekultivierung historisch bedingt vor allem in den Bereichen Renaturierung von nicht mehr genutzten Tagebau-, Sand- und Kiesabbauflächen, Revitalisierung von Industrie-, Verkehrs- und Wohnbrachen sowie Sanierung von stofflich kontaminierten Böden. Die Rekultivierung kann auch zum Ziel haben, wieder landwirtschaftlich nutzbare Flächen bereitzustellen, oftmals stehen aber auch Naturschutz, Naherholung und die Verringerung der Flächenneuinanspruchnahme durch Industrie, Verkehr und Siedlung im Vordergrund (Joisten et al., 2024).

Aufgegebene Tagebau-, Sand- und Kiesabbauflächen werden vorrangig dem Naturschutz gewidmet. Die durch den Abbau entstandenen nährstoff- und konkurrenzarmen Flächen sind geprägt von eng verzahnten Standortgradienten (trocken bis nass, sauer bis basisch), die in der nacheiszeitlichen Naturlandschaft für die Ausbreitung und Ansiedlung vieler Arten prägend waren, in der heutigen Kulturlandschaft aber kaum mehr zu finden sind. In vielen Regionen Deutschlands ist der Naturschutz daher inzwischen eine der wichtigsten Folgenutzungen auch von Sand- und Kiesgruben (Kollmann et al., 2019).

Mit der Herstellung von landwirtschaftlich ertragreichen Neulandböden auf ehemaligen Tagebauflächen beschäftigen sich die Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH (Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau- Verwaltungsgesellschaft mbH, 2024) und die Forschungsstelle Rekultivierung (Forschungsstelle Rekultivierung, 2024a). Bei beiden Institutionen geht es aber um den Aufbau neuer Böden, welche landwirtschaftlich genutzt werden können und nicht um die Aufwertung von bereits landwirtschaftlich genutzten Böden. Auch wenn sich in der Literatur Hinweise auf Probleme mit landwirtschaftlich degradierten Böden in Deutschland finden, gibt es keine Anhaltspunkte dafür, dass diese mittels technischem Bodenauftrag aufgewertet werden.

## 4 Abgrenzung der Begriffe im Zusammenhang mit der Bodenaufwertung

Im Zusammenhang mit der Aufwertung von anthropogen degradierten Böden sind in der Literatur verschiedene Begrifflichkeiten gängig. So werden «Renaturierung», «Revitalisierung» oder auch «Sanierung» oft als Synonym für «Rekultivierung» verwendet, was die Recherche nach einschlägiger Literatur spezifisch für diese Arbeit erschwerte. Daher schien eine Klärung der Begrifflichkeiten und deren Verwendung sinnvoll.

### 4.1 Bodenrenaturierung

Der Begriff Renaturierung meint häufig die Aufwertung von anthropogen gestörten bzw. degradierten Flach- und Hochmooren aber auch die Aufwertung von inner- und ausserörtlichen Brachflächen, wie Verkehrs-, Industrie- und Wohnbrachen, wie sie vor allem in den neuen Bundesländern Deutschlands zu finden sind (Joisten et al., 2024).

### 4.2 Bodenrekultivierung

Im Gegensatz zur Renaturierung wird unter Rekultivierung (reclamation , recultivation) die Wiedernutzbarmachung von Ökosystemen, z. B. für Land- und Forstwirtschaft oder Freizeitnutzung verstanden. Der Schwerpunkt liegt hier meist auf der Wiederherstellung bestimmter Produktionsfunktionen, weniger auf der Vielfalt der Arten und der Komplexität der Ökosystemstrukturen (Kollmann et al., 2019).

Eine ähnliche Definition verwendet die Forschungsstelle Rekultivierung. Sie bezeichnet die Wiedernutzbarmachung der ausgekohlten Tagebaue im Rheinischen Braunkohlenrevier als Rekultivierung. Ihnen geht es dabei insbesondere um die Wiederherstellung einer neuen Kulturlandschaft, die durch verschiedene Nutzungen wie Land- und Forstwirtschaft sowie Naherholung durch den Menschen geprägt ist. Auch der Naturschutz und die Artenförderung nimmt für sie bei der Rekultivierung einen hohen Stellenwert ein (Forschungsstelle Rekultivierung, 2024b).

### 4.3 Bodenrevitalisierung

Unter Bodenrevitalisierung wird die Belebung und Förderung des Bodenlebens verstanden. Die dynamische Natur des Bodens ist eng verbunden mit seinen Bodenorganismen wie Bakterien, Pilze, Anneliden, Anthropoden oder Nematoden. Durch den vermehrten Einsatz von chemischen Düngemitteln und Pestiziden auf landwirtschaftlichen Flächen wurde dieses Bodenleben gestört oder zerstört. Über den Einsatz von organischen Düngern wie Kompost und Mist oder auch von mikrobiellen Stoffen oder das Impfen mit Mykorrhiza soll das Bodenleben revitalisiert werden (Gouda et al., 2018).

### 4.4 Bodensanierung

Unter Bodensanierung wird meist die Sanierung von kontaminierten Böden verstanden, welche Schadstoffe enthalten, die auf Pflanzen, Tiere und Menschen toxisch wirken (Joisten et al., 2024).

## 5 Aktuelle Bedeutung und Ziele

*„Es gibt in der Natur keinen wichtigeren, keinen der Betrachtung würdigeren Gegenstand als den Boden.“*  
Friedrich Albert Fallou (Joisten et al., 2024)

Der Bodenrekultivierung kommt in der Schweiz eine grosse Bedeutung zu, da Kulturland nur begrenzt zur Verfügung steht und aufgrund des Siedlungsdruckes immernoch abnehmend ist (BFS, 2023). Eine Neugewinnung von Landwirtschaftsland ist daher kaum möglich. Zum Zustand der Böden schreibt das Bundesamt für Umwelt, dass rund 20% der landwirtschaftlichen Nutzfläche im Tal- und Hügellgebiet als potenziell mässig bis stark erosionsgefährdet klassiert wird. Besonders gefährdet sind ausser Hanglagen auch offene Ackerflächen und Flächen mit intensivem Gemüseanbau. Auch Bodenverdichtung, verursacht durch die Art der Bewirtschaftung, stellt ein wahrgenommenes Problem dar (BAFU, 2022).

Der Boden erfüllt vielfältige Funktionen, auf die der Mensch und das gesamte Ökosystem angewiesen sind. Er sorgt für gesunde Nahrungsmittel, sauberes Trinkwasser und ist Lebensraum vieler Organismen, Tiere und Pflanzen. Dass der Boden über Jahrtausende langsam gewachsen ist und nicht einfach wieder herstellbar ist, ist vielen Menschen nicht bewusst. Durch Siedlungsdruck und zunehmende Überbauung wird Boden zerstört oder durch zu intensive Nutzung die Fruchtbarkeit des Bodens verschlechtert (VOL, Volkswirtschaftsdirektion des Kantons Bern, 2017).

Landwirtschaftliche Bodenaufwertungen haben das Ziel, die landwirtschaftliche Nutzungseignung auf geeigneten Flächen durch den Auftrag von Bodenmaterial zu verbessern. Sie dienen damit auch der Erfüllung der Verwertungspflicht für geeignetes Ober- und Unterbodenmaterial (FaBo ZH, 2024).

Um die Nahrungsmittelversorgung der Bevölkerung in Krisenzeiten zu sichern, hat der Bundesrat 1992 den Umfang der FFF<sup>1</sup> festgelegt, die im ganzen Land verfügbar sein müssen. Diese Fläche umfasst 438'560 Hektaren. Jeder Kanton muss ein bestimmtes Kontingent beisteuern. Für manche Kantone wird dies aufgrund des Siedlungsdruckes immer herausfordernder. Wird eine ausgewiesene FFF für Bauvorhaben genutzt und damit der Landwirtschaft entzogen, ist der Kanton verpflichtet, anderswo auf seinem Gebiet geeignetes Ackerland als FFF auszuscheiden. In diesem Zusammenhang spielt die Bodenrekultivierung eine immer bedeutendere Rolle. Ist kein geeignetes Gebiet ausscheidbar, haben die Kantone unter Umständen alternativ die Möglichkeit, anthropogen degradierte Böden mit abgetragenem Bodenmaterial aus Baustellen zu FFF aufzuwerten und entsprechend auszuweisen.

Betroffen von der Degradierung sind auch drainierte Moorböden, welche 1,7 Prozent der landwirtschaftlichen Nutzfläche in der Schweiz bilden (Baumgartner, 2017). Durch die Entwässerung verlieren sie ihre Stütze und sacken zusammen. Die Luft, welche in die entwässerten Poren gelangt, führt zur Zersetzung des Torfs und damit zur Schrumpfung der fruchtbaren Bodenschicht. Damit einher geht die Abnahme des Flurabstandes, welcher wiederum Einfluss auf die Drainageleistung hat. Torfschwund kann unter anderem durch Auftragen von geeignetem Bodenmaterial aus Baustellen gebremst werden. Dies ist vor allem dann sinnvoll wenn nur noch eine dünne Torfschicht übrig ist oder der Flurabstand<sup>2</sup> gering ist. Dann lässt sich dieser durch Bodenauftrag so weit erhöhen, dass den Pflanzen genug Wurzelraum bleibt.

---

<sup>1</sup> Fruchtfolgeflächen

<sup>2</sup> Abstand zwischen der Bodenoberfläche und dem Grundwasser oder der Drainage



## 6 Aktueller Wissensstand zur erfolgreichen Bodenaufwertung

Die Recherche nach Erfahrungen bei der Bodenrekultivierung ergab verschiedenste Ergebnisse, welche sowohl wissenschaftliche Studien als auch Master- und Maturaarbeiten sowie Artikel in Fachzeitschriften umfassten. Alle Ergebnisse wurden nachfolgend zusammengefasst und nach dem Jahr ihrer Veröffentlichung, beginnend mit der jüngsten Publikation, sortiert. Im Anschluss findet sich eine Zusammenfassung der wichtigsten Erkenntnisse aller Recherchen.

### 6.1 Erfahrungen der RWE Power AG

Die rheinischen Tagebaue haben bisher rund 315 Quadratkilometer Land in Anspruch genommen. Davon sind bis heute mehr als 220 Quadratkilometer wieder nutzbar gemacht worden. Gut 118 Quadratkilometer davon sind Ackerland. Da die Böden der Niederrheinischen Bucht zu den ertragreichsten und besten Standorten weltweit zählen, ist die Verantwortung sehr hoch, eine Ertragserwartung zu erfüllen, die mit der im Tagebauvorfeld liegenden Parabraunerden vergleichbar ist. Die Herausforderung dabei ist, die über mehrere Jahrtausende laufenden Bodendildungsprozesse durch technische Massnahmen zu ersetzen (RWE Power AG, o. J.).

Die RWE Power AG hat über mehrere Jahrzehnte Erfahrung in der Bodenrekultivierung und gründete 1994 die Forschungsstelle Rekultivierung. Als Erfolgsfaktor bei der Rekultivierung wird vor allem der Löss genannt, welcher im rheinischen Gebiet natürlich und in hochwertiger Qualität vorkommt. Löss kann wegen seiner hohen Schluffanteile von 70 bis 80 % sehr viel Wasser speichern. So können landwirtschaftliche Kulturen beispielsweise auch sehr niederschlagsarme Sommer ohne nennenswerte Ertragseinbußen überstehen. Ein weiterer Erfolgsfaktor ist die Art der Verkipfung. Absetzer verkippen im ersten Schritt Ton, Sand und Kies, was als Rohkippe bezeichnet wird. Über die Rohkippe wird eine Drainageschicht aus wasserdurchlässigem Material aufgebracht. Kies und Sand sind ebenfalls wasserdurchlässig. Somit kann Niederschlagswasser, welches weder durch Verdunstung, Pflanzenwachstum oder Speicherung im Lösskörper gebunden wird, aus dem Lösskörper in die tieferen Bodenschichten abfließen. Die Mächtigkeit des aufzutragenden Löss, welcher bei der Verkipfung trocken sein muss, beträgt je nach Region mindestens einen oder mindestens zwei Meter.

Humushaltiges Oberbodenmaterial, karbonatfreier Lösslehm und der mehrere Meter mächtige karbonathaltige Löss werden miteinander verschnitten und zum Aufbau des neuen landwirtschaftlich genutzten Bodens verwendet. Zur Vermeidung von Verdichtung des Rekultivierungssubstrats, werden Planierarbeiten nur bei trockener Witterung und mit besonders bodenschonender Technik durchgeführt.

Für den Humusaufbau und die Wiederherstellung der Bodenfunktionen werden die Flächen drei Jahre mit Luzerne als Dauerkultur bewirtschaftet. Die Luzerne ist eine mehrjährige Pionierpflanze, die tief wurzelt, dadurch den Boden tiefgründig auflockert und sich wegen des günstigen pH-Wert von etwa 7.5 für Lössstandorte besonders gut eignet. Der Aufwuchs der Luzerne wird gehäckselt und verbleibt auf dem Feld, um die Anreicherung von organischer Substanz und damit die Humusbildung zu unterstützen. Neben der Stabilisierung des Bodengefüges sorgt die Luzerne als Leguminose für eine Anreicherung von Stickstoff im Boden.



Abbildung 1: Verteilung des Rekultivierungssubstrates mit dem Absetzer (Forschungsstelle Rekultivierung, 2024b)

Nach der 3jährigen Bewirtschaftung mit Luzerne folgt eine 4jährige Bewirtschaftung überwiegend mit Wintergetreide und mit Kulturen, welche bodenschonend angebaut werden können. Nach der insgesamt 7jährigen Bewirtschaftung durch die RWE Power AG werden die Flächen den Landwirten übergeben. Doch auch danach ist in den ersten Jahren der Bewirtschaftung für einen weiteren Humusaufbau zu sorgen. Trotz der nachweislich über die Jahrzehnte gemachten grossen Fortschritte und Erfolge, bleibt die Rekultivierung auch für die RWE Power AG in jeder Hinsicht ein Lernprozess (Forschungsstelle Rekultivierung, 2024b).

Die Erfahrungen der RWE Power AG zeigen, dass nicht nur der Prozess des Bodenaufbaus selbst ausschlaggebend für eine erfolgreiche Rekultivierung ist, sondern auch ausreichend Zeit nach dem Neuaufbau des Bodens eine entscheidende Rolle spielt.

## 6.2 Rekultivierung der Lausitzer Braunkohle-Tagebauwerke

Die Tagebaubetriebe zur Braunkohlegewinnung in der Lausitz werden seit jeher nach beendetem Abbau wieder rekultiviert. Zur Einschätzung der Boden- und Ertragsentwicklung wurden zwei rekultivierte Flächen im Zeitraum von 2008 bis 2021 überwacht und im Abstand von 5 bis 6 Jahren bodenphysikalische Kennzahlen erfasst (Trockenraumgewicht, Gesamtporenvolumen, Luftkapazität und nutzbare Feldkapazität). Bei einer der beiden Flächen (Bodenart Sl3) zeigte sich eine Verbesserung der bodenphysikalischen Eigenschaften erst im 14. Rekultivierungsjahr nach einem erneuten mehrjährigen Luzerneanbau. Die zweite Fläche (Bodenart Sl2) wies einen geringeren Schluff- und Feinsandgehalt auf, welcher mit weniger extremen Verdichtungen einhergeht. So trocknete diese Fläche sichtbar besser ab und war weniger stark verschlämmt als die Fläche mit Bodenart Sl3. Zurückgeführt wird diese Beobachtung auf den höheren Sandgehalt der Sl2-Fläche. Die Sl2-Fläche konnte sich schneller

verbessern und gegenüber der SI3-Fläche während der Jahre mehr Kohlenstoff speichern. Der Grund dafür liegt in der Bewirtschaftung. Während auf der SI3-Fläche mehrjährig Luzerne stand, wurde auf der SI2-Fläche der letzte Aufwuchs im Jahr als Mulchschnitt auf der Fläche belassen.

Zusammenfassend ist neben einem etablierten Rekultivierungsverfahren mit chronologisch ausgeführten Schritten eine Folgebewirtschaftung in Abhängigkeit von der Bodenart ausschlaggebend für den Erfolg der Rekultivierung. Ein Schritt der Rekultivierungsarbeiten in der Lausitz ist daher die flächendeckende Kartierung der Kippsubstrate und die daraus folgende Ableitung von Massnahmen zur Nährstoffversorgung, zur Bodenbearbeitung sowie zum standortgerechten Pflanzenanbau (Lukas et al., 2023).

### 6.3 Auswirkung der Rekultivierung in Japan auf die Bodenklassifikation

In Japan wurde die Rekultivierung von landwirtschaftlichen Flächen über Jahrzehnte traditionell durchgeführt, hauptsächlich mit dem Ziel, landwirtschaftliche Gebiete zu erschliessen. Während dafür in früherer Zeit menschliche Arbeitskraft genutzt wurde, werden heute im grossen Stil durch Abtragen und Auffüllen von Boden landwirtschaftliche Flächen geschaffen, dies unter Einsatz grosser Maschinen. Grundsätzlich sollte dabei ein Minimum an Bodentransport durchgeführt werden, um Umweltauswirkungen und Kosten zu verringern und die Bodenverteilung sowie die Bodeneigenschaften sollten durch den nachfolgenden Rekultivierungsprozess bestimmt werden. Um diese Thematiken zu bewerten, hat eine japanische Studie untersucht, wie sich die Rekultivierung von Ackerland auf die Bodenverteilung in Japan ausgewirkt hat. Dabei ging es insbesondere um die Verteilung von Andisolen<sup>3</sup> (Hillel & Hatfield, 2005) in der Präfektur Nagano. Verglichen wurden 30 Flächen. Festgestellt wurde, dass der Rekultivierungsprozess die Oberbodenmächtigkeit von mehr als 50 cm auf durchschnittlich 26,9 cm verringerte. Die Verringerung der Mächtigkeit des Oberbodens und die Vermischung mit Untergrundhorizonten veränderte die Bodeneigenschaften signifikant und infolgedessen deren Klassifikation. Weiterhin wurde festgestellt, dass unabhängig vom angewendeten Rekultivierungsverfahren (Landausschachtung oder Auffüllen) die ursprüngliche Dicke des Oberbodens nicht konserviert werden konnte. Negative Auswirkungen auf die Rekultivierung hatten Verunreinigungen der Unterbodenmaterialien aufgrund des Bodentransportprozesses und der Bewirtschaftung. Positive Auswirkungen speziell auf die Qualität des Unterbodens konnte in den Fällen festgestellt werden, in denen nur minimale Transporte von Bodenmaterialien erfolgte. In diesen Fällen änderte sich die Bodenklassifikation nicht, obwohl die Tiefe des diagnostischen Unterbodenhorizonts durch den Rekultivierungsprozess verändert wurde. Abschliessend fasst die Studie zusammen, dass die Bodeneigenschaften bei einer Rekultivierung erhalten bleiben können, wenn der Oberboden ausreichend erhalten wird (Kida et al., 2021).

---

<sup>3</sup> Andisole sind Böden, die sich auf vulkanischer Asche gebildet haben oder hohe Mengen an SRO-Materialien enthalten. -Klasse. Der Begriff „Andisol“ stammt aus Japan und bezieht sich auf „dunkle Böden“. Diese fast schwarzen Böden entstehen durch relativ hohe Mengen an organischem Material in ihren Oberflächenhorizonten. In Andisolen, die in warmen und feuchten Klimazonen vorkommen, wo der Abbau eigentlich schnell sein sollte, können organische Materiegehalte von bis zu 20% gefunden werden.

## 6.4 Vergleich der Bodenfruchtbarkeit natürlicher und rekultivierter Böden

Im Rahmen ihrer Maturaarbeit verglich Patrizia Widmer 2015 die Bodenfruchtbarkeit eines rekultivierten Bodens mit der eines natürlich gewachsenen Bodens. Dazu wurden auf beiden Versuchsflächen unter gleichen Bedingungen Zuckerrüben und Mais angebaut. Während der Vegetationsperiode wurde das Pflanzenwachstum gemessen und später die Entwicklung der Früchte dokumentiert. Sowohl der Mais als auch die Zuckerrüben zeigten auf dem natürlich gewachsenen Boden ein schnelleres und stärkeres Wachstum als die Pflanzen auf der rekultivierten Fläche. Die Unterschiede waren auch sichtbar, aber nicht signifikant. Eindeutige Faktoren, welche zu den unterschiedlichen Erträgen führten, wurden in der Untersuchung nicht festgestellt. Über eine Bodenansprache wurden folgende Faktoren gemessen:

- Mächtigkeit des Oberbodens
- Mächtigkeit des Unterbodens
- pH-Werte
- Körnung je Schicht
- Skelettgehalt je Schicht
- Humusgehalt

Die Ergebnisse der Bodenansprache sind in Abbildung 2 dokumentiert:

Tab. 1 Auswertung Bodenprofil am Standort A (gewachsener Boden)						
Bodenhorizont (Tiefe)	Horizont	Kalk	pH-Wert	Körnung	Skelettgehalt	Humusgehalt
Oberboden (0 – 30 cm)	A	–	5,5	Ton 18%, Schluff 42%, Sand 40% → sandiger Lehm	2%	2 – 3%
Unterboden (30 – 105 cm)	B	–	5 – 5,5	Ton 18%, Schluff 40%, Sand 42% → sandiger Lehm	2%	0
Ausgangsmaterial (105 – 125 cm)	(B)/C	–	5,5	Ton 22%, Schluff 40%, Sand 28% → Lehm	2%	0

Tab. 2 Auswertung Bodenprofil am Standort B (rekultivierter Boden)						
Bodenhorizont (Tiefe)	Horizont	Kalk	pH-Wert	Körnung	Skelettgehalt	Humusgehalt
Oberboden (0 – 30 cm)	A	–	6 – 6,5	Ton 18%, Schluff 44%, Sand 38% → sandiger Lehm	2%	4% (bei 20 cm eher: 2 – 3%)
Unterboden (30 – 90 cm)	B	+	6 – 6,5	Ton 23%, Schluff 32%, Sand 45% → Lehm	6%	0%
Ausgangsmaterial (90 – 115 cm)	(C)/B	+	6,5	Ton 23%, Schluff 32%, Sand 45% → Lehm	6%	0%

Abbildung 2: Auswertung Bodenprofile aus Maturaarbeit von P. Widmer

Da es im Versuchsjahr 2015 sehr heiss und trocken war, litten die Pflanzen unter Trockenstress wobei die Pflanzen auf dem natürlich gewachsenen Boden mit der Trockenheit besser zurecht kamen als auf der rekultivierten Fläche. Eine Vermutung der Autorin ist, dass der natürlich gewachsene Boden aufgrund seines höheren Schluffanteils eine höhere Wasserspeicherkapazität aufweist als der rekultivierte Boden (P. Widmer, 2019).

## 6.5 Rekultivierung von Torfböden

2014 wurde im Rahmen einer Masterarbeit eine Erfolgskontrolle bei drei unterschiedlich aufgewerteten Torfböden vorgenommen:

- ein übersandeter Torfboden in der Gemeinde Gampelen
- ein tiefgepflügter Torfboden auf dem Areal der Anstalten Witzwil
- ein mit lehmigem Abtragmaterial überschütteter Torfboden in der Gemeinde Ins

Zur Bodenbeurteilung wurden verschiedene Faktoren gemessen: der Gehalt an organischem Kohlenstoff im Boden ( $C_{org}$ ), die Lagerungsdichte, die Zusammensetzung der mineralischen Feinerde, der pH-Wert, die Kationenaustauschkapazität, der Stickstofftotalgehalt ( $N_{tot}$ ) sowie der Gehalt an weiteren Nährstoffen (Mg, K, P). Zusätzlich wurden die Bewirtschafter über Anlass, Ausführung inkl. Folgebewirtschaftung und Ergebnis der Aufwertungsmassnahmen befragt.

Der **übersandete Torfboden** wurde mit einer 35 cm dicken Schicht Sand überdeckt, die darunterliegenden Schichten wurden nicht durchmischt. Ziel der Massnahme war die Konservierung des Torfbodens, die Verzögerung der Sackungsprozesse, die Verbesserung der Befahrbarkeit und die Verminderung des Unkrautdruckes. Bis 3 Jahre nach dem Übersanden fehlte die Tragfähigkeit der Sandschicht. Eine rasche Verbesserung der Bodenstruktur und Tragfähigkeit wurde durch die Zufuhr von Stallmist erreicht. Durch diese Massnahmen trocknete der Boden rascher ab und konnte nach Niederschlägen schneller wieder bearbeitet und befahren werden als der nicht übersandete Boden. In Trockenperioden war aber eine intensivere Bewässerung notwendig als beim nicht übersandeten Boden.

Beim **tiefgepflügten Torfboden** wurden die ursprünglich horizontal gelagerten Bodenschichten um ca. 120° überkippt. Im neu gemischten Bearbeitungshorizont (0 – 25 cm) wurde ein Humusgehalt von 10 – 15 % angestrebt, daher musste die Pflugtiefe (max. 220 cm) mit einem Spazialpflug laufend an die unterschiedliche Mächtigkeit der zu mischenden mineralischen und organischen Schichten angepasst werden. Die lehmige Schicht wurde bis knapp zur Drainage aufgebrochen, so dass sich bei Starkniederschlägen in Senken erneut Wasser sammelte und mehr oder weniger lang stehen blieb. Das Vermischen der an die Oberfläche gepflügten Materialien führte zu einem humusreichen, lehmig-schluffigen Bodensubstrat. Dieser neu geschaffene «Oberboden» eignete sich sehr gut für Futterbau und mässig gut für Ackerbau. Tiefpflügen führt nur zu einer verbesserten Wasserinfiltration, wenn die Lehmschicht bis zum darunterliegenden sandigen Material oder bis zur Drainage aufgebrochen und gewendet wird.

Der **mit lehmigem Material überschüttete Boden** war nicht drainiert und lag an einer der tiefsten Stellen im Seeland. Aufgrund dieser Lage war und ist die Fläche besonders von Hochwasser betroffen. Das lehmige Material wurde verteilt und mit dem vorhandenen Oberboden vermischt, so dass ein rund 70 cm mächtiger «Komplexhorizont» entstand. Der eingemischte anmoorige Oberboden sowie grosse Mengen Stallmist und Kompost ermöglichten auf der überschütteten Parzelle schon nach wenigen Jahren wieder eine normale landwirtschaftliche Nutzung. Der Flurabstand war jedoch immer noch (zu) gering und die ehemals als Lehme eingestuftten Böden waren durch das Überschütten tonreicher geworden und damit schwieriger zu bearbeiten. (VOL, Volkswirtschaftsdirektion des Kantons Bern, 2017)

Der übersandete Boden wies nach der zusätzlichen Verwendung von Stallmist eine verbesserte Tragfähigkeit und Bodenstruktur auf, erfordert aber in Trockenperioden eine intensivere Bewässerung.

Der tiefgepflügte Boden eignet sich gut für den Futterbau, aber nur mässig für den Ackerbau und der mit lehmigem Material überschüttete Boden eignet sich zwar für eine normale landwirtschaftliche Nutzung, ist aber schwieriger zu bearbeiten und hat immer noch einen zu geringen Flurabstand. Übersanden, Tiefpflügen oder Bodenauftrag zeigten jeweils eine Bodenverbesserung mit unterschiedlichen Kompromissen. Ob sie auch den Torfabbau zu stoppen vermögen, wird sich erst in Zukunft zeigen.

## 6.6 Erfolgskontrolle rekultivierter Böden in der Zentralschweiz

Die Kantonale Bodenbeobachtung Zentralschweiz (KABO ZCH) untersuchte 2014 18 Rekultivierungen landwirtschaftlich genutzter Flächen. Beurteilt wurden vor allem der Bodenaufbau (Gründigkeit), der Wasserhaushalt (Vernässungen) und die Bodenstruktur (Verdichtungen) im Vergleich zum Ausgangszustand. Nur bei etwa der Hälfte der untersuchten Flächen wurde die ursprüngliche Bodenfruchtbarkeit erhalten. Defizite führte sie auf unsachgemässen Umgang mit dem Bodenmaterial zurück wie Arbeiten bei zu nassen Verhältnissen, Vermischung der Schichten, ungenügende Entwässerung oder eine unsorgfältige Folgebewirtschaftung (D. Widmer, 2017).

## 6.7 Erfolgskontrolle rekultivierter Böden im Aargau

Markus Stähli von der Abteilung für Umwelt (AfU) des Kantons Aargau liess im Sommer 2011 eine Erfolgskontrolle von 11 rekultivierten Standorten durchführen und stellte fest, dass bei fast der Hälfte der Standorte das ursprüngliche Ertragspotential des Bodens nicht mehr hergestellt werden konnte. Sowohl Mängel als auch das grösste Verbesserungspotential sah er hauptsächlich in der Zusammensetzung und Verarbeitung des Unterbodens. Einerseits war der Unterboden stellenweise verdichtet, was lokal zu Staunässe führte, andererseits war in einigen Fällen die Mächtigkeit des Unterbodens ungenügend oder der Unterboden wurde mit unverwittertem mineralischem Ausgangsmaterial vermischt. Für die Beurteilung des Erfolgs wurden die Mächtigkeit von Ober- und Unterboden, Anzeichen von Bodenverdichtung und -vernässung, der Skelettgehalt, die Form des Bodengefüges und die Bodenart erhoben. Alle Faktoren wurden anschliessend mit den Werten des Ausgangszustandes verglichen. Neben der sorgfältigen Ausführung der Bodenrekultivierung nannte Markus Stähli den Einbau von hochwertigem Bodenmaterial sowie die angepasste Folgebewirtschaftung durch den Landwirt als Voraussetzungen für eine erfolgreiche Bodenrekultivierung (Stähli, 2012).

## 6.8 Auswirkung der Bodenrekultivierung auf den Eindringwiderstand

Stettler et al. (2010) untersuchten, ob sich die unter bodenkundlicher Begleitung rekultivierten Böden am Ende der Folgebewirtschaftungsperiode von den natürlich gewachsenen Böden bezüglich des Eindringwiderstandes unterscheiden. Verglichen wurden jeweils zwei Äcker und zwei Kunstwiesen. Zwischen rekultivierter Fläche und natürlich gewachsener Fläche konnte kein klarer Unterschied erkannt werden. Die Lagerungsdichte der untersuchten Böden hat sich trotz Bodenabtrag, Zwischenlagerung, Schüttung und während der Folgebewirtschaftung nicht erhöht und somit nicht verschlechtert. Auffällig war jedoch, dass die rekultivierten Böden im Pflugsohlenbereich (25 – 35 cm) einen tendenziell geringeren Eindringwiderstand aufwiesen; ein Qualitätsvorteil der beispielsweise durch pfluglose Bodenbearbeitung oder durch den Einsatz eines On-land-Pfluges erhalten werden kann. Unterschiede zeigten sich allgemein zwischen Acker und Kunstwiese konstant in allen Bodenschichten.

Der Grund für diese Unterschiede wurde von den Autoren in der unterschiedlichen Textur, Skelettgehalt oder volumetrischen Wassergehalt vermutet (Stettler et al., 2010).

## 6.9 Zusammenfassung der Erkenntnisse

Aus den bisherigen Untersuchungen zu Bodenaufwertungen ergeben sich verschiedene Faktoren, welche die Bodenrekultivierung positiv oder negativ beeinflussen können. Diese sind nachfolgend zusammengefasst und aufgelistet.

### Positive Faktoren

- Sorgfalt bei der Ausführung der Rekultivierung und Einhaltung der Richtlinien
- schonende Zwischenlagerung des Bodens und kurze Transportwege vermindern das Risiko von späteren Bodenverdichtungen
- Einbau einer Drainageschicht um Vernässungen zu vermeiden
- aktiver Humusaufbau direkt nach der Rekultivierung durch Ansaat von Gründüngungen, Mulchen, Verteilung von Kompost und Stallmist
- Förderung der Bodenstabilität durch mehrjährigen Anbau von Tiefwurzlern wie Luzerne
- Nährstoffanalyse des rekultivierten Bodens und Ableitung von Massnahmen zur Düngung
- geringer Skelettanteil
- angepasste, bodenschonende Folgebewirtschaftung
- (Verwendung einer Bodenart mit hohem Schluffanteil, diese vermag möglicherweise die Wasserspeicherkapazität zu erhöhen, kann aber auch aufgrund der Verdichtungsempfindlichkeit zu Bodenstrukturproblemen führen)

### Negative Faktoren:

- zu geringe Mächtigkeit von Unter- und / oder Oberboden
- abhängig vom Material kann eine Vermischung der Horizonte negative Effekte mit sich bringen
- Verunreinigung des einzubauenden Bodenmaterials
- sehr tonreicher Boden, da dieser die spätere Bearbeitung erschwert
- Arbeiten bei zu nassen Verhältnissen
- ungenügende Entwässerung
- hoher Skelettanteil

## 7 Datenmaterial aus Erfolgskontrollen der Agroterraconsult AG

Aus insgesamt 24 Projekten zwischen 2014 und 2021 wurden die Daten zu den Erdarbeiten und den jeweiligen Erfolgskontrollen zusammengetragen. Letztere hielten je Projekt den Ausgangszustand und den Zustand bei der Erfolgskontrolle der folgenden Parameter fest:

- Mächtigkeit des Oberbodens in cm
- Mächtigkeit des Unterbodens in cm
- Bodenart des Oberbodens
- Skelettgehalt
- Wasserhaushalt
- Pflanzennutzbare Gründigkeit
- Wurzelraum in cm
- Gefügewert
- Gefügeoberfläche in  $\text{m}^2 / \text{m}^3$
- Eindringwiderstand

Alle Projekte liegen grösstenteils in den Klimazonen A4 und A5. A4 fällt gemäss FAL24 in das Nutzungsgebiet «Übergangsgebiet ackerbaubetont» und A5 in das Nutzungsgebiet «Übergangsgebiet futterbaubetont».

In den folgenden Unterkapiteln wird auf die Bedeutung der einzelnen Parameter für die Bodenqualität eingegangen. Anschliessend ist die Datenauswertung der zu vergleichenden Projekte dargestellt. 4 der Projekte wurden im Sous-Sol-Verfahren rekultiviert, alle anderen im Pro-Sol-Verfahren. Während beim Sous-Sol-Verfahren der Boden vor der Rekultivierung abhumusiert wird und der Unterboden und Oberboden neu aufgebaut werden, erfolgt beim Pro-Sol-Verfahren nur ein Auftrag von Bodenaushub auf den Boden ohne vorheriges Abhumusieren. Die Datenauswertung erfolgte nicht nach Rekultivierungsverfahren getrennt, jedoch wurden die 4 Sous-Sol-Projekte jeweils markiert.

### 7.1 Mächtigkeit des Oberbodens

#### ***Bedeutung***

Als Oberboden wird die oberste, organomineralische Schicht eines Bodens bezeichnet. Je nach Nutzung ist sie häufig ca. 10 bis 30 cm mächtig (FaBo ZH, 2017). Eine Mächtigkeit des Oberbodens von mehr als 30 cm wird nicht empfohlen, da sonst die Luftdurchlässigkeit bis zum Unterboden nicht gewährleistet ist (FSK Rekultivierungsrichtlinie, 2001). Dieser Wert wirkt jedoch sehr pauschal und hat eher empfehlenden Charakter, da die optimale Mächtigkeit des Oberbodens je nach Bodenart und Rekultivierungsziel unterschiedlich sein kann. So kann auch ein Boden mit > 30 cm Oberbodenmächtigkeit einen positiven Effekt bewirken.

#### ***Datenmaterial / Methodik***

Die Mächtigkeit des Oberbodens wurde in der Erfolgskontrolle mit von/bis-Werten in cm angegeben. Für eine grafische Darstellung der Veränderung zwischen Ausgangs- und Endzustand wurde aus den von/bis-Werten ein Durchschnitt errechnet. So ergab beispielsweise der angegebene Ausgangszustand von 30 – 35 cm bei Projekt 1 einen Durchschnittswert von 32.5 cm. Bei den Projekten 22 und 23 erfolgten 2 Erfolgskontrollen. Hier fanden für den Vergleich die Werte der zweiten Erfolgskontrolle Berücksichtigung.



## Auswertung

Die Mächtigkeit der Oberböden der zu vergleichenden Projekte betrug zu den jeweiligen Erfolgskontrollen zwischen 10 cm und 45 cm. Einen Wert über 30 cm erreichten die Projekte 2 mit durchschnittlich 45 cm und 3.1 mit durchschnittlich 37.5 cm. Beide Projekte wurden im Sous-Sol Verfahren durchgeführt.

Obwohl alle Projekte eine Oberbodenmächtigkeit von mehr als 10 cm aufwiesen, gibt es 7 Projekte, bei welchen die Mächtigkeit des Oberbodens vor der Rekultivierung zwischen 10 cm und 20 cm mächtiger war als nach der Rekultivierung (siehe fett markierte Einträge in Tabelle 1).

Der Verlust an Oberbodenmächtigkeit bei Pro-Sol-Verfahren scheint gängig bzw. fast unvermeidbar zu sein. So zeigt eine Studie zur Bodenrekultivierung in Japan, welche 30 Standorte auswertete, dass sich dort die Oberbodenstärke von mehr als 50 cm auf durchschnittlich 26.9 cm verringerte. Obwohl die Oberböden während der Rekultivierungsprozesse für landwirtschaftliche Flächen gemäss den japanischen Richtlinien erhalten blieben, zeigten die Ergebnisse dieser Studie den Einfluss des Rekultivierungsprozesses auf die Bodeneigenschaften und infolgedessen deren Klassifikation durch eine Verringerung der Oberbodenstärke und Vermischung mit Untergrundhorizonten (Kida et al., 2021).

## Darstellung der Auswertung

Tabelle 1 zeigt die Durchschnittswerte der Oberbodenmächtigkeit im Ausgangszustand und bei Erfolgskontrolle.

Tabelle 1: Veränderung der Oberbodenmächtigkeit durch die Bodenrekultivierung

Projektnummer	Ausgangszustand in cm	Erfolgskontrolle in cm	Veränderung Bodenmächtigkeit Oberboden in cm	Verfahren
<b>1</b>	<b>32.50</b>	<b>12.50</b>	<b>-20.00</b>	<b>Pro-Sol</b>
2	30.00	45.00	15.00	Sous-Sol
3.1	20.00	37.50	17.50	Sous-Sol
3.2	20.00	17.50	-2.50	Sous-Sol
4	20.00	13.50	-6.50	Pro-Sol
5	20.00	15.00	-5.00	Sous-Sol
6	27.50	25.00	-2.50	Pro-Sol
7	20.00	17.50	-2.50	Pro-Sol
8	15.00	15.00	0.00	Sous-Sol
9.1	20.00	20.00	0.00	Pro-Sol
9.2	25.00	20.00	-5.00	Pro-Sol
<b>10</b>	<b>35.00</b>	<b>25.00</b>	<b>-10.00</b>	<b>Pro-Sol</b>
<b>11</b>	<b>35.00</b>	<b>20.00</b>	<b>-15.00</b>	<b>Pro-Sol</b>
12	35.00	27.50	-7.50	Pro-Sol
13	15.00	17.50	2.50	Pro-Sol
<b>14</b>	<b>31.00</b>	<b>21.00</b>	<b>-10.00</b>	<b>Pro-Sol</b>
15	28.00	20.00	-8.00	Pro-Sol
<b>16</b>	<b>30.00</b>	<b>15.00</b>	<b>-15.00</b>	<b>Pro-Sol</b>
17	20.00	17.00	-3.00	Pro-Sol
18	5.00	12.50	7.50	Pro-Sol
<b>19</b>	<b>25.00</b>	<b>15.00</b>	<b>-10.00</b>	<b>Pro-Sol</b>
20	25.00	17.50	-7.50	Pro-Sol
21	25.00	21.00	-4.00	Pro-Sol
22	15.00	30.00	15.00	Pro-Sol
23	15.00	20.00	5.00	Pro-Sol
<b>24</b>	<b>35.00</b>	<b>25.00</b>	<b>-10.00</b>	<b>Pro-Sol</b>

Die Veränderung der Oberbodenmächtigkeit aller 24 Projekte ist in Abbildung 3 dargestellt. Alle Erfolgskontrolldaten zur Oberbodenmächtigkeit der 24 Projekte sind im Anhang in der Tabelle Anhang 1 aufgeführt.

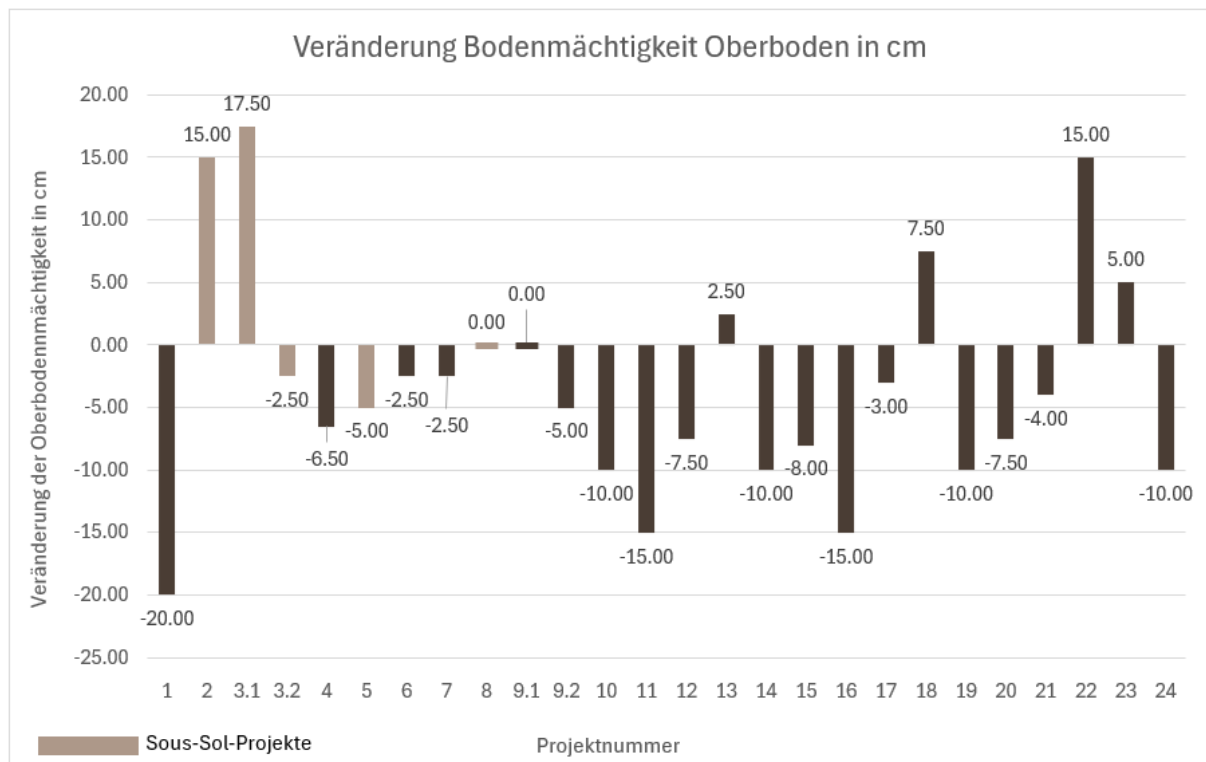


Abbildung 3: Veränderung der Mächtigkeit des Oberbodens durch die Bodenrekultivierung

## 7.2 Mächtigkeit des Unterbodens

### **Bedeutung**

Der Unterboden ist als Schicht zwischen Oberboden und Untergrund definiert und nimmt je nach Nutzung den Raum zwischen 10 cm und 120 cm Bodentiefe ein, bei Ackerböden ca. 30 cm bis 120 cm (Stange, o. J.). Ein genügend tiefer und guter Unterboden ist bedeutend als Wurzelraum und für die Sauerstoff-, Wasser- und Nährstoffversorgung des Bodens (FSK Rekultivierungsrichtlinie, 2001).

### **Datenmaterial / Methodik**

Die Mächtigkeit des Unterbodens wurde in der Erfolgskontrolle mit von/bis-Werten in cm angegeben. Für eine grafische Darstellung der Veränderung zwischen Ausgangs- und Endzustand wurde aus den von/bis-Werten ein Durchschnitt errechnet. So ergab beispielsweise der angegebene Ausgangszustand von 0 – 20 cm bei Projekt 1 einen Durchschnittswert von 10 cm. Durchschnittswerte, die bereits bei der Erfolgskontrolle errechnet wurden, wurden 1:1 übernommen. Bei den Projekten 22 und 23 fanden 2 Erfolgskontrollen statt. Berücksichtigt wurden für den Vergleich die Werte der zweiten Erfolgskontrolle. Für Projekt 18 gab es in der Zusammenfassung des Erfolgskontrollberichts keine Angabe zur Bodenmächtigkeit des Unterbodens vor der Rekultivierung. Da punktuell Fels aus einem historischen Bergsturz bis an die Bodenoberfläche reichte, wurde eine Unterbodenmächtigkeit von 0 cm angenommen.

### *Auswertung*

Bei fast allen Projekten konnte die Unterbodenmächtigkeit vergrössert werden. Die Spanne der Messwerte der zu vergleichenden Projekte lag bei den jeweiligen Erfolgskontrollen zwischen 0 cm und 90 cm.

Für 2 Projekte verringerte sich die Unterbodenmächtigkeit im Vergleich zum Ausgangszustand, bei Projekt 3.1 um ca. 5 cm und bei Projekt 8 um ca. 17.5 cm. Beide Projekte wurden im Sous-Sol-Verfahren rekultiviert.

### *Darstellung der Auswertung*

Tabelle 2 zeigt die Durchschnittswerte der Unterbodenmächtigkeit im Ausgangszustand und bei Erfolgskontrolle.

*Tabelle 2: Veränderung der Unterbodenmächtigkeit durch die Bodenrekultivierung*

Projektnummer	Ausgangszustand in cm	Erfolgskontrolle in cm	Veränderung Bodenmächtigkeit Unterboden in cm	Verfahren
1	10.00	57.50	47.50	Pro-Sol
2	30.00	47.50	17.50	Sous-Sol
<b>3.1</b>	<b>22.50</b>	<b>17.50</b>	<b>-5.00</b>	<b>Sous-Sol</b>
3.2	22.50	27.50	5.00	Sous-Sol
4	10.00	56.50	46.50	Pro-Sol
5	40.00	72.50	32.50	Sous-Sol
6	0.00	35.00	35.00	Pro-Sol
7	20.00	45.00	25.00	Pro-Sol
<b>8</b>	<b>27.50</b>	<b>10.00</b>	<b>-17.50</b>	<b>Sous-Sol</b>
9.1	12.50	37.50	25.00	Pro-Sol
9.2	40.00	50.00	10.00	Pro-Sol
10	20.00	47.50	27.50	Pro-Sol
11	0.00	55.00	55.00	Pro-Sol
12	15.00	50.00	35.00	Pro-Sol
13	15.00	55.00	40.00	Pro-Sol
14	25.00	42.50	17.50	Pro-Sol
15	28.00	40.00	12.00	Pro-Sol
16	0.00	47.50	47.50	Pro-Sol
17	38.00	46.00	8.00	Pro-Sol
18	0.00	24.00	24.00	Pro-Sol
19	0.00	55.00	55.00	Pro-Sol
20	0.00	55.00	55.00	Pro-Sol
21	10.00	42.00	32.00	Pro-Sol
22	15.00	45.00	30.00	Pro-Sol
23	15.00	65.00	50.00	Pro-Sol
24	15.00	37.50	22.50	Pro-Sol

Die Veränderung der Unterbodenmächtigkeit aller 24 Projekte ist in Abbildung 4 dargestellt.

Alle Erfolgskontrolldaten zur Unterbodenmächtigkeit der 24 Projekte sind im Anhang in der Tabelle Anhang 2 aufgeführt.

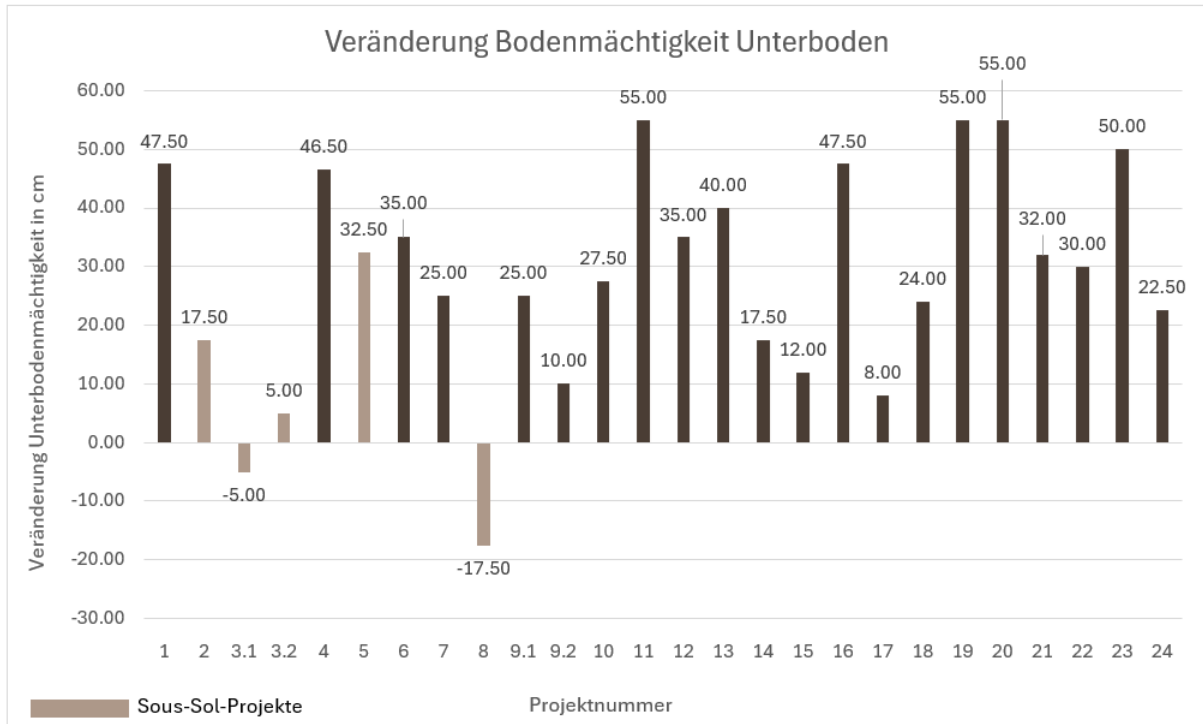


Abbildung 4: Veränderung der Mächtigkeit des Unterbodens durch die Bodenrekultivierung

### 7.3 Bodenart des Oberbodens

#### ***Bedeutung***

Die Feinerdekörnung, auch Bodenart genannt, ist ein Ausdruck für den Anteil von Ton und Schluff in Gewichtsprozenten an der gesamten Feinerde. Abhängig davon, in welchem gewichtsmässigen Verhältnis diese Fraktionen zueinander stehen, ergeben sich verschiedene Feinerdekörnungsklassen mit unterschiedlichen Auswirkungen auf Durchlässigkeit, Bearbeitbarkeit, Nährstoffspeichervermögen usw.. Anhand der Feinerdekörnung des Oberbodens und der Klimazone des Gebietes ist eine Einstufung des Bodens in eine Eignungsklasse möglich (FAL24, 1997).

#### ***Datenmaterial / Methodik***

Anhand des Vergleichs der Bodenart vor und nach der Rekultivierung kann festgestellt werden, ob sich die Eignungsklasse aufgrund der Feinerdekörnung verbessert oder verschlechtert hat oder gleich geblieben ist. Da die Bodenart über eine Fläche gesehen nur selten homogen ist, wurden auch hier von/bis-Werte angegeben. Der Zustand bei der Erfolgskontrolle von Projekt 16 wurde zum Beispiel wie folgt beschrieben «mehrheitlich schluffiger Sand bis lehmiger Sand, teilweise lehmiger Schluff und sandiger Lehm». Für den Ausgangszustand wurde «lehmiger Schluff» vermerkt.

Die Ableitung der Eignungsklasse aufgrund der Feinerdekörnung und der Klimazone erfolgte basierend auf Tabelle 4, welche aus der Schriftenreihe der FAL 24 stammt. Tabelle 3 zeigt beispielhaft, wie bei der Ableitung der Eignungsklasse vorgegangen wurde:

Tabelle 3: Beispiel für die Ableitung der Eignungsklasse für Klimazone A4 (Übergangsgebiet ackerbaubetont)

Projekt	Ausgangszustand	Erfolgskontrolle	Eignungsklasse Übergangsgebiet ackerbaubetont vorher	Eignungsklasse Übergangsgebiet ackerbaubetont nachher
16	lehmiger Schluff	mehrheitlich schluffiger Sand bis lehmiger Sand, teilweise lehmiger Schluff und sandiger Lehm	4	4-5, teilweise 2 und 4

Um die Veränderung grafisch darstellen zu können, wurde aus den abgeleiteten Eignungsklassen ein Durchschnittswert gebildet, welcher für den Erfolgskontrollzustand beispielsweise bei Projekt 16  $((4+5)/2)+4+2)/3 = 3.5$  (aufgerundet 4) ergab. Werte mit Dezimalstellen wurden aufgerundet auf ganze Zahlen, weil es keine halben Eignungsklassen gibt.

Bei den Projekten 22 und 23 fanden 2 Erfolgskontrollen statt. Berücksichtigt wurden für den Vergleich die Werte der zweiten Erfolgskontrolle. Für Projekt 18 wurde keine Angabe zur Bodenart erfasst. Für Projekt 15 war keine Bodenart des Ausgangszustandes vermerkt, weil hier ein organischer Bodenhorizont vorlag. Eine saubere Einordnung organischer Böden ist sehr schwierig.

Tabelle 4: Tabelle 9.3i. Einstufung eines Bodens in eine Eignungsklasse aufgrund der Feinerdekorung (Bodenart) im Oberboden (0 – 25 cm). (limitierendes Merkmal: A) (FAL24, 1997)

Feinerdekorung, A			Eignungsklasse			
Körnungsklasse (Tab. 3.5b)	% Ton	Code	Ackerbaugbiet	Übergangsgebiet ackerbaubetont	Übergangsgebiet futterbaubetont	Futterbaugbiet
Sand	< 5 %	1	9	6	6	7
schluffiger Sand	< 5 %	2	4	5	5	6
lehmiger Sand	5 - 10 %	3	2	4	5	6
lehmreicher Sand	10 - 15 %	4	2	4	5	6
sandiger Lehm	15 - 20 %	5	1	2	5	6
Lehm	20 - 30 %	6	1	2	5	6
toniger Lehm	30 - 40 %	7	3	4	6	6
lehmiger Ton	40 - 50 %	8	4	6	7	7
Ton	> 50 %	9	4	7	7	7
sandiger Schluff	< 10 % <sup>1)</sup>	10	4	5	6	6
Schluff	< 10 % <sup>2)</sup>	11	4	5	6	6
lehmiger Schluff	10 - 30 % <sup>1)</sup>	12	2	4	6	6
toniger Schluff	30 - 40 % <sup>1)</sup>	13	4	7	7	7

### Auswertung

Ausgewertet wurden die Daten anhand der abgeleiteten Eignungsklasse für die jeweils auf das Projekt zutreffende Klimazone A4 (Übergangsgebiet ackerbaubetont) bzw. A5 (Übergangsgebiet futterbaubetont). Dabei zeigte sich, dass sich 2 Projekte um 2 Eignungsklassen verschlechterten, 5 Projekte zeigten eine Eignungsklasse geringer als vorher und 7 Projekte verbesserten sich um eine Eignungsklasse. Für 8 Projekte war bei der Erfolgskontrolle die gleiche Eignungsklasse feststellbar wie im Ausgangszustand. Projekt 15 und 18 wurden von dieser Auswertung ausgenommen.

### Darstellung der Auswertung

Die Eignungsklassen im Ausgangszustand und bei der Erfolgskontrolle sowie deren Veränderung wurden in Tabelle 5 zusammengefasst.

Tabelle 5: Veränderung der Eignungsklasse (EK) aufgrund der Feinerdekörnung

Projekt	Klimazone * FL kennt keine Klimazonen, analog CH abgeschätzt	EK		Veränderung	Verfahren
		vorher	nachher		
1	A4	4	6	-2	Pro-Sol
2	A5	6	6	1	Sous-Sol
3.1	A5	6	6	0	Sous-Sol
3.2	A5	6	6	0	Sous-Sol
4	A5	5	6	-1	Pro-Sol
5	A5	5	5	0	Sous-Sol
6	A5	6	6	1	Pro-Sol
7	A4	5	5	0	Pro-Sol
8	(A5)*	5	6	-1	Sous-Sol
9.1	A5	5	5	0	Pro-Sol
9.2	A5	6	6	0	Pro-Sol
10	(A4)*	4	5	-1	Pro-Sol
11	A4	4	5	-1	Pro-Sol
12	(A5)*	6	5	1	Pro-Sol
13	A5	5	5	0	Pro-Sol
14	A4	4	5	-1	Pro-Sol
15	A4		4		Pro-Sol
16	A4	4	4	1	Pro-Sol
17	A5	6	6	0	Pro-Sol
18	A5				Pro-Sol
19	A4	4	4	0	Pro-Sol
20	A4	4	6	-2	Pro-Sol
21	(A5)*	6	5	1	Pro-Sol
22	A5	6	5	1	Pro-Sol
23	A5	5	5	0	Pro-Sol
24	(A5)*	6	6	1	Pro-Sol

Die grafische Darstellung der Eignungsklassenveränderung zeigt Abbildung 5. Alle Erfolgskontrolldaten zur Bodenart der 24 Projekte sind im Anhang in der Tabelle Anhang 3 aufgelistet.

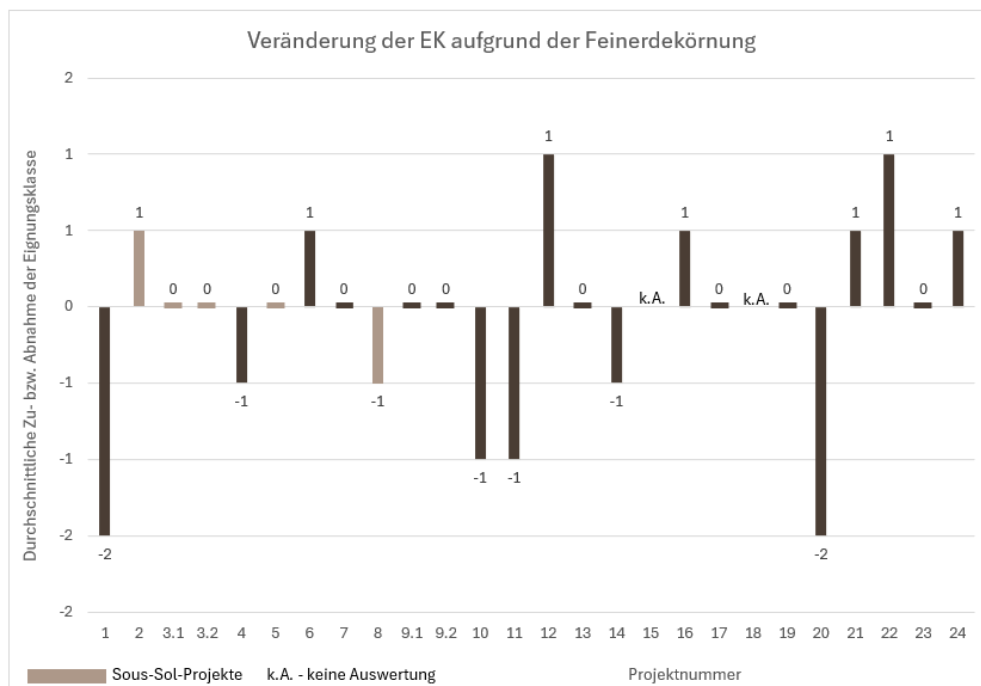


Abbildung 5: Durchschnittliche Zu- und Abnahme der Eignungsklasse aufgrund der Feinerdekörnung

## 7.4 Skelettgehalt

### ***Bedeutung***

Der Skelettgehalt hat Einfluss auf die Pflanzennutzbare Gründigkeit (PNG). Zudem spielt er beim heutigen Mechanisierungsgrad der Landwirtschaft eine wesentliche Rolle (FAL24, 1997). Ein gewisser Steinanteil ist erwünscht, zu grosse Steine können aber die Bodenbearbeitung erschweren (FSK Rekultivierungsrichtlinie, 2001).

### ***Datenmaterial / Methodik***

Für die Beschreibung des Ausgangszustandes des Skelettgehaltes und des Zustandes des Skelettgehaltes bei der Erfolgskontrolle wurden die Skelettgehaltklassen gemäss FAL 24 verwendet. Wie auch bei der Bodenart ist es natürlich, dass sich über eine grosse Fläche gesehen, keine Homogenität ausgebildet hat, weshalb auch hier mit von/bis-Werten gearbeitet wurde. Für Projekt 4 wurde zum Beispiel für den Zustand bei Erfolgskontrolle «skeletttarm bis kieshaltig» verwendet. Um eine vergleichbare Auswertung und grafische Darstellung der Veränderung des Skelettgehaltes vornehmen zu können, wurden den Skelettgehaltklassen Nummern von 1 bis 9 zugewiesen, wobei 1 für *skelettfrei*, *skeletttarm* und 9 für *Kies*, *Geröll*, *Blöcke* steht. Für Projekt 4 ergab sich demzufolge für den Zustand bei Erfolgskontrolle folgender Wert:

skeletttarm = 1

kieshaltig = 3

Dies ergibt einen Durchschnittswert von 2.

*Tabelle 6: basierend auf Tabelle 11.3c. Bewertung von Böden mit Skelettgehalt als Hauptlimitierung (FAL24, 1997)*

Bezeichnung	Volumen %	Skalenvergabe
skelettfrei, skeletttarm	< 5	1
schwach skeletthaltig	5 - 10	2
kieshaltig <sup>1</sup>	10 - 20	3
steinhaltig		4
stark kieshaltig <sup>1</sup>	20 - 30	5
stark steinhaltig		6
kiesreich <sup>1</sup>	30 - 50	7
steinreich		8
Kies <sup>1</sup> , Geröll, Blöcke	> 50	9

1= höchstens 1/3 Grobskelett

Bei den Projekten 22 und 23 fanden 2 Erfolgskontrollen statt. Berücksichtigt wurden für den Vergleich die Werte der zweiten Erfolgskontrolle.

### ***Auswertung***

Dort, wo es Veränderungen im Skelettgehalt gab, hat dieser bis auf Projekt 18 immer etwas zugenommen. Projekt 18 zeigte eine wesentliche Verbesserung, dies aufgrund des schlechten Ausgangszustandes, bei dem wegen eines historischen Felssturzes punktuell Fels bis an die Bodenoberfläche reichte und einen sehr skeletthaltigen Untergrund verursachte.

### Darstellung der Auswertung

In Tabelle 7 sind die Skelettgehalte im Ausgangszustand und bei der Erfolgskontrolle mit der jeweils berechneten Skalenzuordnung und der sich daraus ergebenden Zu-/ bzw. Abnahme des Skelettgehaltes festgehalten.

Tabelle 7: Skelettgehalte im Ausgangszustand und bei Erfolgskontrolle

Projekt-nummer	Ausgangszustand	Skala Ausgangszustand	Erfolgskontrolle	Skala Erfolgskontrolle	Zu-/Abnahme Skelettgehalt
1	skelettfrei bis schwach skeletthaltig	1.5	skelettfrei bis stark steinhaltig	3.5	2.0
2	skelettfrei	1.0	skelettarm bis skeletthaltig	1.5	0.5
3.1	skelettfrei	1.0	skelettarm	1.0	0.0
3.2	skelettfrei	1.0	skelettarm	1.0	0.0
4	skelettarm	1.0	skelettarm bis kieshaltig	2.0	1.0
5	skelettarm	1.0	skelettarm	1.0	0.0
6	skelettfrei	1.0	schwach skeletthaltig	2.0	1.0
7	skelettarm	1.0	skelettarm	1.0	0.0
8	skelettarm bis schwach skeletthaltig	1.5	Oberboden: skelettarm; Untergrund: schwach skeletthaltig bis kieshaltig	2.0	0.5
9.1	skelettfrei	1.0	skelettarm bis steinhaltig	2.5	1.5
9.2	skelettfrei	1.0	kieshaltig	3.0	2.0
10	skelettarm	1.0	skelettarm	1.0	0.0
11	skelettfrei	1.0	skelettarm bis schwach skeletthaltig	1.5	0.5
12	skelettarm	1.0	schwach skeletthaltig bis steinhaltig	3.0	2.0
13	skelettarm	1.0	skelettarm	1.0	0.0
14	skelettfrei bis schwach skeletthaltig	1.5	schwach skeletthaltig bis steinhaltig	3.0	1.5
15	skelettfrei	1.0	skelettarm bis kieshaltig	2.0	1.0
16	skelettfrei	1.0	skelettarm bis schwach skeletthaltig	1.5	0.5
17	skelettarm	1.0	skelettarm bis kieshaltig	2.0	1.0
18	sehr skeletthaltig bis felsig	6.0	skelettfrei bis schwach skeletthaltig	1.5	-4.5
19	skelettfrei	1.0	skelettarm bis kieshaltig	2.0	1.0
20	skelettfrei	1.0	skelettarm bis schwach skeletthaltig	1.5	0.5
21	skelettarm	1.0	skelettarm bis schwach skeletthaltig	1.5	0.5
22	skelettfrei	1.0	kieshaltig bis stark kieshaltig	4.0	3.0
23	Skelettarm	1.0	schwach skeletthaltig bis skelettarm	1.5	0.5
24	Skelettarm	1.0	Skelettarm	1.0	0.0

Abbildung 7 zeigt die Veränderung des Skelettgehaltes. Alle Daten zur Erfolgskontrolle des Skelettgehaltes sind in Tabelle Anhang 4 dokumentiert.



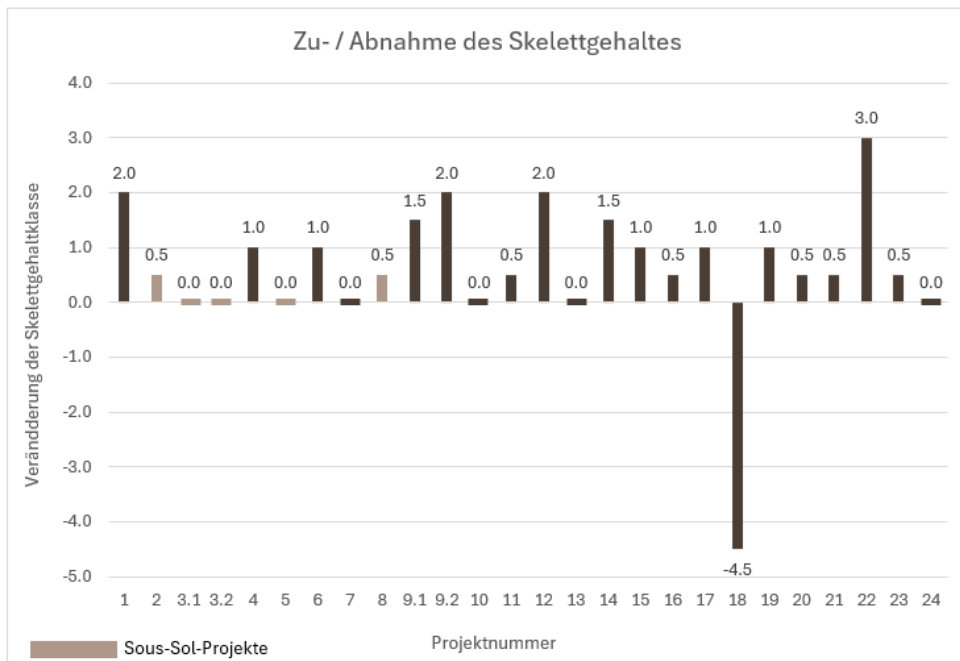


Abbildung 6: Veränderung der Bodenprofilwerte für den Skelettgehalt

## 7.5 Wasserhaushalt und Pflanzennutzbare Gründigkeit (PNG)

### **Bedeutung**

Der Wasserhaushalt und die Pflanzennutzbare Gründigkeit bilden die wichtigsten Kriterien für die Bodenkartierung. Zusammen definieren sie die Bodenwasserhaushaltsgruppen. (FAL24, 1997) Die PNG umfasst den durchwurzelbaren Teil eines Bodens und ist eine zentrale Grösse bei der Festlegung der Rekultivierungs- bzw. Bodenverbesserungsziele. Daher spielt sie eine wichtige Rolle bei der Bewertung der landwirtschaftlichen Nutzungseignung (FaBo ZH, 2017).

### **Datenmaterial / Methodik**

Der Wasserhaushalt wurde in den Erfolgskontrollen mittels der Wasserhaushaltsgruppe beschrieben. Die Wasserhaushaltsklasse wurde im Rahmen der Auswertung aus der Kombination von Wasserhaushaltsgruppe und Pflanzennutzbare Gründigkeit abgeleitet. So führte die Angabe «häufig bis zur Oberfläche porengesättigt» in Kombination mit «ziemlich flachgründig» zur Wasserhaushaltsklasse «stauwassergeprägt» mit dem Kleinbuchstaben q. Während die Angabe «häufig bis zur Oberfläche porengesättigt» in Kombination mit «flachgründig bis ziemlich flachgründig» zur Einordnung in Wasserhaushaltsklasse «grund- oder hangwassergeprägt» mit dem Kleinbuchstaben w führte. Bei Fällen, in welchen die Ableitung nicht eindeutig möglich war, wurden beide Wasserhaushaltsklassen berücksichtigt. So z.B. bei der Kombination «selten bis zur Oberfläche porengesättigt» und «ziemlich flachgründig». Hier wurden die Wasserhaushaltsklassen stauwassergeprägt sowie grund- oder hangwassergeprägt mit den jeweiligen Kleinbuchstaben p und u erfasst.

Tabelle 8: Tabelle 5.3c. Übersicht über die Bodenwasserhaushalts(unter)gruppen, in Abhängigkeit von Vernässungsgrad (Untertyp) und pflanzennutzbarer Gründigkeit (Tab 5.2b bis 5.2d, 5.3a bis 5.3b)

Untertypen	Pflanzennutzbare Gründigkeit						Wasserhaushaltsklasse	Wasserhaushaltsgruppe
	stg	tg	mtg	zfg	fg	sfg		
-, I1, G1, G2	a	b	c	d	e		senkrecht	normal durchlässig
I2	f		g	h	i		durch-	stauwasserbeeinflusst
G3, R1	k		l	m	n		waschen	grund- oder hangwasserbeeinflusst
I3, I4	-	o		p		-	stauwasser-	selten bis zur Oberfläche porengesättigt
I4	-	-	-	q	r		geprägt	häufig bis zur Oberfläche porengesättigt
R2, R1 G4, G5	-	s	t	u		-	grund-	selten bis zur Oberfläche porengesättigt
R3, R2 G5, G6, G4	-	-	v	w		-	oder	häufig bis zur Oberfläche porengesättigt
G5, G6 R4, R2, R3	-	-	-	x	y		hangwasser-	meist bis zur Oberfläche porengesättigt
R5, R4	-	-	-	-	-	z	geprägt	dauernd bis zur Oberfläche porengesättigt

Zusätzlich zur Bodenwasserhaushaltsgruppe wurde die Pflanzennutzbare Gründigkeit für sich allein genommen ausgewertet. Dazu wurden die Angaben in den Erfolgsberichten gemäss der Schriftenreihe FAL 24 in Zahlenwerte übersetzt:

sehr flachgründig	0-10 cm
flachgründig	10-30 cm
ziemlich flachgründig	30-50 cm
mässig tiefgründig	50-70 cm
tiefgründig	70-100 cm

Bei der Angabe von von/bis-Werten wurden Durchschnittswerte errechnet, um eine grafische Darstellung erstellen zu können. So führte z.B. die Angabe «flachgründig bis ziemlich flachgründig» zu einem Zahlenwert von 10 – 50 cm und zu einem Durchschnittswert von 30 cm.

Bei den Projekten 22 und 23 fanden 2 Erfolgskontrollen statt. Berücksichtigt wurden für die Auswertungen die Werte der zweiten Erfolgskontrolle. Für Projekt 18 gab es in der Zusammenfassung des Erfolgskontrollberichts keine Angabe zum Wasserhaushalt im Ausgangszustand.

### **Auswertung**

Die Einschätzung, ob sich der Bodenwasserhaushalt verbessert hat, erfolgte visuell und ergab bis auf Projekt 5 und 24 bei allen Projekten eine Verbesserung durch die Rekultivierung. Bei Projekt 5 blieb der Bodenwasserhaushalt etwa gleich, bei Projekt 24 fiel er nach der Rekultivierung etwas schlechter aus (siehe Tabelle 9).

Die Erfolgskontrollberichte der Bodenrekultivierungsprojekte beschreiben den Wasserhaushalt und die Pflanzennutzbare Gründigkeit getrennt. Da beide zusammen die Bodenwasserhaushaltsgruppen definieren, wurden sie im Zusammenhang betrachtet. Zusätzlich erfolgte eine separate Auswertung der Pflanzennutzbaren Gründigkeit. Für sich allein betrachtet, zeigte sich ausser bei Projekt 8 für alle Projekte eine Verbesserung.



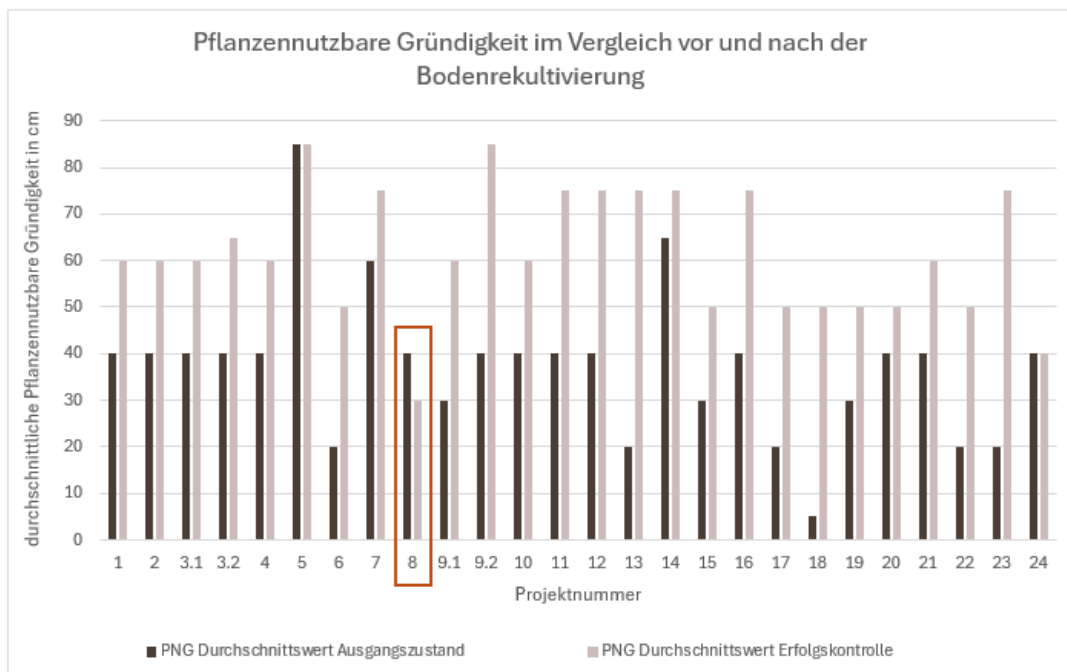


Abbildung 7: durchschnittliche Pflanzennutzbare Gründigkeit im Vergleich vor und nach der Bodenrekultivierung

Tabelle 10: durchschnittliche PNG im Ausgangszustand und bei Erfolgskontrolle

Projektnummer	PNG Durchschnittswert Ausgangszustand in cm	PNG Durchschnittswert Erfolgskontrolle in cm	Veränderung in cm	Verfahren
1	40	60	20	Pro-Sol
2	40	60	20	Sous-Sol
3.1	40	60	20	Sous-Sol
3.2	40	65	25	Sous-Sol
4	40	60	20	Pro-Sol
5	85	85	0	Sous-Sol
6	20	50	30	Pro-Sol
7	60	75	15	Pro-Sol
<b>8</b>	<b>40</b>	<b>30</b>	<b>-10</b>	<b>Sous-Sol</b>
9.1	30	60	30	Pro-Sol
9.2	40	85	45	Pro-Sol
10	40	60	20	Pro-Sol
11	40	75	35	Pro-Sol
12	40	75	35	Pro-Sol
13	20	75	55	Pro-Sol
14	65	75	10	Pro-Sol
15	30	50	20	Pro-Sol
16	40	75	35	Pro-Sol
17	20	50	30	Pro-Sol
18	5	50	45	Pro-Sol
19	30	50	20	Pro-Sol
20	40	50	10	Pro-Sol
21	40	60	20	Pro-Sol
22	20	50	30	Pro-Sol
23	20	75	55	Pro-Sol
24	40	40	0	Pro-Sol

Alle Daten zur Erfolgskontrolle des Wasserhaushaltes und der Pflanzennutzbaren Gründigkeit sind im Anhang in den Tabellen Anhang 5 und Anhang 6 dokumentiert.

## 7.6 Wurzelraum

### *Bedeutung*

Der Wurzelraum spielt eine wesentliche Rolle bei der Versorgung von Pflanzen mit Wasser, Sauerstoff und Nährstoffen und wird massgeblich von der Bodenart beeinflusst. Die Effizienz der Nutzung verfügbarer Bodenwassermengen hängt von der Intensität der Durchwurzelung und der effektiven Durchwurzelungstiefe ab, die wiederum durch den Wurzelraum bestimmt werden. Eine grössere Ausdehnung des Wurzelraums führt zu einer verbesserten Versorgung der Pflanzen aber auch der Bodentiere und Mikroorganismen mit Wasser, Wärme, Sauerstoff und Nährstoffen (Amelung et al., 2018).

### *Datenmaterial / Methodik*

In der Erfolgskontrolle wurde für die meisten Projekte der Hauptwurzelraum und der Nebenwurzelraum in der Masseinheit cm bestimmt. Für die Auswertung, inwiefern sich der Wurzelraum durch die Bodenrekultivierung verändert hat, wurde nur der Hauptwurzelraum berücksichtigt. Werte, welche mit von/bis angegeben wurden, wurden mit Durchschnittswerten ersetzt. Für die Projekte 8 und 18 gab es keine Angaben zum Wurzelraum, für Projekt 16 nur zur Erfolgskontrolle, nicht aber zum Ausgangszustand. Bei den Projekten 22 und 23 gab es 2 Erfolgskontrollen. Hier wurden die Werte der zweiten Erfolgskontrolle berücksichtigt.

### *Auswertung*

Bei den meisten Projekten verringerte sich der Hauptwurzelraum gegenüber dem Ausgangszustand. Da die Ausbildung des Wurzelraumes Zeit benötigt und die Erfolgskontrollen meist etwa 3 Jahre nach Abschluss der Bodenrekultivierung stattfanden, ist es möglich, dass dieser sich im Laufe der Zeit noch vergrössert. Zudem ist die Durchwurzelung stark von der Kultur abhängig und kann saisonal erheblich schwanken (vgl. Erfolgskontrolle Wurzelraum Projekt 10).

### *Darstellung der Auswertung*

Die Gegenüberstellung der Grössen des Hauptwurzelraumes im Ausgangszustand und bei Erfolgskontrolle zeigt Tabelle 11. Die grafische Darstellung der Veränderung zeigt Abbildung 9.

Tabelle 11: Durchschnittlicher Hauptwurzelraum im Ausgangszustand und zur Erfolgskontrolle

Projektnummer	Ausgangszustand in cm	Erfolgskontrolle in cm	Veränderung in cm	Verfahren
1	32.5	32.5	0	Pro-Sol
2	40	40	0	Sous-Sol
3.1	15	20	5	Sous-Sol
3.2	15	15	0	Sous-Sol
4	20	15	-5	Pro-Sol
5	20	15	-5	Sous-Sol
6	22.5	20	-2.5	Pro-Sol
7	15	12.5	-2.5	Pro-Sol
8	k.A.	k.A.	k.A.	Sous-Sol
9.1	20	25	5	Pro-Sol
9.2	45	40	-5	Pro-Sol
<b>10</b>	<b>20</b>	<b>10</b>	<b>-10</b>	<b>Pro-Sol</b>
11	15	15	0	Pro-Sol
12	20	20	0	Pro-Sol
13	20	20	0	Pro-Sol
<b>14</b>	<b>30</b>	<b>15</b>	<b>-15</b>	<b>Pro-Sol</b>

Projektnummer	Ausgangszustand in cm	Erfolgskontrolle in cm	Veränderung in cm	Verfahren
15	15	10	-5	Pro-Sol
16	k.A.	12.5	k.A.	Pro-Sol
17	20	17.5	-2.5	Pro-Sol
18	k.A.	k.A.	k.A.	Pro-Sol
<b>19</b>	<b>25</b>	<b>10</b>	<b>-15</b>	<b>Pro-Sol</b>
<b>20</b>	<b>30</b>	<b>20</b>	<b>-10</b>	<b>Pro-Sol</b>
<b>21</b>	<b>20</b>	<b>10</b>	<b>-10</b>	<b>Pro-Sol</b>
22	17.5	30	12.5	Pro-Sol
23	20	35	15	Pro-Sol
24	30	35	5	Pro-Sol

Alle Daten zur Erfolgskontrolle des Wurzelraumes sind im Anhang in Tabelle Anhang 7 dokumentiert.

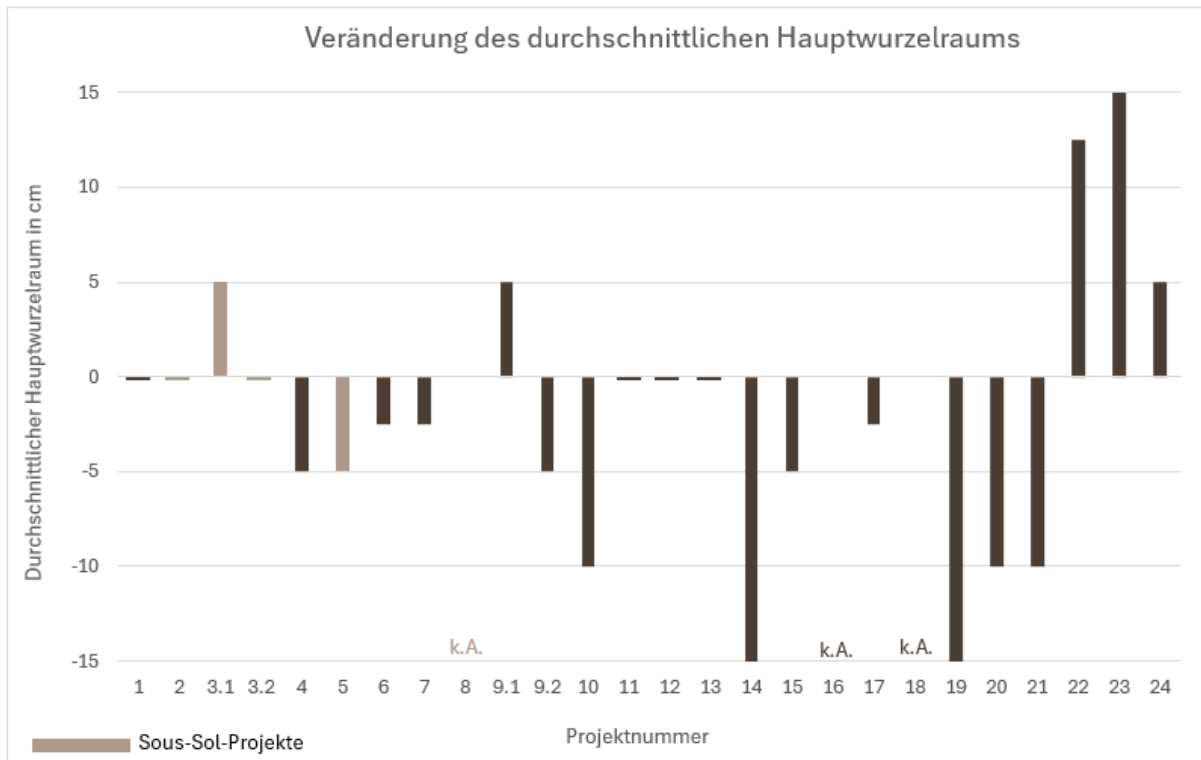


Abbildung 8: Veränderung des Hauptwurzelraumes

## 7.7 Gefügewert

### **Bedeutung**

Das Bodengefüge beschreibt die Art der räumlichen Anordnung der festen Bodenbestandteile und der Hohlräume in einem Bodenbereich. Es wird durch natürliche Bodenprozesse und äussere Einflüsse wie Witterung und Bewirtschaftung gebildet und verändert. Besonders massgebend für das Gefüge sind Merkmale wie Wasserhaushalt des Bodens, Feinerdekornung, Humus- und Kalkgehalt sowie der pH-Wert (Nievergelt et al., 2002).

### ***Datenmaterial / Methodik***

Für die Projekte wurden Gefügewerte für den Ausgangszustand und bei der Erfolgskontrolle bestimmt. Die Bodengefügeanalyse erfolgte gemäss Schriftenreihe der FAL 41. Generell beschreibt ein hoher Gefügewert eine gute Bodenstruktur.

Für Werte, welche mit von/bis angegeben wurden, wurde ein Durchschnitt berechnet. Die Erfolgskontrollen der Projekte 8 und 18 sagten in der Zusammenfassung nichts über den Gefügewert aus. Für Projekt 22 und 23 wurden 2 Erfolgskontrollen durchgeführt. Die Auswertung wurde auf Basis der Werte der zweiten Erfolgskontrolle vorgenommen.

### ***Auswertung***

Die Gefügewerte der Projekte lagen im Ausgangszustand zwischen 24 und 58 und bei der Erfolgskontrolle zwischen 37 und 59. Bei drei Projekten hat sich der Gefügewert gegenüber dem Ausgangszustand verschlechtert, bei einem Projekt blieb er gleich und alle anderen Projekte zeigten nach der Rekultivierung bessere Werte als vor der Rekultivierung.

### ***Darstellung der Auswertung***

Die Veränderung der Gefügewerte zwischen Ausgangszustand und Erfolgskontrolle zeigt Tabelle 12. Die auf Tabelle 12 basierende grafische Darstellung der Veränderung der Gefügewerte zeigt Abbildung 10.

*Tabelle 12: Veränderung der Gefügewerte in Folge der Bodenrekultivierung*

Projektnummer	Ausgangszustand	Erfolgskontrolle 1	Veränderung	Verfahren
1	54	57	3	Pro-Sol
2	33	45.5	12.5	Sous-Sol
3.1	31.5	50	18.5	Sous-Sol
3.2	31.5	52	20.5	Sous-Sol
4	41	54	13	Pro-Sol
5	39	53	14	Sous-Sol
6	37.5	45	7.5	Pro-Sol
7	24	39	15	Pro-Sol
8	k.A.	k.A.		Sous-Sol
9.1	46	51	5	Pro-Sol
9.2	41	53	12	Pro-Sol
10	38	37	-1	Pro-Sol
11	34	49	15	Pro-Sol
12	43	55	12	Pro-Sol
13	33	52	19	Pro-Sol
14	48	58	10	Pro-Sol
15	58	59	1	Pro-Sol
16	54	54	0	Pro-Sol
17	29	41.5	12.5	Pro-Sol
18	k.A.	k.A.		Pro-Sol
<b>19</b>	<b>46</b>	<b>39</b>	<b>-7</b>	<b>Pro-Sol</b>
20	45	49	4	Pro-Sol
21	31	46	15	Pro-Sol
22	40	44	4	Pro-Sol
23	33	46	13	Pro-Sol
24	43	38	-5	Pro-Sol

Alle Daten zur Erfolgskontrolle des Gefügewertes sind im Anhang in Tabelle Anhang 8 dokumentiert.

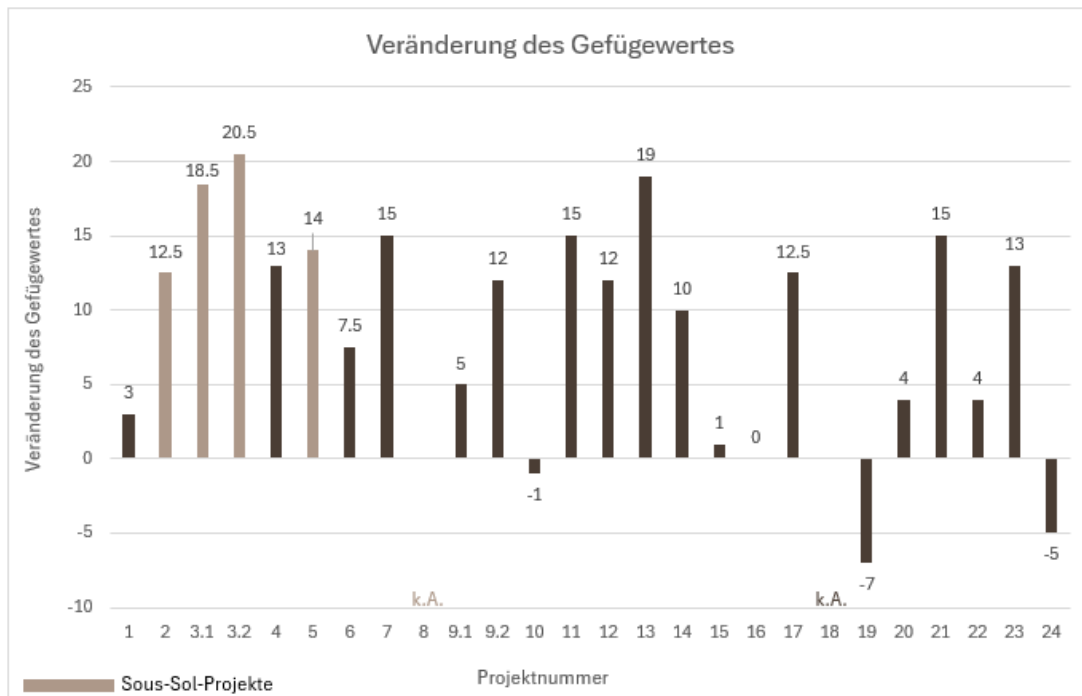


Abbildung 9: Veränderung des Gefügewertes durch die Bodenrekultivierung

## 7.8 Gefügeoberfläche

### **Bedeutung**

Eine grössere Gefügeoberfläche beeinflusst die Bodenfruchtbarkeit positiv, da eine grössere Oberfläche mehr Raum für die Anbindung von Nährstoffen bietet. So ergibt sich eine höhere Aktivität von chemischen Reaktionen und damit ein besserer Austausch von Nährstoffen. Zudem bietet eine grosse Gefügeoberfläche mehr Lebensraum für Mikroorganismen, die für den Abbau von organischem Material und die Freisetzung von Nährstoffen wichtig sind. Somit fördert eine grössere Gefügeoberfläche auch die biologische Aktivität im Boden.

### **Datenmaterial / Methodik**

Die Gefügeoberfläche wurde in den Erfolgskontrollen in  $m^2/m^3$  erfasst. Aus den von/bis-Werten wurden Durchschnittswerte errechnet, um eine grafische Darstellung der Wertveränderungen zu erstellen. Die Erfolgskontrollen der Projekte 8 und 18 enthielten in der Zusammenfassung der Erfolgskontrollberichte keine Angaben zur Gefügeoberfläche. Für die Projekte 22 und 23 fanden 2 Erfolgskontrollen statt. Die Auswertung berücksichtigte nur die Werte der zweiten Erfolgskontrolle.

### **Auswertung**

Bis auf 3 Projekte wurde die Gefügeoberfläche durch die Bodenrekultivierung positiv beeinflusst. Die Projekte 19, 20 und 24 zeigten bei der Erfolgskontrolle eine geringere Gefügeoberfläche gegenüber dem Ausgangszustand.



### Darstellung der Auswertung

Alle Daten zur Erfolgskontrolle der Gefügeoberfläche sind im Anhang in Tabelle Anhang 9 dokumentiert.

Die Veränderung der Gefügeoberfläche zwischen Ausgangszustand und Erfolgskontrolle sind in Tabelle 13 erfasst. Die auf Tabelle 13 basierende grafische Darstellung der Veränderungswerte zeigt Abbildung 11.

Tabelle 13: Gefügeoberfläche im Ausgangszustand und bei Erfolgskontrolle in  $m^2/m^3$

Projektnummer	Ausgangszustand	Erfolgskontrolle	Veränderung
1	2060	2650	590
2	610	1460	850
3.1	1215	1890	675
3.2	1215	2010	795
4	1520	2610	1090
5	1150	2330	1180
6	915	1620	705
7	390	1075	685
8	k.A.	k.A.	
9.1	1820	2160	340
9.2	1080	2780	1700
10	1290	1810	520
11	960	2030	1070
12	403	660	257
13	670	1920	1250
14	2090	2820	730
15	2570	2900	330
<b>16</b>	<b>515</b>	<b>509</b>	<b>-6</b>
17	456	1315	859
18	k.A.	k.A.	
<b>19</b>	<b>1760</b>	<b>1570</b>	<b>-190</b>
<b>20</b>	<b>1500</b>	<b>1360</b>	<b>-140</b>
21	580	1690	1110
22	600	1630	1030
23	670	1845	1175
<b>24</b>	<b>1610</b>	<b>975</b>	<b>-635</b>

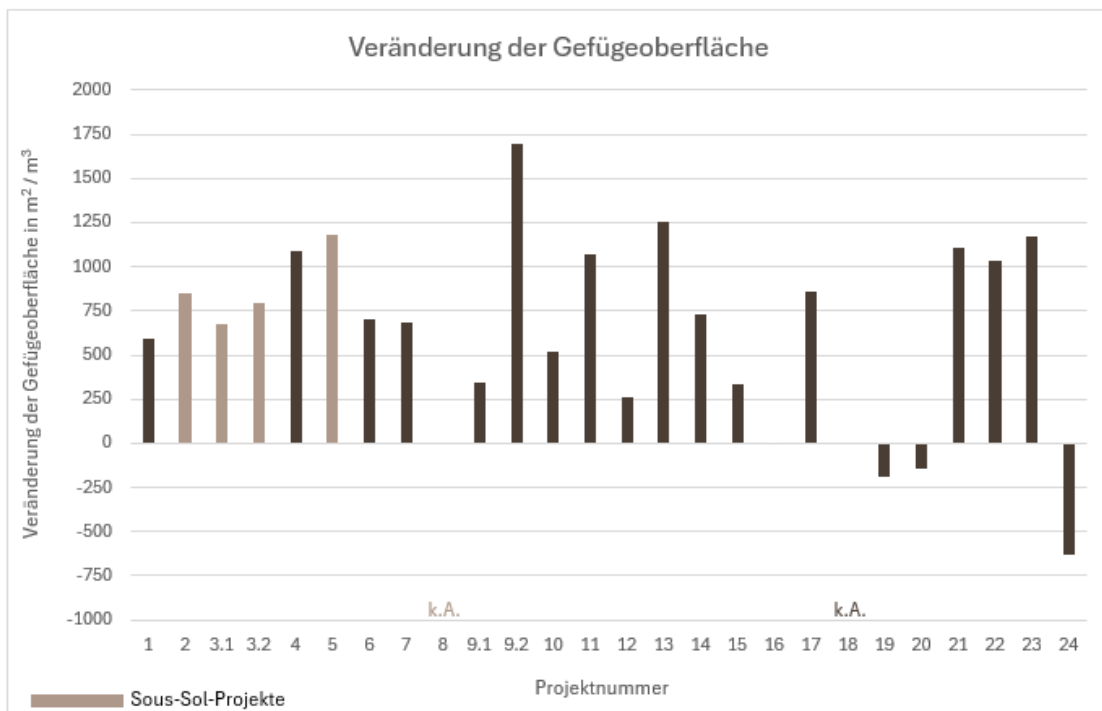


Abbildung 10: Veränderung der Gefügeoberfläche

## 7.9 Eindringwiderstand

### **Bedeutung**

Der Eindringwiderstand ist eine von 4 Messgrößen, um den Verdichtungsgrad eines Bodens zu ermitteln. Dabei gilt ein Richtwert von 2.0 MPa und ein Prüfwert von 3.5 MPa (Buchter et al., 2004). Aus den Richtwerten ergibt sich folgende Skala:

*Tabelle 14: Skala für Eindringwiderstand*

Eindringwiderstand	Skala
< 2 Mpa	unverdichtet
2 MPa - 3.5 Mpa	schwach verdichtet
>3.5 Mpa	stark verdichtet

### **Datenmaterial / Methodik**

Erfasst wurden der Ausgangszustand und der Zustand bei der Erfolgskontrolle mittels Penetrologger über mehrere Messstandorte pro Fläche, meist jeweils 10 Messpunkte auf einem Transekt von max. 2 m. Die Beschreibung erfolgte textlich über die Skalenwerte «unverdichtet» bis «stark verdichtet».

Um eine Veränderung der Werte im Diagramm zu visualisieren, wurden Zahlenwerte von 1 bis 3 vergeben, wobei 1 für unverdichtet, 2 für schwach verdichtet und 3 für stark verdichtet steht.

Für die Projekte 6 und 18 waren in der Zusammenfassung der Erfolgskontrollberichte keine Werte zum Ausgangszustand angegeben. Bei den Projekten 22 und 23 gab es 2 Erfolgskontrollen. Hier wurden wieder die Werte der zweiten Erfolgskontrolle berücksichtigt.

### **Auswertung**

Bei den meisten Projekten kam es zu einer leichten Verschlechterung des Eindringwiderstandes. Dies wurde zum Teil mit den eingebauten Materialeigenschaften erklärt. Trockenheit bei der Erfolgskontrolle führte bei einigen Projekten ebenfalls zu schlechteren Werten als im Ausgangszustand. Daher können die Werte für den Vergleich nicht als repräsentativ betrachtet werden. Alle Werte liegen im Bereich unverdichtet bis schwach verdichtet. Keines der Projekte wies eine limitierende Verdichtung auf.

### **Darstellung der Auswertung**

Die in den Erfolgskontrollen dokumentierten Eindringwiderstände im Ausgangszustand und bei Erfolgskontrolle wurden in Tabelle 15 zusammengeführt, in einen skalierbaren Zahlenwert übertragen und verglichen. Die grafische Darstellung der Veränderung des Eindringwiderstandes durch die Rekultivierung zeigt Abbildung 12.

*Tabelle 15: Ableitung der Skalenwerte für Ausgangszustand und Erfolgskontrolle*

Projekt-nummer	Ausgangszustand Eindringwiderstand	Ausgangszustand Skalenwert	Erfolgskontrolle Eindringwiderstand	Erfolgskontrolle Skalenwert	Veränderung	Verfahren
1	unverdichtet	1	in den obersten ca. 40 cm teilweise erhöhter Eindringwiderstand (> 2 Mpa)	2	-1	Pro-Sol
2	unverdichtet	1	unverdichtet	1	0	Sous-Sol
3.1	unverdichtet	1	unverdichtet	1	0	Sous-Sol
3.2	unverdichtet	1	unverdichtet	1	0	Sous-Sol

Projekt-nummer	Ausgangszustand Eindringwiderstand	Ausgangszustand Skalenswert	Erfolgskontrolle Eindringwiderstand	Erfolgskontrolle Skalenswert	Veränderung	Verfahren
4	unverdichtet, teilweise im Unterboden verdichtet	1.5	verdichtet	2	-0.5	Pro-Sol
5	unverdichtet	1	unverdichtet; zwischen 12 und 48 cm stellenweise verdichtet	2	-1	Sous-Sol
6	n.b.	k.A.	unverdichtet, teilweise erhöhte Lagerungsdichte (bis max. 3.5 MPa)	2	k.A.	Pro-Sol
7	unverdichtet	1	mehrheitlich unverdichtet, unterhalb 50 cm punktuell erhöhte Lagerungsdichte	1.5	-0.5	Pro-Sol
8	keine Messung im Ausgangszustand. Bei einer Referenzmessung auf der angrenzenden Parzelle wurde der Boden als unverdichtet beurteilt	1	verdichtet	2	-1	Sous-Sol
9.1	unverdichtet bis erhöhte Lagerungsdichte	1.5	unverdichtet, punktuell erhöhte Lagerungsdichte	1.5	0	Pro-Sol
9.2	unverdichtet	1	unverdichtet, punktuell erhöhte Lagerungsdichte	1.5	-0.5	Pro-Sol
10	mehrheitlich unverdichtet etwas dichter in ca. 30 cm Tiefe	1.5	verdichtete Bereiche bei 30 cm und unterhalb von 50 cm Tiefe	2	-0.5	Pro-Sol
11	mehrheitlich unverdichtet, teilweise Verdichtungen im Bereich zwischen 25 und 40 cm	1.5	unverdichtet	1	0.5	Pro-Sol
12	unverdichtet	1	mehrheitlich unverdichtet; punktuell erhöht	1.5	-0.5	Pro-Sol
13	unverdichtet, in einer Tiefe ab 40 cm teilweise erhöhte Lagerungsdichte	1.5	unverdichtet	1	0.5	Pro-Sol
14	unverdichtet, selten auch punktuell verdichtet	1.5	in der Regel mindestens punktuell verdichtet	1.5	0	Pro-Sol
15	unverdichtet	1	unverdichtet	1	0	Pro-Sol
16	unverdichtet	1	mehrheitlich unverdichtet; teilweise punktuell verdichtet oder verdichtet	2	-1	Pro-Sol
17	unverdichtet	1	mehrheitlich unverdichtet, vereinzelt punktuell verdichtet	1.5	-0.5	Pro-Sol
18		k.A.	unverdichtet, unterhalb des Reaktivierungshorizonts teilweise erhöhter	1.5	k.A.	Pro-Sol
19	unverdichtet	1	mehrheitlich unverdichtet; leicht verdichtet	1.5	-0.5	<b>Pro-Sol</b>
20	unverdichtet	1	mehrheitlich unverdichtet, teilweise unverdichtet	1.5	-0.5	Pro-Sol
21	unverdichtet	1	unverdichtet bis verdichtet	1.5	-0.5	Pro-Sol
22	unverdichtet	1	unverdichtet, punktuell erhöhter Eindringwiderstand im Bereich von 0 - ca. 30 cm Tiefe	1.5	-0.5	Pro-Sol
23	unverdichtet im Oberboden, erhöhte Werte ab ca. 50 cm	1.5	mehrheitlich unverdichtet, punktuell erhöhte Lagerungsdichte ab ca. 15 cm	2	-0.5	Pro-Sol
24	unverdichtet	1	unverdichtet bis teilweise verdichtet	1.5	-0.5	Pro-Sol

Alle Daten zur Erfolgskontrolle des Eindringwiderstandes sind im Anhang in Tabelle Anhang 10 dokumentiert.

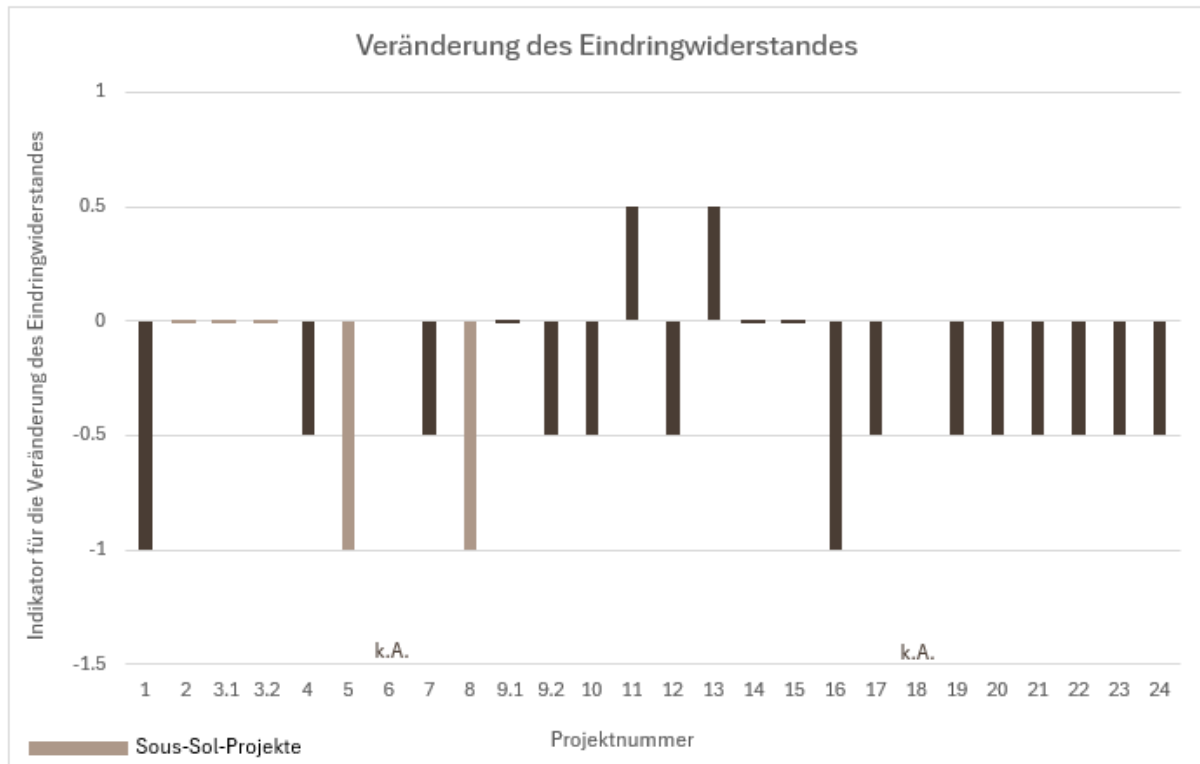


Abbildung 11: Indikator für die Veränderung des Eindringwiderstandes

### 7.10 Zusammenfassung der Veränderungen

Zur Einordnung, welche Projekte durch die Bodenrekultivierung die Bodenqualität verbesserten oder verschlechterten wurden zwei verschiedene Ansätze verfolgt. Beim Ansatz 1 wurden ohne Gewichtung die verbesserten und verschlechterten Merkmale zusammengezählt. War das Merkmal bei der Erfolgskontrolle besser als im Ausgangszustand wurde eine 1 vergeben, war es schlechter als im Ausgangszustand, wurde dies mit -1 berücksichtigt. Werte die gleich blieben, erhielten den Wert 0. Tabelle 16 zeigt ein Beispiel zur Vorgehensweise bei der Bewertung nach Ansatz 1.

Tabelle 16: Beispiel zur Bewertung nach Ansatz 1

	Oberboden	Unterboden	Bodenart (EK = Eignungsklasse)	Skelettgehalt-kategorie	Bodenwasserhaushaltsgruppe	PNG	Wurzelsraum	Gefügewert (BP=Bodenpunktzahl)	Gefügeoberfläche in m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	Eindringwiderstand	Summe positiver und negativer Veränderungen
Projekt 1	> 10cm geringer	> 40cm mächtiger	1-2 EK schlechter	2		+20 cm	0	+3 BP	+ 590	um Faktor 1 schlechter	0
pos. Veränderung = 1 neg. Veränderung = -1 keine Veränderung = 0	-1	1	-1	-1	0	1	0	1	1	-1	0

Eine Übersicht aller Merkmalsveränderungen mit ihrer Bewertung nach Ansatz 1 sind Tabelle 18 aufgeführt.

Nach dieser Methode wurde bei 10 Projekten eine Verbesserung durch die Bodenrekultivierung festgestellt, 7 Projekte zeigten in Summe schlechtere Bodenwerte als im Ausgangszustand und für 5 Projekte war die Summe der verbesserten bzw. verringerten Bodenwerte ausgeglichen. Die Projekte 2, 3, 9.1, 13, 18, 22 und 23 zeigten im Vergleich zu den anderen Projekten besonders viele verbesserte

Eigenschaften. Die Projekte 8 und 19 zeigten im Vergleich mit den anderen Projekten mehrheitlich verringerte Bodeneigenschaften.

Im Ansatz 2 wurde anhand der Tabellen 9.3b Ausprägung einzelner Bodenmerkmale und zugeordnete Eignungsklasse im «Übergangsgebiet ackerbaubetont» und 9.3c Ausprägung einzelner Bodenmerkmale und zugeordnete Eignungsklasse im «Übergangsgebiet futterbaubetont» der Schriftenreihe FAL 24 (FAL24, 1997) die Eignungsklasse im Ausgangszustand und bei der Erfolgskontrolle abgeleitet. Vernachlässigt werden musste dabei der Humusgehalt, da dieser nicht bekannt war. Da es sich bei allen Projekten um ebene Flächen handelte, wurde das Relief mit einer Neigung von max. 10% angenommen. Die Ableitung und der Vergleich der Eignungsklassen ist in Tabelle 19 zusammengefasst. Nach diesem Ansatz gibt es lediglich Projekte, welche sich um eine Eignungsklasse verschlechterten, 7 Projekte konnten um 2 Eignungsklassen besser eingestuft werden und für die restlichen Projekte ergab sich die gleiche oder eine bessere Eignungsklasse als im Ausgangszustand.

Ein direkter Vergleich beider Ansätze ist schwierig, da Ansatz 1 zusätzlich die Merkmale Oberbodenmächtigkeit, Unterbodenmächtigkeit, Wurzelraum, Gefügewert, Gefügeoberfläche und Eindringwiderstand berücksichtigte. Die starke Verringerung der Bodenqualität, welche sich im Ansatz 1 für die Projekte 8 und 19 zeigte, konnte mit Ansatz 2 nicht bestätigt werden.

Tabelle 17: Ergebnistabelle der Ansätze 1 und 2

Projekte	Verfahren	Auswertung	Auswertung
		Ansatz 1	Ansatz 2
		Summe positiver und negativer Veränderungen	Veränderung der Eignungsklasse
1	Pro-Sol-Verfahren	0	0
2	Sous-Sol-Verfahren	5	1
3.1	Sous-Sol-Verfahren	4	2
3.2	Sous-Sol-Verfahren	3	1
4	Pro-Sol-Verfahren	-1	1
5	Sous-Sol-Verfahren	0	0
6	Pro-Sol-Verfahren	2	2
7	Pro-Sol-Verfahren	1	-1
8	Sous-Sol-Verfahren	-5	0
9.1	Pro-Sol-Verfahren	4	1
9.2	Pro-Sol-Verfahren	0	2
10	Pro-Sol-Verfahren	-2	2
11	Pro-Sol-Verfahren	2	0
12	Pro-Sol-Verfahren	2	0
13	Pro-Sol-Verfahren	6	2
14	Pro-Sol-Verfahren	0	0
15	Pro-Sol-Verfahren	1	0
16	Pro-Sol-Verfahren	-1	0
17	Pro-Sol-Verfahren	0	1
18	Pro-Sol-Verfahren	4	0
19	Pro-Sol-Verfahren	-4	0
20	Pro-Sol-Verfahren	-3	-1
21	Pro-Sol-Verfahren	1	2
22	Pro-Sol-Verfahren	5	2
23	Pro-Sol-Verfahren	4	1
24	Pro-Sol-Verfahren	-1	0

Tabelle 18: Übersicht der Veränderung der Bodenmerkmale durch die Rekultivierung mit anschließender Aufsummierung ohne Gewichtung

	Oberboden	Unterboden	Bodenart (EK = Eignungsklasse)	Skelettgehalt- klasse	Bodenwasser- haushalts- gruppe	PNG	Wurzelraum	Gefügewert (BP=Bodenpunktzahl)	Gefügeoberfläche in m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	Eindring- widerstand	Summe positiver und negativer Veränderungen
Projekt 1	> 10cm geringer	> 40cm mächtiger	1-2 EK schlechter	2		+20 cm	0	+3 BP	+ 590	um Faktor 1 schlechter	0
Projekt 2	15 cm mächtiger	+17.5 cm	1-2 EK besser	0.5		+20 cm	0	> 10 BP besser	+850	0	5
Projekt 3.1	17.5 cm mächtiger	-5 cm	0	0		+20 cm	+5 cm	> 10 BP besser	+675	0	4
Projekt 3.2	-2.5 cm	+5 cm	0	0		+25 cm	0	> 10 BP besser	+795	0	3
Projekt 4	-6.5 cm	> 40cm mächtiger	1-2 EK schlechter	1		+20 cm	-5 cm	> 10 BP besser	> 1000 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> mehr	-0.5	-1
Projekt 5	-5 cm	+32.5 cm	0	0		0	-5 cm	> 10 BP besser	> 1000 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> mehr	um Faktor 1 schlechter	0
Projekt 6	-2.5 cm	+35 cm	1-2 EK besser	1		>30cm tiefer	-2.5 cm	+7.5 BP	+705	k.A.	2
Projekt 7	-2.5 cm	+25 cm	0	0		+15 cm	-2.5 cm	> 10 BP besser	+685	-0.5	1
Projekt 8	0	-17.5 cm	1-2 EK schlechter	0.5		10 cm geringer	k.A.	k.A.	k.A.	um Faktor 1 schlechter	-5
Projekt 9.1	0	+25 cm	0	1.5		>30cm tiefer	+5 cm	+5 BP	+340	0	4
Projekt 9.2	-5 cm	+10 cm	0	2		>40cm tiefer	-5 cm	> 10 BP besser	> 1000 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> mehr	-0.5	0
Projekt 10	> 10cm geringer	+27.5 cm	1 EK schlechter	0		+20 cm	ca. 10cm geringer	-1 BP	+520	-0.5	-2
Projekt 11	> 10cm geringer	> 40cm mächtiger	1 EK schlechter	0.5		>30cm tiefer	0	> 10 BP besser	> 1000 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> mehr	+0.5	2
Projekt 12	-7.5 cm	+35 cm	1 EK besser	2		>30cm tiefer	0	> 10 BP besser	+257	-0.5	2
Projekt 13	2.5 cm	> 40cm mächtiger	0	0		>50cm tiefer	0	> 10 BP besser	> 1000 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> mehr	+0.5	6
Projekt 14	> 10cm geringer	+17.5 cm	1-2 EK schlechter	1.5		+10 cm	ca. 15 cm geringer	+10 BP	+730	0	0
Projekt 15	-8 cm	+12 cm	k.A.	1		+20 cm	-5 cm	+1 BP	+330	0	1
Projekt 16	> 10cm geringer	> 40cm mächtiger	1-2 EK besser	0.5		>30cm tiefer	k.A.	0	-6	um Faktor 1 schlechter	-1
Projekt 17	-3 cm	+8 cm	0	1		>30cm tiefer	-2.5 cm	> 10 BP besser	+859	-0.5	0
Projekt 18	7.5 cm mächtiger	+24 cm	k.A.	-4.5		>40cm tiefer	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	4
Projekt 19	> 10cm geringer	> 40cm mächtiger	0	1		+20 cm	ca. 15 cm geringer	-7 BP	- 190 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	-0.5	-4
Projekt 20	-7.5 cm	> 40cm mächtiger	1-2 EK schlechter	0.5		+10 cm	ca. 10cm geringer	+4 BP	- 140 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	-0.5	-3
Projekt 21	-4 cm	+32 cm	1-2 EK besser	0.5		+20 cm	ca. 10cm geringer	> 10 BP besser	> 1000 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> mehr	-0.5	1
Projekt 22	15 cm mächtiger	+30 cm	1 EK besser	3		>30cm tiefer	>10 cm stärker	+4 BP	> 1000 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> mehr	-0.5	5
Projekt 23	+5 cm	> 40cm mächtiger	0	0.5		>50cm tiefer	>10 cm stärker	> 10 BP besser	> 1000 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> mehr	-0.5	4
Projekt 24	> 10cm geringer	+22.5 cm	1-2 EK besser	0		0	+5 cm	-5 BP	- 635 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	-0.5	-1

Tabelle 19: Ableitung und Vergleich der Eignungsklasse im Ausgangszustand und bei Erfolgskontrolle (unter Berücksichtigung der jeweiligen Klimazone)

Projekt- nummer	Klima- zone	Ausgangszustand							Erfolgskontrolle							Verän- derung der EK
		PNG ø	Stau- nässe	Fremdnässe	Wasserhaus- haltsgruppe	Skelett- klasse	Körnungs- klasse	Eignungs- klasse (EK)	PNG ø	Stau- nässe	Fremdnässe	Wasserhaus- haltsgruppe	Skelett- klasse	Körnungs- klasse	Eignungs- klasse (EK)	
Projekt 1	A4	40	I4		q	1	12	6	60	I1	G1, G2, G4, G5, R1, R2	c,t	0-5	1-10	6	0
Projekt 2	A5	40	I4		q	0	7	7	60		G3-G5, R1, R2	l,t	0,1	4-12	6	1
Projekt 3.1	A5	40	I4		q	0	12	7	60		G3, R1	k,l	0	12	5	2
Projekt 3.2	A5	40	I4		q	0	12	7	65		G3, R1	k,l,m	0	12	6	1
Projekt 4	A5	40	I4		q	0	6	7	60		G3-G5, R1, R2	l,t	0-2	4-10	6	1
Projekt 5	A5	85	I1, I2	G1, G2	b,f	0	6	5	85	I2		f	0	4	5	0
Projekt 6	A5	20		R2-R4, G4-G6	w,y	0	12	9	50	I3, I4	R1-R3, G4-G6	o,p,t,u,v,w	1	3,4	7	2
Projekt 7	A4	60	I2		g	0	10 bis 12	4	75	I2		b,c	0	2-12	5	-1
Projekt 8	A5	40	I1, I2	G1-G3, R1	d,h,m	1	6	6	30	I1	G1, G2	d	0	12	6	0
Projekt 9.1	A5	30		R3,R2, G5, G6, G4	w	0	5 bis 6	7	60		G3-G5, R1, R2	l,t	0-3	2,3,4	6	1
Projekt 9.2	A5	40	I3, I4	R1, R2, G4, G5	p,u	0	6 - 7	7	85	I1, I2	G1-G3, R1	b,f,k	2	3-10	5	2
Projekt 10	A4	40	I4		q	0	12	6	60	I2		g	0	10	4	2
Projekt 11	A4	40	I4		q	0	12	6	75	I1-I4	G1-G5,R1, R2	b,c,f,g,k,l,o,s,t	0,1	2-10	6	0
Projekt 12	A5	40	I3, I4	R1, R2, G4, G5	p,u	0	12	7	75	I1-I4	G1-G5,R1, R2	b,c,f,g,k,l,o,s,t	1-3	3	7	0
Projekt 13	A5	20		R3,R2, G5, G6, G4	w	0	6	9	75	I3, I4	R2, R1, G4, G5	o,s,t	0	4,5	7	2
Projekt 14	A4	65	I2-I4	G3, R1	f,g,h,k,l,m,o,p,q	1	3 bis 12	6	75	I2-I4	G3-G5, R1, R2	f,g,k,l,o,s,t	1-3	2-4	6	0
Projekt 15	A4	30		R3,R2, G5, G6, G4	w	0	n.b.	7	50	I2-I4	R1-R3, G4-G6	l,m,o,p,t,u,v,w	0-2	5,4,3,2	7	0
Projekt 16	A4	40	I4		q	0	12	6	75	I3, I4	R2, R1, G4, G5	o,s,t	0,1	2-3, 12,5	6	0
Projekt 17	A5	20		R3,R2, G5, G6, G4	w	0	7	8	50	I2-I4	G3-G5, R1, R2	g,h,l,m,o,p,t,u	0-2	7-12	7	1
Projekt 18	A5	5	k.A.	k.A.	k.A.	>3	k.A.		50	I1	G1, G2	c,d	0,1	k.A.		0
Projekt 19	A4	30		R1-R3, G4-G6	u,w	0	12	7	50	I3, I4	R1-R3, G4-G6	o,p,t,u,v,w	0-2	3 (z.T. 12)	7	0
Projekt 20	A4	40	I4		q	0	12	6	50	I2	R3, R2, G4-G6	g,h,v,w	0,1	2 (z.T. 1, 10)	7	-1
Projekt 21	A5	40	I2-I4		h,p	0	6 bis 12	7	60	I1, I2	G1, G2	c,g	0,1	3	5	2
Projekt 22	A5	20		R3,R2, G5, G6, G4	w	0	12	8	50		R2, R1, G4, G5	t,u	2-4	4,5	6	2
Projekt 23	A5	20		R3,R2, G5, G6, G4	w	0	6	8	75	I1, I3, I4	G1, G2, R1, R2, G4, G5	b,c,o,s,t	0,1	3	7	1
Projekt 24	A5	40	I3, I4	R1, R2, G4, G5	p,u	0	12	7	40	I1	G1, G2, R2, R3, G4-G6	c,d,v,w	0	3-12	7	0

## 8 Erdarbeiten

Zur Rekultivierung von Böden gibt es zwei gängige Verfahren, welche von der Agrotterraconsult AG Pro-Sol-Verfahren und Sous-Sol-Verfahren genannt werden. Während beim Sous-Sol-Verfahren der Boden abhumusiert und der Unterboden und Oberboden neu aufgebaut werden, erfolgt beim Pro-Sol-Verfahren nur ein Bodenauftrag ohne vorgängige Abhumusierung. Letzteres Verfahren ist bei der Agrotterraconsult AG das Gängigste. Von 24 Projekten wurden 4 Projekte im Sous-Sol-Verfahren durchgeführt und 20 Projekte im Pro-Sol-Verfahren.

*Tabelle 20: Übersicht der angewendeten Verfahren pro Projekt*

Projekt-Nr.	Verfahren
2	Sous-Sol-Verfahren
3	Sous-Sol-Verfahren
5	Sous-Sol-Verfahren
8	Sous-Sol-Verfahren
1	Pro-Sol-Verfahren
4	Pro-Sol-Verfahren
6	Pro-Sol-Verfahren
7	Pro-Sol-Verfahren
9	Pro-Sol-Verfahren
10	Pro-Sol-Verfahren
11	Pro-Sol-Verfahren
12	Pro-Sol-Verfahren
13	Pro-Sol-Verfahren
14	Pro-Sol-Verfahren
15	Pro-Sol-Verfahren
16	Pro-Sol-Verfahren
17	Pro-Sol-Verfahren
18	Pro-Sol-Verfahren
19	Pro-Sol-Verfahren
20	Pro-Sol-Verfahren
21	Pro-Sol-Verfahren
22	Pro-Sol-Verfahren
23	Pro-Sol-Verfahren
24	Pro-Sol-Verfahren

Die Erdarbeiten umfassen verschiedene Faktoren, die nachfolgend aufgelistet sind:

Material:	eingebaute Bodenart und Kubatur
Logistik:	Einsatz von Maschinen, Erstellung von Zwischendepots, Anlage von Transportpisten, Zustand des Bodens
Erdarbeiten:	Verfahren, Bodenvorbereitung, Einbauarbeiten, Bodenlockerung und -nachbereitung
Rekultivierungsarbeiten:	Steine und Holzreste ablesen, Ansaat der Begrünung, Bodenbearbeitung / Bodenlockerung
Folgebewirtschaftung:	gemäss der vertraglichen Vereinbarung mit dem Landwirt



## 8.1 Material

Das einzubauende Material war oftmals nicht von einem einzigen Standort verfügbar, sondern musste von verschiedenen Standorten angeliefert werden. Daraus ergaben sich verschiedenste Zusammensetzungen von Bodenarten. Tabelle 21 zeigt das eingebaute Material pro Projekt.

Tabelle 21: Eingebaute Bodenarten je Projekt

Pro- jekt	Kubatur	eingebaute Bodenarten									Bemerkung
	mittlere Einbaumächtigkeit in m (berechnet aus Einbaufläche in m <sup>2</sup> und Kubatur (lose) gesamt in m <sup>3</sup> )	Sand	schluffiger Sand	lehmi-ger Sand	sandi-ger Schluff	lehm-rei-cher Sand	sandi-ger Lehm	Lehm	lehmi-ger Schluff	Einbau von Schlamm / Schwemmerde	
1	0.23	48%	8%		44%						
2	0.53		95%							x	5% unbe- kannt
3.1	0.35			100%						x	
3.2	0.35			100%						x	
4	0.57				100%						
5	0.22			100%						x	
6	0.31	1%	16%	83%							
7	0.33	20%	11%		22%		31%		5%		11% unbe- kannt
8	1.53										70% Ton und Schluff; 20% Sand; 10% Kies
9.1	0.5				100%						
9.2	0.28				100%						
10	0.23		100%								
11	0.22	97%			3%						
12	0.42			77%					23%		
13	0.50			100%						x	
14	0.28	5%		35%		58%					2% unbe- kannt
15	0.28		80%			16%					4% unbe- kannt
16	0.24		88%			8%					4% unbe- kannt
17	0.53	2%		32.50%				58%	7.50%	x	
18	0.26			42.50%					57.50%		
19	0.30		32%	68%							
20	0.29		75%	25%							
21	0.48		100%								
22	0.56			68%					11%		21% unbe- kannt
23	0.37	75.50%							19%	x	5.5% unbe- kannt
24	0.31			100%							

## 8.2 Logistik und Erdarbeiten

Unter Logistik und Erdarbeiten wurde beschrieben, ob und wie das Feld vorbereitet wurde, welche Maschinen zum Einsatz kamen, ob und wie oft der Boden gelockert wurde und welche Geräte dafür eingesetzt wurden, welche Abschlussarbeiten nach Einbau und Planie durchgeführt wurden und welche Nacharbeiten notwendig waren. Erfasst wurden auch die Witterungs- und Bodenverhältnisse, der Skelettgehalt im Aushubmaterial, Bodenschutzmassnahmen und Besonderheiten während des Projektes.

Tabelle 22: Übersicht der Logistik und Erdarbeiten pro Projekt

	Feldvorbereitung	Maschineneinsatz	Lockerung mehrmals während des Einbaus	Lockerung nach Einbau und Planie	Ableasen von Steinen	Witterungs- und Bodenverhältnisse	lose Schüttung	erhöhter Skelettgehalt im Aushubmaterial	Bodenschutz	Besonderheiten	Einbau mit GPS-gesteuerten Maschinen
<b>Abkürzungen</b>	A = Ansaat B = Baggerschaufel D = Dozer mit Moorlaufwerk G = Grubber g = gespaatet K = Kippanhänger kw = kreuzweise L = LKW Lo = Lockerung MH = Moordozer mit Heckaufreisser R = Raupenbagger /-lader S = Spatenmaschine Sg = Scheibengrubber T = Traktor TL = Tiefenlockerer					g = gefroren f = feucht n = nass st = sehr trocken t = trocken		BM = Baggermatratze H = Holzschnitzzelle R = Raupenbagger /-lader TE = Transportpiste aus Erdaushub TK = Transportpiste aus Kies V = Vorschüttung			
1		DTK		GS		g			TE, R		
2	Lo			G		t	x		BM		
3.1		L			x	f		x	R, BM		
3.2		L			x	f		x	R, BM		
4	LoSg	D		G	x	t			TE		
5		TK		G		t			R		
6				G	x	t		x	R		
7	gA	DL	TG	S	x				TE	Traktor mit Planierschild (Lasersteuerung); lange Bauunterbrüche; Befahrung mit LKWs ohne Schutzmassnahmen	
8		RM					x		R		
9.1	G, TL	DLTK		G	x				TE		x

	Feldvorbereitung	Maschineneinsatz	Lockerung mehrmals während des Einbaus	Lockerung nach Einbau und Planie	Ablezen von Steinen	Witterungs- und Bodenverhältnisse	lose Schüttung	erhöhter Skelettgehalt im Aushubmaterial	Bodenschutz	Besonderheiten	Einbau mit GPS-gesteuerten Maschinen
9.2	G, TL	DLTK		G	x				TE		x
10		D		G		g			R, BM		
11		D		TG		n			R, BM, TE	mehrere Monate keine Lockerungsarbeiten möglich, da Fläche zu nass war	
12	LoMH	DLTK		kwMH	x	g					
13		TK		G	x	t			R	hoher Skelettanteil im gewachsenen Boden, Felssturzgebiet	
14	LoG	D		GS		St			R, BM, TE		
15		DLK		GS	x	st			R, TE		
16		DL		GS	x	st			R, TE		
17				GS	x	t	x	x	R, BM		x
18	LoSg	L	x	x	x	g, t			V, R, BM		
19	LoG	D				f			R, BM, TE		
20		DLK		GS					R, BM, TE		
21			x	X					R, H	Baubeginn ohne Baufreigabe	
22	LoTG					n		x	BM, R	zu geringe Tragfähigkeit des Bodens, ungeübter Maschinist, Konkurs des Auftragnehmers	
23	LoB	L				t	x		R, TK	hoher Skelettanteil im gewachsenen Boden	
24	LoTG	DTK		kwMH	x	t			H		

Es wird angenommen, dass wenn ein Arbeitsgang nicht erwähnt wurde, dieser aufgrund der Gegebenheiten nicht notwendig war.

### 8.3 Rekultivierungsarbeiten

Die Rekultivierungsarbeiten fanden immer direkt nach Abschluss der Erdarbeiten statt. Arbeitsschritte wie Steine und Holzreste ablesen sowie Bodenbearbeitung und Bodenlockerung wurden nur durchgeführt, wenn dies von den Bedingungen her notwendig war.

Tabelle 23: Übersicht der Rekultivierungsarbeiten pro Projekt

Projekt-nummer	Steine und Holzresten von Hand ablesen	Meliorationsdüngung mittels Torf, festem Gärgut oder mit Mist	Bodenbearbeitung / Bodenlockerung	Vermischung von gewachsenem Oberbodenhorizont und Rekultivierungshorizont	Ansaat Gründüngung
1		x		x	x
2	x	x	x		x
3	x	x			x
4		x	x		x
5	x	x			x
6					x
7		x	x		x
8		x	x		x
9		x			x
10		x	x		
11		x	x	x	x
12		x	x		x
13		x			x
14		x	x	x	x
15		x	x	x	x
16		x		x	x
17		x	x		x
18		x	x		x
19		x	x	x	x
20					x
21			x	x	x
22			x		x
23		x	x		x
24		x			x

### 8.4 Folgebewirtschaftung

Nach Abschluss der Rekultivierungsarbeiten werden dem Landwirt Vorgaben bezüglich der Folgebewirtschaftung gemacht und vertraglich festgehalten. Diese basieren auf den Schweizer Richtlinien und können je nach Gegebenheit, Zielsetzung und Bodenbeschaffenheit angepasst werden. Bei allen Projekten wurde eine Erfolgskontrolle ca. 3 Jahre nach Abschluss der Rekultivierungsarbeiten vertraglich vereinbart. Es wird davon ausgegangen, dass der Landwirt die Folgebewirtschaftung gemäss vertraglicher Vereinbarung durchführte.

## 9 Zusammenhänge zwischen Erfolgskontrolldaten und Erdarbeiten

Eine tiefgründige Analyse von Zusammenhängen zwischen den Erdarbeiten und den Ergebnissen der Erfolgskontrollen ist im zeitlichen Rahmen dieser Arbeit nicht möglich. Daher wird auf statistische Auswertungen verzichtet. Dennoch wurde versucht, positive und negative Faktoren abzuschätzen indem Projekte, welche besonders gut abschnitten, hinsichtlich Material, Logistik und Rekultivierungsarbeiten verglichen wurden.

### Material

Je nach Ansatz ergeben sich verschiedene Aussagen zum Material als Faktor für gute oder weniger gute Rekultivierungsergebnisse. Tabelle 24 gibt einen Überblick über das eingebauten Material pro Projekt zusammen mit den Auswertungsergebnissen der Erfolgskontrollen.

Tabelle 24: Übersicht des eingebauten Materials pro Projekt zusammen mit den Auswertungsergebnissen der Erfolgskontrollen

Projekte	Verfahren (PS = Pro-Sol; SS=Sous-Sol)	mittlere Einbaumächtigkeit in m (berechnet aus Einbaufläche in m <sup>2</sup> und Kubatur (lose) gesamt in m <sup>3</sup> )	Sand	schluffiger Sand	lehmiger Sand	sandiger Schluff	lehmreicher Sand	sandiger Lehm	Lehm	lehmiger Schluff	Einbau von Schlamm / Schwemmerde	Bemerkung	Summe positiver und negativer Veränderungen	Veränderung der Eignungsklasse
1	PS	0.23	48%	8%		44%							0	0
2	SS	0.53		95%							x		5	1
3.1	SS	0.35			100%						x		4	2
3.2	SS	0.35			100%						x		3	1
4	PS	0.57				100%							-1	1
5	SS	0.22			100%						x		0	0
6	PS	0.31	1%	16%	83%								2	2
7	PS	0.33	20%	11%		22%		31%		5%		11% unbekannt	1	-1
8	SS	1.53								x <sup>4</sup>		70% Ton und Schluff; 20% Sand; 10% Kies	-5	0
9.1	PS	0.5				100%							4	1
9.2	PS	0.28				100%							0	2
10	PS	0.23		100%									-2	2
11	PS	0.22	97%			3%							2	0
12	PS	0.42			77%					23%			2	0
13	PS	0.50			100%						x		6	2
14	PS	0.28	5%		35%		58%					2% unbekannt	0	0
15	PS	0.28		80%			16%					4% unbekannt	1	0
16	PS	0.24		88%			8%					4% unbekannt	-1	0
17	PS	0.53	2%		32.50%			58%	7.50%	x			0	1
18	PS	0.26			42.50%				57.50%				4	0
19	PS	0.30		32%	68%								-4	0
20	PS	0.29		75%	25%								-3	-1
21	PS	0.48		100%									1	2
22	PS	0.56			68%				11%			21% unbekannt	5	2
23	PS	0.37	75.50%						19%	x		5.5% unbekannt	4	1
24	PS	0.31			100%								-1	0

<sup>4</sup> gemäss Bodenart bei der Erfolgskontrolle

## Analyse des Zusammenhangs zwischen Einbaumaterial, Einbaumächtigkeit und den Auswertungsergebnissen

### **Ansatz 1**

Projekte, welche mindestens 4 bessere Bodeneigenschaften im Vergleich zum Ausgangszustand aufwiesen, verwendeten für den Einbau folgende Materialien:

- lehmiger Sand 100% mit einer mittleren Einbaumächtigkeit von 0.35 m (SS)<sup>5</sup>
- lehmiger Sand 100% mit einer mittleren Einbaumächtigkeit von 0.5 m (PS)<sup>6</sup>
- schluffiger Sand 95% mit einer mittleren Einbaumächtigkeit von 0.53 m (SS)
- sandiger Schluff 100% mit einer mittleren Einbaumächtigkeit von 0.5 m (PS)
- Sand 75.5% und lehmiger Schluff 19% mit einer mittleren Einbaumächtigkeit von 0.37 m (PS)
- lehmiger Sand 68% und lehmiger Schluff 11% mit einer mittleren Einbaumächtigkeit von 0.56 m (PS)
- lehmiger Sand 42.5% und lehmiger Schluff 57.5% mit einer mittleren Einbaumächtigkeit von 0.26 m (PS)

Projekte, bei welchen die Eigenschaften überwogen, welche sich im Vergleich zum Ausgangszustand verringert haben, wurde eine Kombination aus schluffigem Sand und lehmigem Sand eingebaut.

- schluffiger Sand 32% und lehmiger Sand 68% mit einer mittleren Einbaumächtigkeit von 0.3 m (PS)
- schluffiger Sand 75% und lehmiger Sand 25% mit einer mittleren Einbaumächtigkeit von 0.29 m (PS)

Bei Projekt 8, welches bei diesem Auswertungsverfahren am schlechtesten abschnitt, wurde mittelschwerer Boden (lehmiger Schluff) mit einer mittleren Einbaumächtigkeit von 1.53 m eingebaut.

Werden andere Projekte mit den gleichen Einbaumaterialverhältnissen geprüft, wie sie bei den sich positiv entwickelten Projekten verwendet wurden, ist festzustellen, dass sich darunter auch Projekte befinden, bei welchen sich die Bodeneigenschaften mehrheitlich verringert haben. So z.B. bei Projekt 2 und 10, siehe Tabelle 25. Hier könnten zusätzlich das Verfahren oder die höhere Einbaumächtigkeit eine Rolle spielen. Ähnlich verhält es sich mit Projekt 3.1 und 24.

Dass Einbaumächtigkeit, Verfahren und eingebautes Material alleinige Indikatoren sein könnten für eine positive oder negative Beeinflussung des Rekultivierungserfolges, wird spätestens im Vergleich von Projekt 9.1 und 4 fraglich. Bei beiden wurde das gleiche Verfahren angewandt, eine ähnlich Mächtigkeit eingebaut und 100% sandiger Schluff verwendet. Dennoch weisen sie nach Ansatz 1 sehr unterschiedliche Auswertungsergebnisse auf.

---

<sup>5</sup> SS = Sous-Sol

<sup>6</sup> PS = Pro-Sol

Tabelle 25: Analyse der Auswirkung der Einbaumaterialien auf die Verbesserung der Bodeneigenschaften

Projekte	Verfahren	mittlere Einbaumächtigkeit in m	Sand	schluffiger Sand	lehmiger Sand	sandiger Schluff	lehmiger Schluff	Summe pos. u. neg. Veränderungen
2	SS	0.53		95%				5
3.1	SS	0.35			100%			4
13	PS	0.50			100%			6
9.1	PS	0.5				100%		4
18	PS	0.26			42.50%		57.50%	4
22	PS	0.56			68%		11%	5
23	PS	0.37	75.50%				19%	4

Summe pos. u. neg. Veränderungen	Projekte	Verfahren	mittlere Einbaumächtigkeit in m	schluffiger Sand	lehmiger Sand	sandiger Schluff	lehmreicher Sand	Lehm	lehmiger Schluff
-2	10	PS	0.23	100%					
-1	16	PS	0.24	88%			8%		
1	21	PS	0.48	100%					
3	3.3	SS	0.35		100%				
0	5	SS	0.22		100%				
-1	24	PS	0.31		100%				
-1	4	PS	0.57			100%			
0	9.2	PS	0.28			100%			
2	12	PS	0.42		77%				23%
0	17	PS	0.53		32.50%			58%	7.50%

### Ansatz 2

Projekte, bei welchen die Auswertung nach Ansatz 2 eine Verbesserung um 2 Eignungsklassen ergab, verwendeten für den Einbau folgende Materialien:

- lehmiger Sand 100% mit einer mittleren Einbaumächtigkeit von 0.35 m (SS)
- lehmiger Sand 100% mit einer mittleren Einbaumächtigkeit von 0.5 m (PS)
- lehmiger Sand 68% und lehmiger Schluff 11% mit einer mittleren Einbaumächtigkeit von 0.56 m (PS)
- schluffiger Sand 100% mit einer mittleren Einbaumächtigkeit von 0.53 m und 0.23 m (PS)
- sandiger Schluff 100% mit einer mittleren Einbaumächtigkeit von 0.28 m (PS)
- lehmiger Sand 83%, schluffiger Sand 16% und Sand 1% mit einer mittleren Einbaumächtigkeit von 0.31 m (PS)

Bei den beiden Projekten, für welche sich die Eignungsklasse um 1 verringerte, wurden folgende Materialien eingebaut:

- Sand 20%, schluffiger Sand 11%, sandiger Schluff 22%, sandiger Lehm 31%, lehmiger Schluff 5% mit einer mittleren Einbaumächtigkeit von 0.33 m (PS)
- Schluffiger Sand 75% und lehmiger Sand 25% mit einer mittleren Einbaumächtigkeit von 0.29 m (PS)

Werden andere Projekte mit den gleichen Einbaumaterialverhältnissen geprüft, wie sie bei den sich positiv entwickelten Projekten verwendet wurden, zeigt sich dass auch dort zum Teil eine Verbesserung um eine Eignungsklasse erreicht wurde, zum Teil die Eignungsklasse aber auch gleich blieb (siehe Tabelle 26). Eine Verschlechterung wurde mit diesen Einbaukombinationen nicht festgestellt.

Tabelle 26: Analyse der Auswirkung der Einbaumaterialien auf die Verbesserung der Eignungsklasse

Projekte	Verfahren	mittlere Einbaumächtigkeit in m	schluffiger Sand	lehmiger Sand	sandiger Schluff	lehmiger Schluff	Einbau Schlamm / Schwemmerde	Veränderung der Eignungsklasse
3.1	SS	0.35		100%			x	2
13	PS	0.50		100%			x	2
10	PS	0.23	100%					2
21	PS	0.48	100%					2
9.2	PS	0.28			100%			2
22	PS	0.56		68%		11%		2
6	PS	0.31	16%	83%				2

Veränderung der Eignungsklasse	Projekte	Verfahren	mittlere Einbaumächtigkeit in m	schluffiger Sand	lehmiger Sand	sandiger Schluff	lehmiger Schluff	Einbau Schlamm / Schwemmerde
1	3.2	SS	0.35		100%			x
0	5	SS	0.22		100%			x
0	24	PS	0.31		100%			
1	2	SS	0.53	95%				x
1	4	PS	0.57			100%		
1	9.1	PS	0.5			100%		
0	12	PS	0.42		77%		23%	
0	18	PS	0.26		42.50%		57.50%	
0	19	PS	0.30	32%	68%			

### Zusammenfassende Betrachtung der beiden Ansätze

Projekte mit folgendem Materialeinbau haben in beiden Auswertungen eine erfolgreiche Rekultivierung angezeigt:

- lehmiger Sand 100% mit einer mittleren Einbaumächtigkeit von 0.35 m (SS)
- lehmiger Sand 100% mit einer mittleren Einbaumächtigkeit von 0.5 m (PS)
- lehmiger Sand 68% und lehmiger Schluff 11% mit einer mittleren Einbaumächtigkeit von 0.56 m (PS)
- sandiger Schluff 100% mit unterschiedlichen Einbaumächtigkeiten (PS)
- schluffiger Sand >95% mit unterschiedlichen Einbaumächtigkeiten

Dennoch bleibt es eine Vermutung, dass sich lehmiger Sand, sandiger Schluff oder schluffiger Sand positiv auf den Erfolg der Bodenkultivierung auswirken. Sicher ist, dass dies nicht die alleinigen Faktoren sind, welche den Rekultivierungserfolg beeinflussen.

Auffällig ist, dass bei beiden Ansätzen die Kombination von schluffigem Sand und lehmigem Sand mit einer Einbaumächtigkeit von ca. 0.3m (im PS-Verfahren) zu weniger guten Ergebnissen führten. Aber auch dies bleibt vorerst nur eine Vermutung.



### ***Logistik und Erdarbeiten***

Betreffend der Logistik und Erdarbeiten waren keine eindeutigen Hinweise erkennbar, welche sich besonders positiv oder negativ auf die Rekultivierung auswirkten. Projekte, welche während der Rekultivierung mit widrigen Umständen wie Nässe oder hohem Skelettanteil konfrontiert waren, wiesen bei der Erfolgskontrolle dennoch eine gute Bodenqualität auf.

Da jedes Projekt anders ist, gibt es trotz verschiedener Normen und Richtlinien kein Standardverfahren für die Realisierung von Rekultivierungsprojekten. Ausgangssituation und Rekultivierungsziel sind in jedem Projekt neu zu beurteilen. Die technischen Umsetzungsdetails (v. a. Rekultivierungstechnik und Baustellenerschliessung) müssen dann entsprechend an die spezifischen Standorteigenschaften eines Rekultivierungsprojekts angepasst werden (Bellini, 2015).

### ***Rekultivierungsarbeiten***

Auch der Vergleich der Rekultivierungsarbeiten zeigte keine wesentlichen Unterschiede zwischen den Projekten. Bei fast allen Projekten erfolgten eine Meliorationsdüngung, eine Bodenlockerung und die Ansaat einer Gründüngung. Die wenigen Projekte, für welche keine Meliorationsdüngung, Bodenlockerung oder Ansaat einer Gründüngung angegeben war, schnitten ähnlich ab wie Projekte, bei welchen diese Schritte durchgeführt wurden.

## 10 Diskussion

Der zeitliche Rahmen dieser Arbeit liess keine detaillierte und vollumfängliche Erfassung der Daten aus den Erfolgskontrollen zu. So wurde hauptsächlich mit den in den Erfolgskontrollberichten bereits zusammengefassten Daten gearbeitet, wodurch sich eine gewisse Unschärfe ergibt. Jede Erfolgskontrolle erhebt Daten von mehreren stichprobenartig ausgewählten Standorten einer Fläche und dokumentiert diese im Anhang des Erfolgskontrollberichtes. Im Erfolgskontrollbericht selbst werden diese zusammengefasst beurteilt, was bei verschiedenen Faktoren zu von/bis-Angaben führt, da eine Fläche natürlicherweise selten homogen ist. Die rekultivierten Flächen sind relativ gross und oftmals musste Bodenmaterial von unterschiedlicher Herkunft und Zusammensetzung eingebaut werden. Auch dies ist ein Grund für die Entstehung heterogener Bereiche einer rekultivierten Fläche und der sich daraus ergebenden Spannweite an Messwerten. Aus den von/bis-Angaben wurden Mittelwerte gebildet, was zu Ungenauigkeiten geführt haben könnte.

Daten, welche nur in den detaillierten Dokumentationen im Anhang, nicht aber in der Zusammenfassung der Erfolgsberichte erwähnt waren, wurden nicht erfasst. So kam es bei einigen wenigen Projekten zu fehlenden Daten, was vor allem bei der in Ansatz 1 gewählten Vorgehensweise Ursache für eine Verfälschung sein kann. Denn aufgrund der fehlenden Daten konnten diese nicht in der Anzahl positiver und negativer Veränderungen berücksichtigt werden.

Zu einer Ungenauigkeit bei der Ableitung der Eignungsklassen im Auswertungsansatz 2 könnte die Schätzung der Wasserhaushaltsklasse geführt haben. Wie in Kapitel 7.5 beschrieben, wurde diese aus der Kombination von Wasserhaushaltsgruppe und Pflanzennutzbarer Gründigkeit abgeleitet, was in einigen Fällen nicht ganz eindeutig möglich war.

Für die Auswertung der Erfolgskontrolldaten wurden zwei unterschiedliche Ansätze gewählt, welche zum Teil zu widersprüchlichen Aussagen führten. Daher konnten Vermutungen formuliert, aber keine sicheren Aussagen zu erfolgsversprechenden bzw. erfolgsschmälernden Faktoren getroffen werden.

## 11 Fazit / Ausblick

Bisherige Untersuchungen zu Bodenaufwertungen ergaben, dass ein geringer Skelettanteil und möglicherweise die Verwendung einer Bodenart mit höherem Schluffanteil den Erfolg von Bodenrekultivierungen positiv beeinflussen könnten. Negativ beeinflusst wird der Erfolg wahrscheinlich durch die Verwendung von sehr tonreichem Boden und durch eine zu geringe Mächtigkeit von Unter- und Oberboden (vgl. Kapitel 6.9).

Die Auswertungen der Erfolgskontrollen und der Berichte zu den Erdarbeiten lassen vermuten, dass Bodenarten mit einem sehr hohen Anteil an lehmigem Sand, sandigem Schluff oder schluffigem Sand den Rekultivierungserfolg positiv beeinflussen könnten (vgl. Kapitel 9). Sandiger Schluff hat einen Schluffanteil von mehr als 50%. Dessen positiver Einfluss könnte die Annahme aus den bisherigen Untersuchungen stärken. Seine Neigung zu Verdichtung und Verschlammung lässt aber nach wie vor einen Verbehalt offen.

Da sich der Skelettgehalt bei fast allen Projekten erhöht hat (vgl. Kapitel 7.4), viele Projekte dennoch eine bessere Eignungsklasse erreichten als im Ausgangszustand, lässt sich die Erkenntnis, dass sich ein geringer Skelettanteil positiv auf den Rekultivierungserfolg auswirkt weder bestätigen noch widerlegen. Auch in Bezug auf die Veränderung der Bodenmächtigkeit lässt sich keine Aussage zu positiven oder negativen Effekten machen. Projekte, bei welchen sich die Unterbodenmächtigkeit um mehr als 40 cm erhöhte und Projekte, welche die Oberbodenmächtigkeit von mehr als 10 cm erhöhten, schnitten im Vergleich nicht wesentlich besser ab als Projekte, bei welchen sich die Mächtigkeit gegenüber dem Ausgangszustand verringerte.

Für eine tiefgründige und genauere Analyse von Faktoren, welche sich positiv oder negativ auf den Rekultivierungserfolg auswirken, müsste mit den während der Erfolgskontrollen erhobenen Detaildaten gearbeitet werden. Zudem wurden im Rahmen dieser Arbeit die besonderen Vorkommnisse während der Erdarbeiten nicht genauer berücksichtigt. Auch diese müssten in die Beurteilung mit einfließen, da sie zeigen, dass trotz guter Planung das menschliche Risiko nicht zu unterschätzen ist. Die Agrotterraconsult AG war in ihren Projekten mit verschiedensten Herausforderungen konfrontiert wie beispielsweise der Konkurs eines Unternehmers nach Verursachung eines Schadenfalls, Schwierigkeiten bei der Beschaffung geeigneten Materials oder dem Einbau ohne Baufreigabe. Stefan Zeller weiss aus seiner Erfahrung als Bodenkundlicher Baubegleiter so einige Geschichten und Vorkommnisse zu berichten. Aktuell stossen Deponien in der Schweiz überall an ihre Grenzen und die Schaffung neuer Deponien gestaltet sich politisch schwierig, daher wird von vereinzelt Unternehmen hin und wieder versucht, Material im Einbau unterzumischen, welches eigentlich auf eine Deponie gehört. Auch der Anreiz, Deponiekosten zu sparen, kann zu solchen Versuchungen führen. Dies vorzubeugen bzw. zu überwachen ist eine grosse Herausforderung und nicht immer möglich. Daraus entstehende Schäden werden meist erst später während der Bewirtschaftung sichtbar. Auch basiert die Zusammenarbeit mit den ausführenden Unternehmen auf Treu und Glauben, da die Bodenkundliche Baubegleitung nicht rund um die Uhr auf der Baustelle präsent sein kann. Dies wird hin und wieder von vereinzelt Unternehmen ausgenutzt. So kam es beispielsweise auch schon vor dass eine beschädigte Baggermatratze nicht abgeräumt, sondern einfach vor Ort zugedeckt wurde und später für Staunässe sorgte. Die Berichte über die Erdarbeiten und die Erfolgskontrollen der 24 Projekte der Agrotterraconsult AG bieten eine umfangreiche Datenbasis, um noch genauere Analysen und Auswertungen durchführen zu können, beispielsweise im Rahmen einer Bachelor- oder Masterarbeit. Ein Rezeptbuch für erfolgreiche Bodenrekultivierungen kann aber nicht erwartet werden, da jedes Projekt anders ist und die technischen Umsetzungsdetails an die spezifischen Standorteigenschaften eines Rekultivierungsprojektes angepasst werden müssen (Bellini, 2015). Aber genau das, macht die Arbeit so spannend.

## 12 Literaturverzeichnis

Agrotterraconsult AG. (2024). *Webseite der Agrotterraconsult AG*. [www.agrotterra.li](http://www.agrotterra.li)

Amelung, W., Blume, H.-P., Fleige, H., Horn, R., Kandeler, E., Kögel-Knabner, I., Kretzschmar, R., Stahr, K., & Wilke, B.-M. (2018). *Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde* (F. Scheffer & P. Schachtschabel, Hrsg.; 17., überarbeitete und ergänzte Auflage). Springer Spektrum. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-55871-3>

BAFU. (2022). *Zustand der Böden*. Bundesministeriums für Umwelt. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/boden/inkuerze.html#-914622151>

Baumgartner, H. (2017). Erde zu Erde. *Bundesamt für Umwelt (BAFU), Magazin-Umwelt*(4/2017), 6.

Bellini, E. (2015). Boden und Bauen. Stand der Technik und Praktiken. *BAFU, Bundesamt für Umwelt, Nr. 1508*, 114.

BFS. (2023). *Die Landwirtschaftsflächen der Schweiz*. Bundesamt für Statistik, BFS. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/raum-umwelt/bodennutzung-bedeckung/landwirtschaftsflaechen.html>

Buchter, B., Häusler, S., Schulin, R., Weisskopf, P., & Tobis, S. (Hrsg.). (2004). *Definition und Erfassung von Bodenschadverdichtungen: Positionspapier der BGS-Plattform Bodenschutz*. LmZ.

FaBo ZH. (2017). *Bodenkundliche Bewertung von anthropogenen Böden, Interpretationshilfe*. Kanton Zürich, Amt für Landschaft und Natur - Fachstelle Bodenschutz. [https://www.zh.ch/content/dam/zhweb/bilder-dokumente/themen/planen-bauen/bauvorschriften/bodenschutz/bodenaufwertung/bodenkundliche\\_bewertung\\_von\\_anthropogenen\\_boeden.pdf](https://www.zh.ch/content/dam/zhweb/bilder-dokumente/themen/planen-bauen/bauvorschriften/bodenschutz/bodenaufwertung/bodenkundliche_bewertung_von_anthropogenen_boeden.pdf)

FaBo ZH. (2024). *Bodenaufwertung*. Kanton Zürich, Amt für Landschaft und Natur - Fachstelle Bodenschutz. <https://www.zh.ch/de/planen-bauen/bauvorschriften/bodenschutz/bodenaufwertung.html#-792208150>

FAL24. (1997). *FAL 24, Kartieren und Beurteilen von Landwirtschaftsböden*. Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich-Reckenholz.

Forschungsstelle Rekultivierung. (2024a). *Landwirtschaftliche Rekultivierung*. Forschungsstelle Rekultivierung, Schloss Paffendorf, 50126 Bergheim. <https://www.forschungsstellerekultivierung.de/Startseite/Rekultivierung/Landwirtschaftliche-Rekultivierung>

Forschungsstelle Rekultivierung. (2024b). *Rekultivierung im Rheinischen Braunkohlenrevier*. Forschungsstelle Rekultivierung, Schloss Paffendorf, 50126 Bergheim. <https://www.forschungsstellerekultivierung.de/Startseite/Rekultivierung>

FSK Rekultivierungsrichtlinie. (2001). *FSK-Rekultivierungsrichtlinie, Richtlinie für den fachgerechten Umgang mit Böden*. FSK, Schweiz, Fachverband für Sand und Kies.

Gouda, S., Kerry, R. G., Das, G., Paramithiotis, S., Shin, H.-S., & Patra, J. K. (2018). Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. *Microbiological Research*, 206, 131–140. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2017.08.016>

Hillel, D. I., & Hatfield, J. L. (2005). *Encyclopedia of soils in the environment* (1st ed). Elsevier/Academic Press.

Joisten, H., Giani, L., Kochan, N., Kühn, D., Sauer, D., Schad, P., Sponagel, H., & Feger, K.-H. (Hrsg.). (2024). *Böden Deutschlands, Österreichs und der Schweiz: Ein Bildatlas*. Springer Berlin.

Kida, K., Ibori, Y., & Kawahigashi, M. (2021). Impact of farmland reclamation on soil distribution in Japan: The case of Andosols in Nagano Prefecture. *Journal of Soils and Sediments*, 21(5), 1938–1946. <https://doi.org/10.1007/s11368-020-02816-8>

Kollmann, J., Kirmer, A., Tischew, S., Hölzel, N., & Kiehl, K. (2019). *Renaturierungsökologie*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-54913-1>

Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau- Verwaltungsgesellschaft mbH. (2024). *Fruchtbare Synergie von Mensch und Natur*. <https://www.lmbv.de/aufgaben/rekultivierung/landwirtschaftliche-rekultivierung/>

Lukas, S., Haubold-Rosar, M., & Neumann, T. (2023). Monitoringergebnisse zur Boden- und Ertragsentwicklung auf Lausitzer Bergbauflächen. *Bodenschutz*, 1, 5. <https://doi.org/10.37307/j.1868-7741.2023.01.05>

Nievergelt, J., Petrasek, M., Weisskopf, P., Stadelmann, F. X., & Weissenkopf, P. (2002). *Bodengefüge: Ansprechen und Beurteilen mit visuellen Mitteln* (1. Aufl). Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL).

RWE Power AG. (o. J.). *Rekultivierung im Rheinland, Die Landschaft nach dem Tagebau*. RWE Power AG. Abgerufen 17. März 2024, von <https://mein.toubiz.de/storage/article/0e2c36477bd2de2da62d449adf0a3f7b5810a3d5d4b4678008346830c169a59d.pdf>

Stähli, M. (2012). Wie steht es um die Qualität von rekultivierten Böden? *Abteilung für Umwelt, Aargau*, 58, 4.

Stange, F. (o. J.). *Einteilung nach Bodentiefe*. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Bundesrepublik Deutschland. [https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Projekte/Stoffgehalte-mobilitaet\\_abgeschlossen/Hintergrundwerte\\_anorganische\\_Stoffe\\_Boeden/bodentiefe.html](https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Projekte/Stoffgehalte-mobilitaet_abgeschlossen/Hintergrundwerte_anorganische_Stoffe_Boeden/bodentiefe.html)

Stettler, M., Stettler, C., & Huber-Eicher, B. (2010). Rekultivierungen im Vergleich mit natürlich gewachsenen Böden. *Agrarforschung Schweiz*, 6, 5.

VOL, Volkswirtschaftsdirektion des Kantons Bern. (2017). *Bodenbericht 2017*.

VVEA Art. 19. (2022). *Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen*. Schweizerischer Bundesrat.

Widmer, D. (2017). Ist die Operation gelungen? Erfolgskontrolle bei 18 Bodenrekultivierungen. *Umwelt Zentralschweiz*, 1. <https://www.umwelt-zentralschweiz.ch/wp-content/uploads/2022/06/UZ-news-2017-boden-1.pdf>

Widmer, P. (2019). Wie gut ist der neue Boden?: Untersuchungen zur Bodenfruchtbarkeit nach der Rekultivierung der Inertstoffdeponie Fänglenberg [Application/pdf]. *Junge Wissenschaft. Paper 12/2018*, 3438520 bytes, 16 pages. <https://doi.org/10.7795/320.201812>

## 13 Anhang

### A-1 Mächtigkeit Oberboden

Anhang 1: Erfolgskontrolle Mächtigkeit Oberboden

Projekt-nummer	Ausgangszustand in cm	Erfolgskontrolle 1 in cm	Erfolgskontrolle 2 in cm	Kommentare aus den jeweiligen Erfolgskontrollberichten der Agrotterraconsult AG und der Klaus Büchel Anstalt
1	30 - 35	10 - 15		ursprünglicher Oberboden war reich an organischem Material und hydromorph -> wurde durch mineralisches Bodenmaterial überdeckt, es muss sich erst ein neuer Oberboden ausbilden; verbesserter Wasserhaushalt; geringere Mächtigkeit als vorher, aber bessere Qualität
2	30	40 - 50		Aufgrund des hohen Gehalts an organischer Substanz kann der Rekultivierungshorizont die Funktion eines Oberbodens übernehmen. Die Mächtigkeit des Oberbodens wurde erhöht.
3.1	20	30 - 45		Aufgrund des hohen Gehalts an organischer Substanz kann der Rekultivierungshorizont die Funktion eines Oberbodens übernehmen. Die Mächtigkeit des Oberbodens wurde erhöht.
3.2	20	15 - 20		Aufgrund des hohen Gehalts an organischer Substanz kann der Rekultivierungshorizont die Funktion eines Oberbodens übernehmen. Die Mächtigkeit des Oberbodens ist unverändert.
4	20	10 - 17		Die Mächtigkeit des Oberbodens ist tendenziell etwas geringer. Es besteht jedoch keine klare und scharfe Grenze zwischen Ober- und Unterboden.
5	20	10 - 20		Der Oberbodenhorizont ist tendenziell etwas geringmächtiger. Es liegt eine klare und scharfe Grenze zwischen Ober- und Unterboden vor. Der Einbau der Schwemmerde erfolgte im Sous-Sol-Verfahren (d.h. mit vorgängigem Abhumusieren). Das erklärt die eindeutige Horizontgrenze.
6	25 - 30	20 - 30		Die Mächtigkeit des Oberbodenhorizontes liegt im Bereich des Ausgangszustandes. Der saure, antorfige (gewachsene) Oberbodenhorizont wurde durch die Einmischung von mineralischem Aushubmaterial bezüglich Bodenstruktur verbessert und weist einen leicht basischen pH-Wert auf (Einsatz von kalkhaltigem Aushubmaterial).
7	15 - 25	10 - 25		Die Oberbodenmächtigkeit entspricht derjenigen an den Referenzstandorten.
8	10 - 20	mehrheitlich 10 - 20, punktuell 0 - 10		Der Oberboden ist mehrheitlich gleich mächtig wie im Ausgangszustand. An einzelnen Stellen fehlt er jedoch, und der eingebaute C-Horizont reicht bis an die Oberfläche. Insgesamt ist die Mächtigkeit des Oberbodens mit dem Ausgangszustand vergleichbar.
9.1	20	20		
9.2	20 - 30	20		Die Mächtigkeit des Oberbodenhorizontes ist tendenziell etwas geringer. Dies ist auf die Umsetzung des Projekts im Pro-Sol-Verfahren zurückzuführen (unter Verwendung von Aushubmaterial und Bodenaushub). Der neue Oberbodenhorizont entspricht dem neu geschaffenen (mineralischen) Oberboden.
10	35	20 - 30		Der neue Oberboden ist etwas weniger mächtig als am Referenzstandort. Es gilt zu beachten, dass die Rekultivierungsfläche als extensive Naturwiese und der Referenzstandort als Ackerfläche bewirtschaftet wird.
11	35	10 - 30		Das Rekultivierungsprojekt wurde unter Verwendung von Aushubmaterial im ProSol-Verfahren ausgeführt. Es ist erkennbar, dass sich ein neuer Oberbodenhorizont bildet (Einmischung organische Substanz aufgrund Durchmischung mit Grubber und Spatenmaschine, biologische Aktivität, Strukturbildung). Die Mächtigkeit variiert zwischen 10 und 30 cm und liegt somit noch unter dem Ausgangszustand.
12	35	15 - 40		Die Mächtigkeit des Oberbodens variiert auf der Rekultivierungsfläche. Dies ist zum einen Folge der unterschiedlichen Nutzung im Jahr 2021 (Mais, Kunstwiese), zum anderen ist aber auch die Abgrenzung zum Unterboden undeutlich. Im Mittel erreicht der Oberboden ungefähr die gleiche Mächtigkeit wie im Ausgangszustand.
13	15	15 - 20		Die Oberbodenmächtigkeit ist vergleichbar, teilweise sogar etwas grösser als im Ausgangszustand.

Projekt-nummer	Ausgangszustand in cm	Erfolgskontrolle 1 in cm	Erfolgskontrolle 2 in cm	Kommentare aus den jeweiligen Erfolgskontrollberichten der Agrotterraconsult AG und der Klaus Büchel Anstalt
14	10 - 45 (31)	15 - 30 (21)		Die Oberbodenmächtigkeit weist sowohl im Ausgangszustand wie auch auf der Rekultivierungsfläche eine grosse Variabilität auf. Im Mittel ist der Oberboden auf der Rekultivierungsfläche etwas geringmächtiger, da sich im aufgeschütteten Aushubmaterial ein Oberboden erst allmählich ausbildet. Im Ausgangszustand wurde im Bereich der früheren Terrainveränderungen eine Oberbodenmächtigkeit von 10 bis 30 cm und im gewachsenen Boden 40 bis 45 cm festgestellt.
15	25 - 30 (28)	15 - 25 (20)		Der Oberboden ist weniger mächtig als im Ausgangszustand. Dies ist darauf zurückzuführen, dass er sich im aufgeschütteten Substrat erst neu bilden muss.
16	30	10 - 20		Im Rekultivierungshorizont hat sich ein neuer Oberboden mit Humusanreicherung und biologischer Aktivität gebildet. Er ist allerdings noch weniger mächtig als der Oberboden im Ausgangszustand.
17	20	10 - 20 (17)		ungefähr gleichmächtig wie im Ausgangszustand
18	5	12.5		
19	20 - 30	10 - 20		Der Oberboden ist teilweise gleich bis weniger mächtig als im Ausgangszustand.
20	20 - 30	15 - 20		Im Rekultivierungshorizont hat sich ein neuer Oberboden mit Humusanreicherung und biologischer Aktivität gebildet. Er ist allerdings noch weniger mächtig als der Oberboden im Ausgangszustand.
21	25	15 - 25 (21)		Die Oberbodenmächtigkeit ist ungefähr gleichgeblieben (im Mittel minimal niedriger als am Referenzstandort). Der Oberboden ist jedoch noch schwach ausgeprägt und weist einen vergleichsweise tiefen Humusgehalt auf.
22	15	30	15 - 20 (30)	Die Horizontmächtigkeit ist grösser. Diese resultiert aus der Rekultivierung von mineralischem Erdaushub. Im aufgeschütteten Boden ist die Horizontgrenze zwischen Oberboden und Unterboden nicht eindeutig erkennbar. Der Unterschied zwischen den Aufnahmen 2015 und 2017 ist auf diese Unschärfe und auf kleinräumige Variabilität zurückzuführen.
23	15	10 - 15	15 - 25	Die Horizontmächtigkeit ist grösser als im Referenzzustand und auch grösser als im Rahmen der ersten Aufnahmen im Oktober 2015 festgestellt. Der Oberbodenhorizont ist sehr gut durchwurzelt und weist insgesamt günstige Qualitätseigenschaften auf (Anteil org. Substanz, Gefüge).
24	35	25		Die Mächtigkeit des Oberbodenhorizontes erreicht derzeit rund 70 % des Referenzzustandes. Es ist davon auszugehen, dass die Bodenentwicklung noch nicht abgeschlossen ist und somit in den nächsten Jahren eine weitere Humusbildung einsetzen wird (Durchwurzelung, biologische Aktivität).

## A-2 Mächtigkeit Unterboden

### Anhang 2: Erfolgskontrolle Mächtigkeit Unterboden

Projekt-nummer	Ausgangszustand in cm	Erfolgskontrolle 1 in cm	Erfolgskontrolle 2 in cm	Kommentare
1	0 - 20	45 - 70		Unterboden mächtiger als vorher, dadurch höherer Flurabstand; im Gegensatz zu vorher liegt nun ein rund 0.5m mächtiger mineralischer Unterboden vor, der die typischen Unterbodenfunktionen wie Regulierung des Wasserhaushalts und Lebensraum für Wurzeln erfüllt; vorher lag der Oberboden fast direkt auf dem Torfuntergrund auf
2	30	45 - 50		Der überschüttete ehemalige Oberboden ist kaum noch biologisch aktiv und wird als Unterbodenhorizont beurteilt. Die Mächtigkeit des Unterbodens wurde erhöht.
3.1	20 - 25	0 - 35		Der überschüttete ehemalige Oberboden ist kaum noch biologisch aktiv und wird als Unterbodenhorizont beurteilt. Die Mächtigkeit des Unterbodens wurde teilweise erhöht.
3.2	20 - 25	25 - 30		Der überschüttete ehemalige Oberboden ist kaum noch biologisch aktiv und wird als Unterbodenhorizont beurteilt. Die Mächtigkeit des Unterbodens wurde leicht erhöht.



Projekt-nummer	Ausgangszustand in cm	Erfolgskontrolle 1 in cm	Erfolgskontrolle 2 in cm	Kommentare
4	10	45 - 68		Der überschüttete ehemalige Oberboden wird zum Unterbodenhorizont dazu gerechnet. Insgesamt ist die Mächtigkeit des Unterbodens deutlich grösser.
5	30 - 50	60 - 85		Der Unterbodenhorizont ist durchschnittlich rund 30 cm mächtiger.
6	0	30 - 40		Durch den Einbau von mineralischem Aushubmaterial wurde ein Unterbodenhorizont geschaffen. Dieser setzt sich aus einer Kombination des Rekultivierungshorizonts sowie dem überdeckten (mineralisierten) gewachsenen Oberbodenhorizont zusammen. Der gewachsene Oberbodenhorizont lag im Ausgangszustand direkt auf dem Torfuntergrund auf, d.h. es war kein Unterbodenhorizont vorhanden (TC(r)-Horizont).
7	15 - 25	35 - 55		Der Unterboden ist mächtiger als an den Referenzstandorten.
8	25 - 30	0 - 20		Der bestehende Unterboden wurde überschüttet. Ein neuer Unterboden hat sich im eingebauten C-Horizont noch nicht entwickelt. Teilweise liegt aber unter dem Oberboden ein Mischhorizont vor, in dem Oberbodenmaterial mit dem C-Horizont vermischt ist. Dieser weist eine günstigere Struktur auf als der C-Horizont und kann die Funktionen eines Unterbodens übernehmen. Insgesamt ist die Mächtigkeit des Unterbodens jedoch geringer.
9.1	10 - 15	30 - 45		deutlich grösser
9.2	30 - 50	50		tendenziell etwas grösser
10	20	40 - 55		Der Unterboden ist mächtiger als am Referenzstandort. Der überschüttete ehemalige Oberboden wird auf der Rekultivierungsfläche zum Unterboden gerechnet, da er nicht mehr alle ökologischen Funktionen eines Oberbodens erfüllt. Dadurch hat sich die Mächtigkeit des Unterbodens vergrössert.
11	0	30 - 80		Im Ausgangszustand liegt der Oberboden direkt auf dem Torfhorizont auf; ein Unterboden fehlt. Durch die Rekultivierung wurde ein neuer Unterboden aufgebaut. Zusammen mit dem überschütteten (und teilweise eingemischten) ehemaligen Oberboden wird eine Mächtigkeit von 30 bis 80 cm erreicht.
12	15	40 - 60		Die Mächtigkeit des Unterbodens hat deutlich zugenommen (Faktor 3 bis 4). Die Mächtigkeit des Bodenkörpers und somit der Flurabstand wurden erhöht.
13	15	40 - 70		Die Unterbodenmächtigkeit konnte durch die Rekultivierung deutlich vergrössert werden.
14	0 - 50	25 - 60		Die Unterbodenmächtigkeit variiert im Ausgangszustand und auch auf der Referenzfläche stark. Durch den Einbau des Aushubmaterials wurde ein neuer Unterboden (Kombination überschütteter Oberbodenhorizont und eingemischtes Aushubmaterial). Im natürlich gewachsenen Boden fehlte ein Unterboden (0 cm). Im Bereich der früheren Terrainveränderungen wurde eine Mächtigkeit von 45 bzw. 50 cm festgestellt.
15	25 - 30 (28)	30 - 55 (40)		Der Unterboden ist mächtiger als im Ausgangszustand.
16	0	35 - 60		Durch den Einbau des Erdaushubes ist ein mind. 35 cm mächtiger Horizont entstanden, der die Funktion des Unterbodens insbesondere bzgl. Wurzelraum übernehmen kann. Das ist eine Verbesserung gegenüber dem Ausgangszustand, wo unter dem Oberboden unmittelbar ein Torfhorizont folgte, der aufgrund der häufigen Vernässung ein Wurzelhindernis darstellte.
17	35 - 40 (38)	25 - 80 (46)		Der Unterboden ist im Mittel mächtiger als im Ausgangszustand. Durch die Vermischung von Rekultivierungshorizont und gewachsenem Boden ist ein mehrheitlich homogener Unterbodenhorizont entstanden.
18	0	24		Im Ausgangszustand war der gewachsene Boden teilweise sehr flachgründig. Punktuell reichte Fels aus einem historischen Bergsturz bis an die Bodenoberfläche.
19	0	40 - 70		Neu ist durchschnittlich rund ein halber Meter Unterboden vorhanden. Dies ist eine klare Verbesserung gegenüber dem Ausgangszustand, wo ein Unterboden fehlte.
20	0	45 - 65		Es ist ein durchschnittlich rund 0.5 m mächtiger Unterbodenhorizont vorhanden. Das ist eine deutliche Verbesserung gegenüber dem Ausgangszustand, wo kein Unterboden vorhanden war.

Projekt-nummer	Ausgangszustand in cm	Erfolgskontrolle 1 in cm	Erfolgskontrolle 2 in cm	Kommentare
21	0 - 20 (10)	25 - 50 (42)		Durch den Einbau des Rekultivierungshorizonts und die damit verbundenen Bodenlockerungen sind teilweise mehrere Horizonte entstanden, die die Funktionen eines Unterbodens übernehmen können (Wasser- und Nährstoffspeicherung, Wurzelraum). Die Mächtigkeit dieses Unterbodens ist durchschnittlich 32 cm grösser als im Ausgangszustand.
22	15	15 - 25	45	Die Horizontmächtigkeit ist grösser. Diese resultiert aus der Rekultivierung von mineralischem Erdaushub. Im aufgeschütteten Boden ist die Horizontgrenze zwischen Oberboden und Unterboden nicht eindeutig erkennbar. Der Unterschied zwischen den Aufnahmen 2015 und 2017 ist auf diese Unschärfe und auf kleinräumige Variabilität zurückzuführen. Der (scheinbaren) Zunahme der Mächtigkeit des Unterbodens steht eine (scheinbare) Abnahme der Mächtigkeit des Oberbodens gegenüber, was darauf hindeutet, dass die unterschiedlichen Horizontmächtigkeiten 2015 und 2017 vor allem auf eine unterschiedliche Grenzziehung zwischen Ober- und Unterboden zurückzuführen sind.
23	15	50 - 90	55 - 75	Die Horizontmächtigkeit konnte deutlich erhöht werden (Einbau Schwemmerde). Im Gegensatz zu den Aufnahmen im Oktober 2015 ist die Mächtigkeit eher geringer. Die Mächtigkeit des Bodenkörpers (70 – 100 cm) ist jedoch unverändert.
24	15	35 - 40		Die Mächtigkeit des Unterbodenhorizontes konnte verdoppelt werden.

### A-3 Bodenart Oberboden

#### Anhang 3: Erfolgskontrolle Bodenart Oberboden

Projekt-nummer	Ausgangszustand	Erfolgskontrolle 1	Erfolgskontrolle 2	Kommentare
1	organisch bis lehmiger Schluff	sandiger Schluff bis Sand		sandiges Aushubmaterial verbesserte den Lufthaushalt stark und reduzierte das Vernässungsrisiko
2	toniger Lehm	lehmreicher Sand bis lehmiger Schluff		Grundsätzlich ist die Feinerdekörnung im Oberboden gröber als im Ausgangszustand. Dies wirkt sich günstig auf die Boden- und Vegetationsentwicklung aus. Stellenweise liegt jedoch auch ein hoher Schluffanteil vor. Dieser wirkt sich eher ungünstig auf die Entwicklung der Bodenstruktur aus.
3.1	lehmiger Schluff	lehmiger Schluff		unverändert
3.2	lehmiger Schluff	lehmiger Schluff		unverändert
4	Lehm	sandiger Schluff bis lehmreicher Sand		Der Tongehalt ist etwas tiefer, der Schluff- und Sandgehalt tendenziell höher.
5	Lehm	Lehmreicher Sand		Die Bodenart ist grobkörniger als im Ausgangszustand (höherer Sandgehalt).
6	Lehmiger Schluff	schluffiger Lehm, lehmiger Sand, lehmreicher Sand		Die Feinerdekörnung weist einen deutlich höheren Sandgehalt auf, wodurch die Bodenstruktur sowie der Luft- und Wasserhaushalt verbessert werden.
7	lehmiger Schluff bis sandiger Schluff	lehmiger Schluff bis schluffiger Sand		Die Bodenart im Oberboden zeigt sowohl auf der Rekultivierungsfläche wie auch auf der Referenzfläche eine gewisse Variabilität, wie sie für Fluvisole typisch ist. In beiden Fällen liegt die Korngrösse vorwiegend im Schluff- und Sandbereich. Der Tongehalt ist häufig unter 10 %; im westlichen Bereich zwischen 10 – 20 %.

Projekt-nummer	Ausgangszustand	Erfolgskontrolle 1	Erfolgskontrolle 2	Kommentare
8	Lehm	lehmiger Schluff		Der Oberboden ist etwas schluffiger als im Ausgangszustand. Grund dafür kann eine Beimischung des feinkörnigen Untergrundmaterials sein. Trotz dieser minimalen Änderung ist die Bodenart mit der Ausgangssituation vergleichbar. Die Bodenart ist gemäss FAL 24 weder im Ausgangszustand noch im Endzustand ein limitierender Faktor für die Bodenfruchtbarkeit und die Nutzungseignung.
9.1	Lehm bis sandiger Lehm	schluffiger Sand, lehmiger Sand, lehmreicher Sand		Der erhöhte Schluffgehalt führt zu einer etwas schlechteren Bewertung der Feinerdekörnung. Der (Ober-) Boden ist anfälliger gegenüber Verschlammung, insbesondere in der Phase bis sich eine gute Durchwurzelung und Gefügestruktur ausgebildet hat.
9.2	Lehm bis toniger Lehm	lehmiger Sand bis sandiger Schluff		Der erhöhte Schluffgehalt führt zu einer etwas schlechteren Bewertung der Feinerdekörnung. Unter Berücksichtigung des reduzierten Tongehaltes und erhöhten Sandgehaltes liegt aber dennoch eine Verbesserung vor.
10	lehmiger Schluff	sandiger Schluff		Die Rekultivierungsfläche weist eine ähnliche Bodenart auf wie die Rekultivierungsfläche. In beiden Fällen dominiert Schluff; die Rekultivierungsfläche weist aber einen höheren Sand- und tieferen Tongehalt auf als die Referenzfläche.
11	lehmiger Schluff	sandiger Schluff bis schluffiger Sand		Die Bodenart ist wie im Ausgangszustand vorwiegend schluffig, weist aber einen etwas höheren Sandanteil auf. Aufgrund des hohen Schluffanteils neigt die Bodenoberfläche zur Verschlammung. Anlässlich der Feldaufnahmen im Juli 2021 wurden verschiedene Hinweise auf Verschlammung festgestellt (nach einem nassen Frühling und Frühsommer, Regenmenge in den 3 Wochen vor den Feldarbeiten: rund 160 mm [Daten aus einer Messstation in Widnau]): Verkrustung der Bodenoberfläche, teilweise reduziertes Wachstum der Maispflanzen. Anlässlich eines Augenscheins Ende September 2021 wurde bezüglich Entwicklung der Maispflanzen eine deutliche Verbesserung festgestellt. Gegenüber dem Analysennachweis der verwendeten Aushubmaterialien liegt insgesamt ein höherer Schluffgehalt vor. Die Bodenart stellt auf der Rekultivierungsfläche den limitierenden Faktor bzgl. Nutzungseignung dar.
12	lehmiger Schluff	lehmiger Sand		Die Bodenart ist leicht sandiger als im Ausgangszustand. Sie stellt weder im Ausgangszustand noch auf der Rekultivierungsfläche einen limitierenden Faktor für die Nutzungseignung gemäss FAL 24 dar.
13	Lehm	sandiger Lehm bis lehmreicher Sand		Die Bodenart des Rekultivierungshorizontes ist etwas sandiger. Sie weist bezüglich Bewirtschaftbarkeit und Bodenfruchtbarkeit günstigere Eigenschaften auf.
14	lehmiger Sand bis lehmiger Schluff	lehmreicher Sand bis schluffiger Sand		Die Bodenart weist tendenziell einen tieferen Ton- und einen höheren Sand- und Schluffanteil auf als im Ausgangszustand (Überschüttung des gewachsenen Bodens). Im Bereich der früheren Terrainveränderungen ist keine Veränderung bzgl. Bodenart feststellbar.
15	n.b. (organischer Horizont)	sandiger Lehm, lehmreicher Sand, lehmiger Sand, schluffiger Sand		Im Ausgangszustand lag ein organischer Boden vor. Es wurde keine Korngrößenverteilung bestimmt. Die Bodenart im Oberboden der Rekultivierung weist eine vorwiegend sandige Körnung mit variablen Ton- und Schluffanteilen auf, so dass die Bodenart zwischen schluffiger Sand und sandiger Lehm variiert. In zwei der fünf Profile stellt die Bodenart den limitierenden Faktor für die Nutzungseignung gemäss FAL 24 dar. Die Nutzungseignung ist dort NEK 4 bzw. NEK 5.

Projekt-nummer	Ausgangszustand	Erfolgskontrolle 1	Erfolgskontrolle 2	Kommentare
16	lehmgiger Schluff	mehrheitlich schluffiger Sand bis lehmiger Sand, teilweise lehmiger Schluff und sandiger Lehm		Das eingebaute Material weist mehrheitlich eine sandige Bodenart auf, ist stellenweise aber auch feinkörniger (lehmgiger Schluff). Die Bodenart stellt weder im Ausgangszustand noch auf der Rekultivierungsfläche einen limitierenden Faktor für die Nutzungseignung dar.
17	toniger Lehm	lehmgiger Schluff bis toniger Lehm		Die Bodenart im Oberboden ist vergleichbar mit dem Ausgangszustand, tendenziell etwas besser (grobkörniger). Die Körnung liegt zwischen lehmigem Schluff und tonigem Lehm. Damit stellt die Körnung an diesem Standort den limitierenden Faktor für die Nutzungseignung dar (NEK 6 gemäss FAL 24; bei günstigerer Körnung wäre NEK 5 möglich).
18				
19	lehmgiger Schluff	lehmgiger Sand (z.T. lehmiger Schluff)		Neu ist durchschnittlich rund ein halber Meter Unterboden vorhanden. Dies ist eine klare Verbesserung gegenüber dem Ausgangszustand, wo ein Unterboden fehlte.
20	lehmgiger Schluff	schluffiger Sand (z.T. Sand und sandiger Schluff)		Die Bodenart ist sandiger als im Ausgangszustand. In der verwendeten Beurteilungsmethodik wird die Bodenart aufgrund des hohen Sandgehaltes schlechter bewertet, als die Bodenart im Ausgangszustand. Sie stellt jedoch kein
21	Lehm bis lehmiger Schluff	Lehmiger Sand		Die Bodenart wird gemäss dem Bewertungsschema (vgl. Kapitel 0) gleich bewertet wie am Referenzstandort, resp. im Ausgangszustand. Hinsichtlich Verschlammungsneigung und Strukturbildung resultiert aus dem höheren Sandanteil eine Verbesserung. Die Bodenart stellt hinsichtlich Nutzungseignung keinen limitierenden Faktor dar.
22	lehmgiger Schluff	lehmgiger Sand bis lehmreicher Sand	lehmreicher Sand bis sandiger Lehm	Der rekultivierte Erdaushub weist einen höheren Sandanteil auf. In Abhängigkeit vom Tongehalt des Erdaushubs variieren die Bodenarten zwischen lehmigem Sand und sandigem Lehm. Damit weist die Bodenart im Oberboden insgesamt günstigere Qualitätseigenschaften bezüglich Vernässungs- und Verdichtungsrisiko auf.
23	Lehm	lehmgiger Sand	lehmgiger Sand	Die Feinerdekörnung weist insgesamt günstigere Qualitätseigenschaften bezüglich Vernässungs- und Verdichtungsrisiko auf (höherer Sandanteil). Dies entspricht der Qualitätsbeurteilung der Schwemmerde (vgl. technischer Bericht, Oktober 2012). Gemäss Methodik zur Beurteilung von Rekultivierungsflächen werden die zwei Bodenarten identisch bewertet.
24	lehmgiger Schluff	lehmgiger Schluff bis lehmiger Sand		Die Bodenart ist vergleichbar. Teilweise liegt ein höherer Sandanteil vor.

## A-4 Skelettgehalt

### Anhang 4: Erfolgskontrolle Skelettgehalt

Projekt-nummer	Ausgangszustand	Erfolgskontrolle 1	Erfolgskontrolle 2	Kommentare
1	skelettfrei bis schwach skeletthaltig	skelettfrei bis stark steinhaltig		westlich wie Ausgangszustand, östlich höherer Skelettgehalt als vorher --> nicht limitierend bezüglich Bodenfruchtbarkeit
2	skelettfrei	skelettarm bis skeletthaltig		Im nördlichen Teil der Rekultivierungsfläche ist der Skelettgehalt erhöht. Im südlichen Teil liegt ein zum Ausgangszustand vergleichbarer Skelettgehalt vor (skelettfrei bis skelettarm). Der Skelettgehalt wirkt sich auf die futterbauliche Nutzung der Rekultivierungsfläche nicht limitierend aus.
3.1	skelettfrei	skelettarm		Der Skelettgehalt ist minimal erhöht. Dieser wirkt sich aber auf die futterbauliche Nutzung der Rekultivierungsfläche nicht limitierend aus.
3.2	skelettfrei	skelettarm		Der Skelettgehalt ist minimal erhöht. Dieser wirkt sich aber auf die futterbauliche Nutzung der Rekultivierungsfläche nicht limitierend aus.
4	skelettarm	skelettarm bis kieshaltig		Der Skelettgehalt ist örtlich etwas höher als im Ausgangszustand. Dieser wirkt sich aber auf die (vorwiegend) futterbauliche Nutzung der Rekultivierungsfläche nicht limitierend aus.
5	skelettarm	skelettarm		
6	skelettfrei	schwach skeletthaltig		Der Skelettgehalt ist leicht höher als im Ausgangszustand (Einbau von mineralischem Aushubmaterial), jedoch bezüglich Bodenfruchtbarkeit nicht limitierend (vgl. FAL 24).
7	skelettarm	skelettarm		Die Rekultivierungsfläche ist wie die Referenzfläche skelettarm.
8	skelettarm bis schwach skeletthaltig	Oberboden: skelettarm; Untergrund: schwach skeletthaltig bis kieshaltig		Der Skelettgehalt im Oberboden ist vergleichbar mit dem Ausgangszustand. Im anschliessenden C-Horizont ist der Skelettgehalt tendenziell höher als in der vergleichbaren Tiefe im Ausgangszustand. Der Skelettgehalt ist gemäss FAL 24 weder im Ausgangszustand noch im Endzustand ein limitierender Faktor für die Bodenfruchtbarkeit und die Nutzungseignung.
9.1	skelettfrei	skelettarm bis steinhaltig		Der Skelettgehalt ist etwas höher als im Ausgangszustand. Der Skelettgehalt ist auf die Verwendung von Aushubmaterial zurückzuführen („Rheinletten“, teilweise vermischt mit etwas Rheinkies).
9.2	skelettfrei	kieshaltig		Der Skelettgehalt ist etwas höher als im Ausgangszustand. Der Skelettgehalt ist auf die Verwendung von Aushubmaterial zurückzuführen („Rheinletten“, teilweise vermischt mit etwas Rheinkies)
10	skelettarm	skelettarm		
11	skelettfrei	skelettarm bis schwach skeletthaltig		Mit dem Einbau mineralischen Aushubmaterials wurde auch der Skelettgehalt erhöht. Dieser stellt jedoch keine Einschränkung bzgl. der Nutzungseignung dar.
12	skelettarm	schwach skeletthaltig bis steinhaltig		Der Skelettgehalt ist etwas höher als im Ausgangszustand. Er stellt jedoch gemäss FAL 24 keinen limitierenden Faktor für die Nutzungseignung dar.
13	skelettarm	skelettarm		

Projekt-nummer	Ausgangszustand	Erfolgskontrolle 1	Erfolgskontrolle 2	Kommentare
14	skelettfrei bis schwach skeletthaltig	schwach skeletthaltig bis steinhaltig		Mit dem zugeführten Aushubmaterial wurde der Skelettgehalt erhöht. Der Skelettgehalt schränkt die Bodenfruchtbarkeit bzw. Nutzungsmöglichkeiten jedoch nicht ein. Entgegen der Empfehlung der bodenkundlichen Bauleitung wurde der Erdaushub ab Kugelfang Kriessern nicht ausgesiebt (vgl. Abschlussbericht Erdarbeiten). Die Erfahrungswerte des Bewirtschafters sowie der punktuell erhöhte Skelettgehalt zeigen, dass diese Massnahme zu einer weiteren Verbesserung der Bodenqualität auf der Rekultivierungsfläche hätte führen können. Wie ebenfalls im Abschlussbericht Erdarbeiten erwähnt, konnte der Skelettgehalt in der ausgesiebten Schwemmerde ab Auerbach und Kobelwieserbach nicht auf 0 % reduziert werden. In der entsprechenden Teilfläche ist der Skelettgehalt ebenfalls etwas erhöht.
15	skelettfrei	skelettarm bis kieshaltig		Der Skelettgehalt ist höher als im Ausgangszustand. Er stellt jedoch gemäss FAL 24 keinen limitierenden Faktor für die geplante Weidenutzung dar.
16	skelettfrei	skelettarm bis schwach skeletthaltig		Der Oberboden ist mehrheitlich skelettarm und punktuell schwach skeletthaltig. Der Skelettgehalt stellt weder im Ausgangszustand noch auf der Rekultivierungsfläche einen limitierenden Faktor für die Nutzungseignung dar.
17	skelettarm	skelettarm bis kieshaltig		Der Skelettgehalt variiert auf der Rekultivierungsfläche von skelettarm (wie im Ausgangszustand) bis hin zu kieshaltig. Er wird damit im Mittel etwa gleich bewertet wie im Ausgangszustand, punktuell aber etwas schlechter. Teilweise wurden sehr kleinräumige Unterschiede im Skelettgehalt festgestellt. Insgesamt stellt der Skelettgehalt aber keinen limitierenden Faktor für die Nutzungseignung gemäss FAL 24 dar.
18	sehr skeletthaltig bis felsig	skelettfrei bis schwach skeletthaltig		
19	skelettfrei	skelettarm bis kieshaltig		Der Skelettgehalt ist höher als im Ausgangszustand. Er stellt jedoch für die futterbauliche Nutzung keinen limitierenden Faktor dar.
20	skelettfrei	skelettarm bis schwach skeletthaltig		Der Skelettgehalt ist höher als im Ausgangszustand, jedoch nach wie vor gering. Für die Nutzungseignung auf der Rekultivierungsfläche ist der Skelettgehalt kein limitierender Faktor.
21	skelettarm	skelettarm bis schwach skeletthaltig		Der punktuell vorhandene geringe Skelettanteil stellt hinsichtlich der Nutzungseignung keinen limitierenden Faktor dar. Der Skelettgehalt wird gleich bewertet wie am Referenzstandort.
22	skelettfrei	stark kieshaltig	kieshaltig bis stark kieshaltig	Der Skelettgehalt hat zugenommen, jedoch ohne negative Auswirkungen auf die futterbauliche Nutzung.
23	Skelettarm	schwach skeletthaltig	schwach skeletthaltig bis skelettarm	Der Skelettgehalt hat leicht zugenommen, jedoch ohne Auswirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit. Der Referenzstandort ist flachgründig und weist stellenweise einen sehr hohen Skelettgehalt auf (ausserhalb Referenzprofil).
24	Skelettarm	Skelettarm		unverändert

## A-5 Wasserhaushalt

### Anhang 5: Erfolgskontrolle Wasserhaushalt

Projekt-nummer	Ausgangszustand	Erfolgskontrolle 1	Erfolgskontrolle 2	Kommentare
1	häufig bis zur Oberfläche porengesättigt	normal durchlässig bis selten zur Oberfläche porengesättigt		Vergrößerung des Flurabstandes führte zur Verbesserung des Wasserhaushaltes; geringere Einbaumächtigkeit im westlichen Bereich = weniger starke Erhöhung des Flurabstandes --> wegen Torf im Untergrund "selten bis zur Oberfläche porengesättigt"; östlich ist die Einbaumächtigkeit höher --> kein Torf feststellbar innerhalb Bohrtiefe --> Boden ist "normal durchlässig"
2	häufig bis zur Oberfläche porengesättigt	Grundwasserbeeinflusst bis selten bis zur Oberfläche porengesättigt		Der Wasserhaushalt wurde verbessert. Der Flurabstand wurde vergrößert. Stellenweise liegen Anzeichen für stauende Verhältnisse im Rekultivierungshorizont vor.
3.1	häufig bis zur Oberfläche porengesättigt	grundwasserbeeinflusst		Der Wasserhaushalt wurde verbessert. Der Flurabstand wurde vergrößert. Stellenweise sind im Rekultivierungshorizont hydromorphe Merkmale feststellbar. Diese sind vermutlich auf ursprüngliche Merkmale aus dem Schlamm zurückzuführen.
3.2	häufig bis zur Oberfläche porengesättigt	grundwasserbeeinflusst		Der Wasserhaushalt wurde verbessert. Der Flurabstand wurde vergrößert. Stellenweise sind im Rekultivierungshorizont hydromorphe Merkmale feststellbar. Diese sind vermutlich auf ursprüngliche Merkmale aus dem Schlamm zurückzuführen.
4	häufig bis zur Oberfläche porengesättigt	Grundwasserbeeinflusst bis selten bis zur Oberfläche porengesättigt		Der Wasserhaushalt wurde verbessert. Dies ist insbesondere auf die Vergrößerung des Flurabstandes zurückzuführen.
5	normal durchlässig bis stauwasserbeeinflusst	stauwasserbeeinflusst		Der Wasserhaushalt ist praktisch unverändert. Aufgrund von Rostflecken in der rekultivierten Schwemmerde wurden die drei Profile 2020 als stauwasserbeeinflusst beurteilt. Es ist nicht abschliessend geklärt, ob diese Beurteilung auf einen Stauhhorizont oder auf einen Artefakt der zugeführten Schwemmerde zurückzuführen ist.
6	häufig bis meist bis zur Oberfläche porengesättigt	selten bis häufig bis zur Oberfläche porengesättigt		Durch die Vergrößerung des Flurabstandes sowie die Verbesserung der Bodenstruktur wurde der Wasserhaushalt mehrheitlich verbessert. Die Torfobergrenze (gewachsener Torfuntergrund) liegt in zwei Profilen bei 60 cm und bei einem Profil bei 50 cm (Profile Erfolgskontrolle). Gemäss FAL 24 resultiert daraus die unterschiedliche Einstufung der Wasserhaushaltsklassen.
7	stauwasserbeeinflusst	normal durchlässig		Der Wasserhaushalt hat sich leicht verbessert; die Rekultivierungsfläche weist eine normale Durchlässigkeit auf.
8	normal durchlässig bis hangwasserbeeinflusst	normal durchlässig		Trotz der vergleichsweise feinen Körnung sind im aufgetragenen Horizont keine Hydromorphiemerkmale vorhanden. Damit ist der Wasserhaushalt etwas besser als im Ausgangszustand. Möglicherweise fliesst überschüssiges Wasser mehrheitlich oberflächlich ab.
9.1	häufig bis zur Oberfläche porengesättigt	Grundwasserbeeinflusst bis selten bis zur Oberfläche porengesättigt		Der Wasserhaushalt wurde verbessert. Dies ist insbesondere auf die Vergrößerung des Flurabstandes sowie die Verbesserung der Bodenstruktur zurückzuführen.

Projekt-nummer	Ausgangszustand	Erfolgskontrolle 1	Erfolgskontrolle 2	Kommentare
9.2	selten bis zur Oberfläche porengesättigt	normal durchlässig bis grund- oder hangwasserbeeinflusst		Der Wasserhaushalt wurde verbessert. Dies ist insbesondere auf die Vergrößerung des Flurabstandes sowie die Verbesserung der Bodenstruktur zurückzuführen.
10	häufig bis zur Oberfläche porengesättigt	stauwasserbeeinflusst		wurde verbessert
11	häufig bis zur Oberfläche porengesättigt	normal durchlässig bis stauwasserbeeinflusst		Der Wasserhaushalt wurde durch die Erhöhung des Flurabstandes und die Vergrößerung der Bodenmächtigkeit verbessert.
12	selten bis zur Oberfläche porengesättigt	normal durchlässig bis selten zur Oberfläche porengesättigt		Der Wasserhaushalt hat sich durch die Erhöhung des Flurabstandes mehrheitlich verbessert. Zum Teil wird der Boden jedoch auch der gleichen Wasserhaushaltsklasse zugeordnet wie im Ausgangszustand. Dies ist möglicherweise auf die noch nicht abgeschlossene Boden- und Strukturbildung (Porensystem) zurückzuführen. Ebenso gilt zu beachten, dass der Sommer 2021 ausserordentlich nass war.
13	häufig bis zur Oberfläche porengesättigt	selten bis zur Oberfläche porengesättigt		Der Wasserhaushalt wurde verbessert. Dies ist insbesondere auf die grössere Mächtigkeit des Bodenkörpers (Ober- und Unterboden) zurückzuführen.
14	stauwasserbeeinflusst bis häufig bis zur Oberfläche porengesättigt	stauwasserbeeinflusst bis selten zur Oberfläche porengesättigt		Der Wasserhaushalt wurde gegenüber dem gewachsenen Boden verbessert. Gegenüber den bereits aufgeschütteten Teilflächen ist der Wasserhaushalt unverändert.
15	häufig bis zur Oberfläche porengesättigt	grundwasserbeeinflusst, selten bis zur Oberfläche porengesättigt, häufig bis zur Oberfläche porengesättigt		Der Wasserhaushalt hat sich auf der Rekultivierungsfläche unterschiedlich stark verbessert. Zwei der fünf Standorte werden nur noch als „grundwasserbeeinflusst“ klassiert. Auf diesen beiden Standorten ist nicht mehr der Wasserhaushalt sondern die Bodenart im Oberboden der limitierende Faktor für die Nutzungseignung (vgl. oben). Lediglich einer der 5 Standorte wird nach wie vor in die Wasserhaushaltsgruppe „häufig bis zur Oberfläche porengesättigt“ eingestuft.
16	häufig bis zur Oberfläche porengesättigt	selten bis zur Oberfläche porengesättigt		Wasserhaushalt hat sich verbessert. Durch den Einbau des Rekultivierungshorizontes wurde der Flurabstand erhöht.
17	häufig bis zur Oberfläche porengesättigt	stauwasserbeeinflusst, grundwasserbeeinflusst oder selten bis zur Oberfläche porengesättigt		Der Wasserhaushalt ist gegenüber dem Ausgangszustand etwas besser. Der Flurabstand ist grösser. Stellenweise liegt ein Stauwassereinfluss vor, was u.a. auf die Feinerdekörnung zurückzuführen ist.



Projekt-nummer	Ausgangs-zustand	Erfolgskontrolle 1	Erfolgskontrolle 2	Kommentare
18		normal durchlässig		
19	selten bis zur Oberfläche poren-gesättigt / häufig bis zur Oberfläche poren-gesättigt	selten bis zur Oberfläche poren-gesättigt / häufig bis zur Oberfläche poren-gesättigt		Die Vergrößerung des Flurabstands wirkt sich nicht auf die Einordnung in die Wasserhaushaltsgruppe aus. Die Fremdnässe ist nach wie vor der limitierende Faktor für die Nutzungseignung. Die Nutzungseignungsklasse ist dank der höheren Gründigkeit dennoch (mehrheitlich) besser (5F).
20	häufig bis zur Oberfläche poren-gesättigt	häufig bis zur Oberfläche poren-gesättigt / stauwasserbeeinflusst		Durch den Einbau des Rekultivierungshorizont wurde der Flurabstand erhöht, dadurch hat sich der Wasserhaushalt verbessert.
21	selten bis zur Oberfläche poren-gesättigt bis stauwasserbeeinflusst	normal durchlässig bis stauwasserbeeinflusst		Der Wasserhaushalt wurde verbessert. Aufgrund der noch schwachen Durchwurzelung und Gefügebildung ist teilweise noch ein Stauwassereinfluss vorhanden, der in einer ungleichmässigen Vegetationsentwicklung resultiert.
22	häufig bis zur Oberfläche poren-gesättigt	häufig bis zur Oberfläche poren-gesättigt	selten bis zur Oberfläche poren-gesättigt	Der Wasserhaushalt ist besser, oberflächliche Staunässe liegt nur noch auf Teilflächen vor. Dort bilden sich in Geländesenken ausge-dehnte Bereiche mit Staunässe (v.a. im nordöstlichen Bereich der Re-kultivierungsfläche). Diese wurden teilweise instand gestellt (öffnen von Sickerschlitzen und einlegen von Tannästen). Für eine weitere Verbesserung des Wasserhaushaltes sind im Bereich der Geländesenken zusätzliche Sickerschlitze zu erstellen. Zudem sind die Senken mit qualitativ geeignetem Erdaushub auszubnen, so dass die Ansammlung von Oberflächenwasser reduziert wird.
23	häufig bis zur Oberfläche poren-gesättigt	selten bis zur Oberfläche porengesättigt; normal durchlässig		Der Wasserhaushalt konnte verbessert werden. Dies ist insbesondere auf die Erhöhung des Flurabstandes sowie auf die günstige Struktur (insbesondere des Oberbodenhorizontes) zurückzuführen.
24	selten bis zur Oberfläche poren-gesättigt	normal durchlässig bis häufig zur Oberfläche poren-gesättigt		Der Wasserhaushalt konnte insgesamt verbessert werden (Erhöhung Flurbastand, günstigere Wasserleitfähigkeit innerhalb des Rekultivierungshorizontes). Im Randbereich der Rekultivierungsfläche liegen verschiedene Vernässungen vor. Es ist geplant, dies im Winter 2016 / 2017 mittels Bodenlockerung sowie Fortsetzung der Rekultivierung in nördlicher Richtung zu beheben.

## A-6 Pflanzennutzbare Gründigkeit

### Anhang 6: Erfolgskontrolle Pflanzennutzbare Gründigkeit

Projektnummer	Ausgangszustand	Erfolgskontrolle 1	Erfolgskontrolle 2	Kommentare
1	ziemlich flachgründig	mässig tiefgründig		PNG wurde im Vergleich zu vorher um eine Stufe verbessert
2	ziemlich flachgründig	mässig tiefgründig		Die pflanzennutzbare Gründigkeit wurde erhöht. Dies wirkt sich positiv auf die Pflanzenentwicklung sowie die Ertragskraft des Standortes aus.
3.1	ziemlich flachgründig	mässig tiefgründig bis tiefgründig		Die pflanzennutzbare Gründigkeit wurde erhöht. Dies wirkt sich positiv auf die Pflanzenentwicklung sowie die Ertragskraft des Standortes aus
3.2	ziemlich flachgründig	ziemlich flachgründig bis tiefgründig		Die pflanzennutzbare Gründigkeit wurde teilweise erhöht. Dies wirkt sich positiv auf die Pflanzenentwicklung sowie die Ertragskraft des Standortes aus.
4	ziemlich flachgründig	mässig tiefgründig		Die pflanzennutzbare Gründigkeit ist grösser als im Ausgangszustand, was sich positiv auf Pflanzenwachstum und Ertrag auswirkt (auswirken wird).
5	tiefgründig	tiefgründig		Die bereits hohe pflanzennutzbare Gründigkeit ist erhalten geblieben. Der Boden ist wie im Ausgangszustand tiefgründig. Das Projekt wurde primär zur Geländeausgleichung und nicht zur Erhöhung der pflanzennutzbaren Gründigkeit ausgeführt.
6	flachgründig	ziemlich flachgründig bis mässig tiefgründig		Die pflanzennutzbare Gründigkeit konnte deutlich verbessert werden (Ausgangszustand: 22 bzw. 28 cm; Erfolgskontrolle: 42 / 54 / 57 cm).
7	mässig tiefgründig	mässig tiefgründig bis tiefgründig		Die pflanzennutzbare Gründigkeit wurde erhalten und stellenweise verbessert.
8	ziemlich flachgründig	flachgründig bis ziemlich flachgründig		Der eingebaute C-Horizont ist mehrheitlich kompakt und für die Pflanzenwurzeln kaum erschliessbar. Aufgrund des mehrheitlich nicht vorhandenen Unterbodens ist die pflanzennutzbare Gründigkeit „flachgründig“ und somit etwas tiefer als im Ausgangszustand. Punktuell liegt ein Mischhorizont zwischen Oberboden und Untergrund vor. Dort erreicht die pflanzennutzbare Gründigkeit die Klasse „ziemlich flachgründig“ wie im Ausgangszustand.
9.1	flachgründig bis ziemlich flachgründig	mässig tiefgründig		Die pflanzennutzbare Gründigkeit ist grösser als im Ausgangszustand, was sich positiv auf Pflanzenwachstum und Ertrag auswirkt (auswirken wird).
9.2	ziemlich flachgründig	tiefgründig		Die pflanzennutzbare Gründigkeit ist grösser als im Ausgangszustand, was sich positiv auf Pflanzenwachstum und Ertrag auswirkt (auswirken wird).
10	ziemlich flachgründig	mässig tiefgründig		wurde erhöht
11	ziemlich flachgründig	mässig tiefgründig bis tiefgründig		Die Pflanzennutzbare Gründigkeit wurde um rund 20 bis 30 cm erhöht. Der Boden erfüllt die Anforderung für eine Fruchtfolgefläche von mindestens 50 cm pflanzennutzbarer Gründigkeit.
12	ziemlich flachgründig	mässig tiefgründig bis tiefgründig		PNG hat zugenommen

Projektnummer	Ausgangszustand	Erfolgskontrolle 1	Erfolgskontrolle 2	Kommentare
13	flachgründig	mässig tiefgründig bis tiefgründig		Die pflanzennutzbare Gründigkeit wurde vergrössert, vgl. Mächtigkeit Ober- und Unterboden sowie Wasserhaushalt.
14	ziemlich flachgründig bis tiefgründig	mässig tiefgründig bis tiefgründig		Die pflanzennutzbare Gründigkeit wurde vor allem gegenüber dem gewachsenen Boden verbessert. Der Boden auf der Rekultivierungsfläche ist mässig tiefgründig.
15	flachgründig bis ziemlich flachgründig	ziemlich flachgründig bis mässig tiefgründig		Die pflanzennutzbare Gründigkeit liegt mehrheitlich > 50 cm (mässig tiefgründig) und hat damit durchschnittlich um eine Klasse zugenommen.
16	ziemlich flachgründig	mehrheitlich mässig tiefgründig; vereinzelt tiefgründig		Die pflanzennutzbare Gründigkeit wurde durch den Einbau des Rekultivierungshorizonts erhöht.
17	flachgründig	ziemlich flachgründig bis mässig tiefgründig		PNG ist grösser als im Ausgangszustand
18	sehr flachgründig	ziemlich flachgründig bis mässig tiefgründig		
19	flachgründig bis ziemlich flachgründig	ziemlich flachgründig bis mässig tiefgründig		Die pflanzennutzbare Gründigkeit hat zugenommen. Sie hat sich durchschnittlich um rund eine Klasse verbessert und liegt mehrheitlich über 50 cm (= mässig tiefgründig).
20	ziemlich flachgründig	ziemlich flachgründig bis mässig tiefgründig		Die pflanzennutzbare Gründigkeit ist mehrheitlich mässig tiefgründig und konnte gegenüber dem Ausgangszustand verbessert werden.
21	ziemlich flachgründig	mässig tiefgründig		PNG hat zugenommen
22	flachgründig	ziemlich flachgründig	ziemlich flachgründig bis mässig tiefgründig	Die PNG des Bodenkörpers ist erhöht, was sich positiv auf das Pflanzenwachstum auswirkt (verbesserte Durchwurzelung, vgl. unten). Diese Verbesserung resultiert aus der Vergrösserung der Korizontmächtigkeit (vgl. oben) und der Verbesserung des Wasserhaushaltes. Eine weitere Verbesserung der PNG ist nur möglich, wenn die Bodenentwicklung weiterhin stattfindet (v.a. Gefügebildung, vgl. unten).
23	flachgründig	mässig tiefgründig bis tiefgründig		Es wurden 2 Erfolgskontrollen durchgeführt, eine im Okt. 2015 und eine im Mai 2017 - beide zeigten das gleiche Ergebnis. Die Pflanzen nutzbare Gründigkeit konnte insgesamt erhöht werden, vgl. Wasserhaushalt. Nach Abschluss der Einbauarbeiten lag ein homogener Rekultivierungshorizont vor (Einbau Schlamm im Pro-SolVerfahren; C-Material). Die Ergebnisse der Erfolgskontrolle zeigen, dass ein gut strukturierter (neuer) Bodenkörper vorliegt (Effekt Bodenentwicklung).
24	ziemlich flachgründig	flachgründig bis mässig tiefgründig		Die PNG entspricht im Mittel dem Referenzzustand.

## A-7 Wurzelraum

Anhang 7: Erfolgskontrolle Wurzelraum (HWR = Hauptwurzelraum, NWR = Nebenwurzelraum)

Projekt-nummer	Ausgangszustand in cm	Erfolgskontrolle 1 in cm	Erfolgskontrolle 2 in cm	Kommentare
1	30 - 35	25 - 40		vergleichbar mit Ausgangszustand
2	40	40		Im nördlichen Teil der Rekultivierungsfläche ist der Skelettgehalt erhöht. Im südlichen Teil liegt ein zum Ausgangszustand vergleichbarer Skelettgehalt vor (skelettfrei bis skelettarm). Der Skelettgehalt wirkt sich auf die futterbauliche Nutzung der Rekultivierungsfläche nicht limitierend aus.
3.1 - HWR	15	20		Die Durchwurzelung ist bereits vier Jahre nach Abschluss der Einbauarbeiten etwas grösser. Es konnte sich innerhalb der letzten vier Jahre bereits ein „standorttypischer“ Wurzelraum ausbilden. Bei weiterhin günstigen Bedingungen ist davon auszugehen, dass die Wurzeln zukünftige eine grössere Bodentiefe erschliessen werden.
3.1 - NWR	35	50		
3.2 - HWR	15	15		Die Durchwurzelung ist bereits vier Jahre nach Abschluss der Einbauarbeiten etwas grösser. Es konnte sich innerhalb der letzten vier Jahre bereits ein „standorttypischer“ Wurzelraum ausbilden. Bei weiterhin günstigen Bedingungen ist davon auszugehen, dass die Wurzeln zukünftige eine grössere Bodentiefe erschliessen werden.
3.2 - NWR	35	50		
4 - HWR	20	15		Die Durchwurzelung ist bereits vier Jahre nach Abschluss der Einbauarbeiten mit dem Ausgangszustand vergleichbar.
4 - NWR	40	35		
5 - HWR	20	15		Die Durchwurzelungstiefe ist noch etwas geringer als auf der Referenzfläche.
5 - NWR	50	40		
6 - HWR	15 - 30	20		Der Wurzelraum ist mit dem Ausgangszustand vergleichbar. Er konnte innerhalb der letzten drei Jahre tendenziell etwas verbessert werden.
6 - NWR	30 - 35	45		
7 - HWR	15	10 - 15		Die Durchwurzelung (und die Vegetationsdichte) sind noch etwas geringer als auf der Referenzfläche.
7 - NWR	40	30		
8	k.A.	k.A.		
9.1 - HWR	20	25		Der Wurzelraum ist bereits drei Jahre nach Abschluss der Einbauarbeiten mit dem Ausgangszustand vergleichbar. Tendenziell ist ein leicht grösserer Wurzelraum feststellbar.
9.1 - NWR	30 - 40	40		
9.2 - HWR	40 - 50	40		Der Wurzelraum ist bereits drei Jahre nach Abschluss der Einbauarbeiten mit dem Ausgangszustand vergleichbar. Es ist davon auszugehen, dass sich der Wurzelraum in den nächsten Jahren weiter entwickeln wird.
9.2 - NWR	25	20		
10 - HWR	20	10		Die maximale Durchwurzelungstiefe ist etwas grösser als am Referenzstandort, hingegen ist die Zone intensiver Durchwurzelung etwas kleiner. Die Unterschiede sind jedoch von untergeordneter Bedeutung, wenn man berücksichtigt, dass die Durchwurzelung stark von der Kultur abhängt, und saisonal erheblich schwanken kann.
10 - NWR	30	35		

Projekt- nummer	Aus- gangszu- stand in cm	Erfolgskon- trolle 1 in cm	Erfolgskon- trolle 2 in cm	Kommentare
11 - HWR	15	15		Auf der Rekultivierungsfläche wurde eine etwas geringere Durchwurzelung festgestellt als im Ausgangszustand. Dies ist u.a. darauf zurückzuführen, dass auf der Rekultivierungsfläche zum Zeitpunkt der Aufnahme Mais in einem frühen Entwicklungsstadium stand, so dass die Durchwurzelung kulturbedingt schwach war.
11 - NWR	25	15		
12 - HWR	20	20		Insgesamt wird von den Wurzeln ein grösseres Bodenvolumen erschlossen. Der Hauptwurzelraum ist ungefähr gleichgeblieben.
12 - NWR	40	50		
13 - HWR	20	20		Der Hauptwurzelraum ist unverändert, was auf den noch „jungen“ Rekultivierungsboden zurückzuführen ist. Die grössere Mächtigkeit des Nebenwurzelraums zeigt, dass sich der Rekultivierungshorizont günstig auf das Pflanzen bzw. Wurzelwachstum auswirkt. In den nächsten Jahren ist mit einer weiteren Verbesserung zu rechnen.
13 - NWR	20	50		
14 - HWR	30	15		Die Durchwurzelung ist bereits gut, jedoch noch nicht so intensiv wie im Ausgangszustand
14 - NWR	45	40		
15 - HWR	15	10		Aufgrund des geringen Alters des neu geschütteten Bodens ist die Durchwurzelung noch schwächer ausgeprägt als im Ausgangszustand.
15 - NWR	40	20 - 25		
16 - HWR	n.b.	10 - 15		Der Wurzelraum ist ungefähr vergleichbar mit dem Ausgangszustand. Zum Zeitpunkt der Aufnahme des Ausgangszustands war die Fläche vegetationsfrei. Im Ausgangszustand war der theoretische Wurzelraum nach unten durch den Torfhorizont in rund 30 cm Tiefe limitiert. Auf der Rekultivierungsfläche ist eine tiefere Durchwurzelung grundsätzlich möglich; Wurzeln wurden bis max. 40 cm Tiefe festgestellt.
16 - NWR	30	25 - 40		
17 - HWR	20	15 - 20		Die Durchwurzelung ist ungefähr gleich wie im Ausgangszustand, jedoch teilweise etwas weniger intensiv und tief. Dies hängt u.a. mit den punktuell beobachteten Trittschäden und daraus resultierenden Vegetationslücken zusammen.
17 - NWR	40	30 - 35		
18				
19 - HWR	20 - 30	10		Die Durchwurzelung reicht weniger tief als im Ausgangszustand.
19 - NWR	25 - 45	20		
20 - HWR	30	20		Die Durchwurzelung ist weniger tief als im Ausgangszustand. Es ist davon auszugehen, dass die Durchwurzelung in den nächsten Jahren weiter zunehmen wird.
20 - NWR	40	30 - 35		
21 - HWR	20	10		Durchwurzelung ist noch schwächer als am Referenzort
21 - NWR	30	20		
22	10 - 25	10 - 25	20 - 40	Die Durchwurzelung ist fortgeschritten, der Wurzelraum hat gegenüber der Referenzsituation und der Aufnahme im Oktober 2015 zugenommen. Der Oberboden ist sehr stark verwurzelt. Die Durchwurzelung reicht bis in den Unterboden. Insgesamt ist eine gute Wurzelbildung feststellbar.
23	20	10 - 40	20 - 50	Die Durchwurzelung ist weit fortgeschritten, der Wurzelraum hat gegenüber der Referenzsituation zugenommen.

Projekt-nummer	Ausgangszustand in cm	Erfolgskontrolle 1 in cm	Erfolgskontrolle 2 in cm	Kommentare
24	20 - 40	20 - 50		Die Durchwurzelung ist unverändert bis leicht besser. Es gilt zu beachten, dass die Entwicklung des Bodenkörpers noch nicht abgeschlossen und somit eine Vergrößerung des Wurzelraumes grundsätzlich möglich ist.

## A-8 Gefügewert

### Anhang 8: Erfolgskontrolle Gefügewert

Projekt-nummer	Ausgangszustand	Erfolgskontrolle 1	Erfolgskontrolle 2	Kommentare
1	54	56 - 58		Verbesserung der Bodenstruktur erkennbar; erwartete weitere Zunahme der Verbesserung bei schonender Bodenbearbeitung und Bewirtschaftung
2	33	42 - 49		Es hat sich bereits ein qualitativ besseres Bodengefüge ausgebildet als im Ausgangszustand, obwohl z. T. auch noch einzelne Lagen von unstrukturierter Schlamm vorliegen.
3.1	29 - 34	50		Es hat sich bereits ein qualitativ besseres Bodengefüge ausgebildet als im Ausgangszustand, obwohl z. T. auch noch einzelne Lagen von unstrukturierter Schlamm vorliegen.
3.2	29 - 34	52		
4	41	54		Das Gefüge ist vor allem im Unterboden besser strukturiert als im Ausgangszustand. Im Oberboden wird die ursprüngliche Gefügequalität noch nicht ganz erreicht (aufgrund der etwas schwächeren Durchwurzelung).
5	39	53		Die Bodenstruktur konnte verbessert werden. Insbesondere unterhalb von 24 cm ist das Bodengefüge günstiger als im Ausgangszustand.
6	35 - 40	45		Die Bodenstruktur hat sich bereits in den ersten drei Jahren verbessert. Die Gefügebildung ist ein langsamer Prozess, der sich in den kommenden Jahren fortsetzen wird und bei einer weiterhin schonenden Bewirtschaftung zu einer weiteren Strukturverbesserung führen wird.
7	24	36 - 42		Das Bodengefüge ist besser als in der Referenzsituation. Grund dafür dürfte sein, dass der Referenzboden aufgrund eines hohen Schluffanteils natürlicherweise eine sehr geringe Strukturbildung aufweist, während das zugeführte Material teilweise einen höheren Sandgehalt aufwies, was sich günstig auf die Strukturbildung auswirkt.
8	k.A.	k.A.		
9.1	41 - 51	51		Des Gefüge ist im gesamten Profil (untersuchte Tiefe: 48 cm) besser strukturiert, als im Ausgangszustand. Im Oberbodenhorizont (0 bis 10 cm Tiefe) werden die Werte des Ausgangszustandes noch nicht erreicht.
9.2	32 - 50	53		Des Gefüge ist im gesamten Profil (untersuchte Tiefe: 48 cm) besser strukturiert, als im Ausgangszustand.
10	38	37		Während der Gefügewert auf der Rekultivierungsfläche knapp den Wert auf der Referenzfläche erreicht, ist die Gefügeoberfläche bereits etwas höher. Generell ist die Bodenstruktur in stark schluffigen Böden eher schwach ausgebildet und wird sich daher nur noch unwesentlich weiterentwickeln.
11	34	49		Auf der Rekultivierungsfläche hat sich trotz der schluffigen Bodenart im Oberboden bereits eine gute Bodenstruktur entwickelt.
12	43	55		Die Gefügequalität und -oberfläche haben sich verbessert.
13	33	52		Gefügewert und -oberfläche zeigen, dass der Rekultivierungshorizont deutlich bessere Qualitäts- bzw. Struktureigenschaften aufweist, als der gewachsene Boden.
14	48	58		Der Boden weist eine bessere Struktur auf als im Ausgangszustand.
15	58	59		Die Qualität der Bodenstruktur ist bereits recht gut und ähnlich wie im Ausgangszustand (tendenziell etwas besser).

Projekt-nummer	Ausgangszustand	Erfolgskontrolle 1	Erfolgskontrolle 2	Kommentare
16	54	50 - 58		Der Boden weist insbesondere zwischen 12 und 48 cm ein günstigeres Gefüge auf als im Ausgangszustand. In den obersten 12 cm ist die Struktur jedoch ungünstiger (weniger entwickelt).
17	29	31 - 52		Die Bodenstruktur ist besser als im Ausgangszustand. Sowohl die Qualität wie auch die Gefügeoberfläche haben sich verbessert. Im obersten halben Meter ist ein unterschiedlich gut ausgeprägtes Aggregatgefüge vorhanden, während im Ausgangszustand vorwiegend Kohärentgefüge vorlag.
18	k.A.	k.A.		
19	46	39		Die Gefügebildung im Rekultivierungshorizont ist noch schwach ausgeprägt. Dies ist auf den niedrigen Tongehalt (und hohen Sandgehalt) in Kombination mit einer (eher) geringen biologischen Aktivität zurückzuführen.
20	45	49		Der Boden weist von 0 bis 12 cm und 24 bis 48 cm ein günstigeres Gefüge auf als im Ausgangszustand. Im Mittel (0 bis 48 cm Bodentiefe) ist der Gefügewert etwas besser, als dies im Ausgangszustand der Fall war. Die Gefügeoberfläche ist aber noch geringer. Dies ist teilweise auf die stark sandige Textur des Rekultivierungshorizonts zurückzuführen.
21	31	46		Der höhere Sandanteil begünstigt die Strukturbildung, was sich in einer besseren Gefügebewertung auswirkt.
22	40	48 - 49	40 - 48	Der Gefügewert zeigt eine Verbesserung gegenüber dem Referenzzustand. Das Bodengefüge ist teilweise klumpig, was die Gefügequalität einschränkt. Im Vergleich zur Aufnahme im Oktober 2015 wurde ein höherer Anteil an Klumpen festgestellt, weshalb keine weitere Verbesserung vorliegt.
23	33	37 - 40	44 - 48	Der Gefügewert zeigt eine Verbesserung. Die Gefügebildung (Ton-Humus-Komplexe; Lebendverbau) ist noch nicht abgeschlossen. Die Gefügeoberfläche erreicht höhere Werte. Dies ist insbesondere auf eine insgesamt bereits gute Bodenentwicklung zurückzuführen. Das Bodengefüge im Unterboden ist teilweise klumpig / plattig, was die Gefügequalität einschränkt. Eine weitere Verbesserung des Bodengefüges setzt deshalb entsprechende "Korrekturmaßnahmen" voraus.
24	43	34 - 41 (38)		Der Gefügewert ist identisch, während die Gefügeoberfläche derzeit noch geringer ist. Dies ist v.a. auf eine erst gering ausgeprägte natürliche Gefügebildung zurückzuführen. Der Bodenkörper der Rekultivierungsfläche ist erst rund 2 Jahre alt. Die Gefügeentwicklung ist somit noch nicht abgeschlossen.

## A-9 Gefügeoberfläche

### Anhang 9: Erfolgskontrolle Gefügeoberfläche

Projekt-nummer	Ausgangszustand	Erfolgskontrolle 1	Erfolgskontrolle 2	Kommentare
1	2060	2640 bis 2660		Verbesserung der Bodenstruktur erkennbar; erwartete weitere Zunahme der Verbesserung bei schonender Bodenbearbeitung und Bewirtschaftung
2	610	1080 - 1840		
3.1	1100 - 1330	1890		
3.2	1100 - 1330	2010		
4	1520	2610		
5	1150	2330		
6	670 - 1160	1620		
7	390	1020 - 1130		
8	k.A.	k.A.		
9.1	1700 - 1940	2160		
9.2	640 - 1520	2780		
10	1290	1810		
11	960	2030		

Projekt-nummer	Ausgangszu-stand	Erfolgskontrolle 1	Erfolgskontrolle 2	Kommentare
12	403	660		
13	670	1920		
14	2090	2820		
15	2570	2900		
16	515	440 - 578		
17	456	720 - 1910		
18				
19	1760	1570		
20	1500	1360		
21	580	1690		
22	600	1860 - 2000	1270 - 1990	Die Gefügeoberfläche ist grösser, was eine Verbesserung gegenüber dem Referenzzustand bedeutet. Gegenüber der Aufnahme im Oktober 2015 hat die Gefügeoberfläche leicht abgenommen, was insbesondere mit dem höheren Anteil an Klumpen zusammenhängt (vgl. Gefügewert). Damit eine Verbesserung von Gefügewert und Gefügeoberfläche erreicht wird, ist eine Bodenlockerung vorzusehen. Diese darf aber ausschliesslich bei optimal trockenen Bodenverhältnissen durchgeführt werden, da andernfalls die Bodenstruktur zusätzlich beeinträchtigt wird.
23	670	1430 - 2040	1430 - 2260	
24	1610	880 - 1070 (975)		

## A-10 Eindringwiderstand

### Anhang 10: Erfolgskontrolle Eindringwiderstand

Pro-jekt-num-mer	Ausgangszu-stand Eindring-widerstand	Erfolgskon-trolle1 Eindringwi-derstand	Erfolgskon-trolle2 Eindringwi-derstand	Kommentare
1	unverdichtet	in den obersten ca. 40 cm teilweise erhöhter Eindringwiderstand (> 2 Mpa)		Zunahme ja, aber nicht aufgrund von Verdichtung, sondern aufgrund der Materialeigenschaft des Rekultivierungshorizontes (skeletthaltiger mineralischer Boden gegenüber weichem, organischem Boden im Ausgangszustand)
2	unverdichtet	unverdichtet		Der Boden ist wie im Ausgangszustand unverdichtet; der an einigen Stellen höhere Eindringwiderstand ist auf einen erhöhten Skelettingehalt zurückzuführen.
3.1	unverdichtet	unverdichtet		Der Boden ist wie im Ausgangszustand unverdichtet; der an einigen Stellen höhere Eindringwiderstand ist auf einen erhöhten Skelettingehalt zurückzuführen.
3.2	unverdichtet	unverdichtet		Der Boden ist wie im Ausgangszustand unverdichtet; der an einigen Stellen höhere Eindringwiderstand ist auf einen erhöhten Skelettingehalt zurückzuführen.
4	unverdichtet, teilweise im Unterboden verdichtet	verdichtet		Der Boden war zum Zeitpunkt der Erfolgskontrolle aussergewöhnlich trocken, was einen hohen Eindringwiderstand zur Folge hatte (Eindringwiderstand nimmt mit zunehmender Trockenheit stark zu (Saugspannungswerte 12.04.2016: 50 bis 60 hPa; 28.05.2020: 710 bis 850 hPa). Der erhöhte Eindringwiderstand ist somit primär ein Artefakt der Messung und nicht auf eine mögliche Schädverdichtung des Bodenkörpers zurückzuführen.



Projekt-nummer	Ausgangszustand Eindringwiderstand	Erfolgskontrolle1 Eindringwiderstand	Erfolgskontrolle2 Eindringwiderstand	Kommentare
5	unverdichtet	unverdichtet; zwischen 12 und 48 cm stellenweise verdichtet		Der Boden ist an einigen Standorten dichter als im Ausgangszustand. Die teilweise erhöhte Lagerungsdichte ist u.a. auf erhöhte Saugspannungswerte (trockene Witterung) zum Zeitpunkt der Feldarbeiten zurückzuführen.
6	n.b.	unverdichtet, teilweise erhöhte Lagerungsdichte (bis max. 3.5 MPa)		Der Eindringwiderstand hat zugenommen. Dies ist aber nicht auf eine Verdichtung, sondern auf die Materialeigenschaften des Rekultivierungshorizontes zurückzuführen (skeletthaltiger mineralischer Boden gegenüber weichem, nassem, organischem Boden im Ausgangszustand).
7	unverdichtet	mehrheitlich unverdichtet, unterhalb 50 cm punktuell erhöhte Lagerungsdichte		Die Rekultivierungsfläche ist wie die Referenzfläche in den obersten 50 cm unverdichtet. Unterhalb von 50 cm wurde im östlichen Bereich der Rekultivierungsfläche vereinzelt eine Verdichtung festgestellt.
8	keine Messung im Ausgangszustand. Bei einer Referenzmessung auf der angrenzenden Parzelle wurde der Boden als unverdichtet beurteilt	verdichtet		Der eingebaute C-Horizont weist als Folge dichter Lagerung und des Skelettgehalts einen erhöhten Eindringwiderstand auf. Da für den Ausgangszustand keine Daten vorliegen, ist ein direkter Vergleich mit dem Ausgangszustand nicht möglich. Die Messung des Eindringwiderstandes auf der Rekultivierungsfläche war nur eingeschränkt möglich. Die Kombination aus Skelettgehalt und hoher Lagerungsdichte im aufgetragenen C-Horizont liess nur eine Messung in den obersten 15 – 45 cm zu.
9.1	unverdichtet bis erhöhte Lagerungsdichte	unverdichtet, punktuell erhöhte Lagerungsdichte		Der Eindringwiderstand ist insgesamt etwas geringer als im Ausgangszustand
9.2	unverdichtet	unverdichtet, punktuell erhöhte Lagerungsdichte		Der Eindringwiderstand ist tendenziell etwas grösser als im Ausgangszustand. Die erhöhten Werte sind auf den Skelettgehalt zurückzuführen.
10	mehrheitlich unverdichtet etwas dichter in ca. 30 cm Tiefe	verdichtete Bereiche bei 30 cm und unterhalb von 50 cm Tiefe		Der Boden ist insgesamt eher dichter gelagert als am Referenzstandort.
11	mehrheitlich unverdichtet, teilweise Verdichtungen im Bereich zwischen 25 und 40 cm	unverdichtet		Der Eindringwiderstand und damit die Tragfähigkeit haben gegenüber dem Ausgangszustand zugenommen. Vereinzelt werden Verdichtungen beobachtet.
12	unverdichtet	mehrheitlich unverdichtet; punktuell erhöht		Der punktuell erhöhte Eindringwiderstand ist auf den Skelettgehalt zurückzuführen. Es handelt sich nicht um eine Bodenverdichtung.

Projekt-nummer	Ausgangszustand Eindringwiderstand	Erfolgskontrolle1 Eindringwiderstand	Erfolgskontrolle2 Eindringwiderstand	Kommentare
13	unverdichtet, in einer Tiefe ab 40 cm teilweise erhöhte Lagerungsdichte	unverdichtet		keine Anzeichen auf Verdichtung
14	unverdichtet, selten auch punktuell verdichtet	in der Regel mindestens punktuell verdichtet		Der höhere Eindringwiderstand auf der Rekultivierungsfläche ist im Wesentlichen auf den höheren Skelettgehalt zurückzuführen
15	unverdichtet	unverdichtet		
16	unverdichtet	mehrheitlich unverdichtet; teilweise punktuell verdichtet oder verdichtet		Der Boden weist einen höheren Eindringwiderstand auf als im Ausgangszustand. Zwar ist der Bodenkörper mehrheitlich unverdichtet, jedoch werden stellenweise auch Verdichtungen festgestellt.
17	unverdichtet	mehrheitlich unverdichtet, vereinzelt punktuell verdichtet		Der Boden ist wie im Ausgangszustand mehrheitlich unverdichtet. Nur sehr punktuell wurden schwache Verdichtungen festgestellt.
18	k.a.	unverdichtet, unterhalb des Rekultivierungshorizonts teilweise erhöhter		In den meisten Fällen ist dies auf den zunehmenden Skelettgehalt mit der Tiefe zurückzuführen.
19	unverdichtet	mehrheitlich unverdichtet; leicht verdichtet		Der Eindringwiderstand ist im Wesentlichen unverändert. Der punktuell beobachtete höhere Eindringwiderstand dürfte vor allem mit dem Skelettanteil zusammenhängen.
20	unverdichtet	mehrheitlich unverdichtet, teilweise unverdichtet		Der Eindringwiderstand ist höher als im Ausgangszustand. Der Boden ist mehrheitlich unverdichtet, stellenweise wurden jedoch (geringe) Verdichtungen festgestellt. Nebst der mineralischen Bodenart des Rekultivierungshorizonts (im Gegensatz zum organischen Oberboden im Ausgangszustand) ist die teilweise erhöhte Lagerungsdichte teilweise auf eine unvollständige Bodenlockerung (im Vorfeld der Erstbegrünung) sowie Fahrspuren im Rahmen der Folgebewirtschaftung zurückzuführen.
21	unverdichtet	unverdichtet bis verdichtet		Der Unterboden (ab ca. 40 cm Tiefe) weist stellenweise eine erhöhte Lagerungsdichte auf.
22	unverdichtet	unverdichtet, punktuell erhöhter Eindringwiderstand im Bereich von ca. 10 - 25 cm Tiefe	unverdichtet, punktuell erhöhter Eindringwiderstand im Bereich von ca. 30 cm Tiefe	Der Rekultivierungshorizont weist teilweise einen erhöhten Eindringwiderstand auf. Der erhöhte Eindringwiderstand wirkt sich nicht negativ auf die landwirtschaftliche Bewirtschaftung aus. Dies v.a. deshalb, weil die Messwerte vorwiegend auf den erhöhten Skelettgehalt zurückzuführen sind.
23	unverdichtet im Oberboden, erhöhte Werte ab ca. 50 cm	unverdichtet im Oberboden, erhöhte Werte ab ca. 25 - 50 cm	mehrheitlich unverdichtet, punktuell erhöhte Lagerungsdichte ab ca. 15 cm	Der Rekultivierungshorizont weist teilweise einen erhöhten Eindringwiderstand auf. Dies ist vor allem auf den erhöhten Skelettgehalt in der Schwemmerde zurückzuführen. Ein negativer Einfluss bezüglich Strukturbildung oder Wasserhaushalt ist derzeit nicht feststellbar.

Projekt-nummer	Ausgangszustand Eindringwiderstand	Erfolgskontrolle1 Eindringwiderstand	Erfolgskontrolle2 Eindringwiderstand	Kommentare
24	unverdichtet	unverdichtet bis teilweise verdichtet		Der Eindringwiderstand ist erhöht, was v.a. auf den Einbau von mineralischem Erdaushub zurückzuführen ist. Erfahrungsgemäss sind die erhöhten Messwerte u.a. auf einen erhöhten Skelettgehalt im Untergrund zurückzuführen (ausserhalb der Beurteilung des Bodenprofils).