

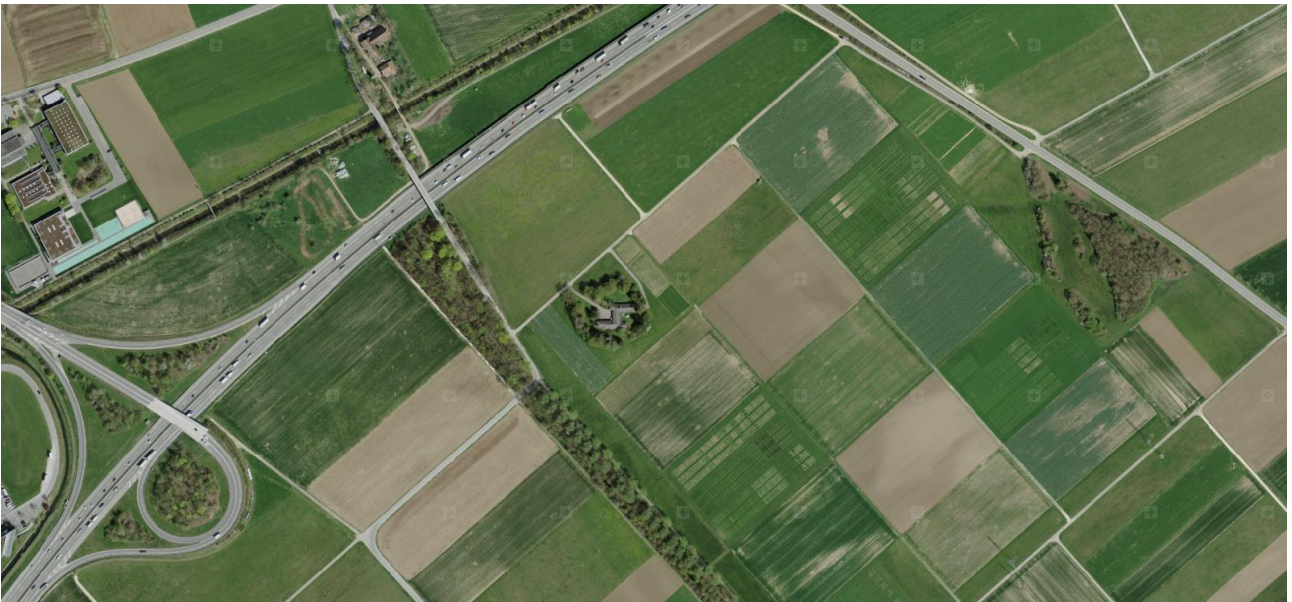
Hochwasserschutz



Lebensraum Dünnern Oensingen bis Olten
Hochwasserschutz und Aufwertung

Dünnerngrube- Auswirkungen auf Boden und Landwirtschaft

Fachbericht



Vorprojekt

Variante «Rückhalten und Aufwerten»

Änderungsnachweis

Version	Datum	Bezeichnung der Änderungen	Verteiler
0.1	23.03.2021	Abgabe Entwurf	AfU
0.2	30.06.2021	Vorabzug	AfU
1.0	31.08.2021	Vernehmlassung	AfU
2.0	29.04.2022	Definitives Vorprojekt	AfU

Genehmigt / geprüft

Impressum

Auftragsnummer UE200022
Auftraggeber Amt für Umwelt des Kantons Solothurn (AfU)
Datum 29. April 2022
Version 2.0
Vorversionen 0.1 (Entwurf), 0.2 (Vorabzug), 1.0 (Vernehmlassung)
Autor(en) Kathrin Beglinger (kathrin.beglinger@emchberger.ch)
Andreas Schomburg (andreas.schomburg@emchberger.ch),
Freigabe Andreas Widmer (andreas.widmer@emchberger.ch)
Verteiler AfU: Roger Dürrenmatt, Nicole Bieber
Hunziker, Zarn & Partner, Andreas Niedermayr (fachliche BHU)
Datei V:\EBG\Zusammenarbeit
EBBE_EBS0_EBWSB\UE200022_Lebensraum_Duennern\4_plan\42_vorp\Ing\07_Boden\4_Fach
bericht_Boden_RA\RA_804_Fachbericht_Dünnerngrube-Boden und
Landwirtschaft_V2_220317.docx
Seitenanzahl 23
Copyright © Emch+Berger AG Bern

Inhalt

1	Problemstellung und Ziele	1
1.1	Allgemeine Problemstellung zum Thema Boden	1
1.2	Spezifische Fragestellungen	2
1.2.1	Auswirkungen von (Teil-)Füllungen auf die Bodenverhältnisse im Retentionsbecken	2
1.2.2	Bodenaufwertung im Zuge der Rekultivierung	2
1.2.3	Veränderung der mikroklimatischen Bedingungen	2
1.2.4	Einfluss auf die landwirtschaftliche Produktivität	2
1.2.5	Mögliche Randeffekte auf die Umgebung der Dünnerngrube	2
2	Grundlagen	3
3	Bodenkundlicher Fachbericht	5
3.1	Auswirkungen von (Teil-)Füllungen auf die Bodenverhältnisse im Retentionsbecken	5
3.1.1	Ist-Zustand der Böden im Bereich der projektierten Dünnerngrube	5
3.1.2	Beschaffenheit des Untergrunds	5
3.1.3	Auswirkungen von Ablagerungen auf die Bodeneigenschaften allgemein	5
3.1.4	Auswirkungen der Einstaudauer auf die Bodeneigenschaften	6
3.1.5	Bewertung der Auswirkungen der Dünnerngrube auf die Bodeneigenschaften	6
3.2	Bodenaufwertung im Zuge der Rekultivierung	7
3.2.1	Problemanalyse bei der Rekultivierung gemäss Ist-Zustand	7
3.2.2	Rekultivierungsziel	8
3.2.3	Neuer Bodenaufbau zur Verbesserung des Wasserhaushalts	8
3.2.4	Bewertung des vorgeschlagenen Bodenaufbaus	10
3.3	Einfluss der mikroklimatischen Bedingungen auf die landwirtschaftliche Produktion	11
3.3.1	Änderung Tiefsttemperatur in Frostnacht 10 cm über Beckenboden	11
3.3.2	Situation Kahlfrost im Winter	12
3.3.3	Veränderung Luftfeuchtigkeit und positive Effekte in trockenen Sommern	13
3.3.4	Auswirkungen und Massnahmen	14
3.4	Einfluss auf die landwirtschaftliche Produktivität	15
3.4.1	Landwirtschaftliche Produktion unmittelbar nach dem Bau der Dünnerngrube	15
3.4.2	Landwirtschaftliche Produktion nach einem Ereignis	15
3.4.3	Produktionseinbussen als Folge mikroklimatischer Veränderungen	15
3.5	Mögliche Randeffekte auf die Umgebung der Dünnerngrube	17
3.5.1	Versuchsflächen von Agroscope	17
3.5.2	Mögliche Randeffekte der Dünnerngrube auf die Umgebung und Versuchsflächen	17
3.5.3	Fazit	18
4	Gesamtfazit	18
Anhang A	Leitprofile	A-1

1 Problemstellung und Ziele

1.1 Allgemeine Problemstellung zum Thema Boden

Die Vorprojektvariante «Rückhalten und Aufwerten» beinhaltet den Bau der Dünnerngrube als Hochwasserretentionsbecken. Sie ist auf ein 100-jährliches Hochwasserereignis ausgelegt, wobei die Entlastung bereits bei einem 10-jährlichen Ereignis anspringt. Die dafür vorgesehene Fläche von ca. 15.5 ha wird aktuell landwirtschaftlich genutzt und ist im Inventar der Fruchtfolgeflächen eingetragen [1]. Auf und unmittelbar angrenzend an die Fläche befinden sich diverse Langzeitversuchsflächen von Agroscope, welche teilweise standortgebunden sind.

Die Grösse und die bauliche Ausgestaltung der Dünnerngrube (u. a. Tiefe, Böschungsgestaltung) kann einen langfristigen Einfluss auf die Bodenbildung, die Bodenfunktionen, die mikroklimatischen Bedingungen und auf die landwirtschaftliche Produktivität haben. Umgekehrt hat der Boden aber auch einen entscheidenden Einfluss darauf, in welchem Zeitraum ein Teil des einströmenden Wassers in den Untergrund versickern kann und inwieweit im Wasser gelöste Schadstoffe gebunden werden können.

Der vorliegende Bericht geht im Detail auf spezifische Fragestellungen des Amtes für Landwirtschaft und der Fachstelle Bodenschutz des Kantons Solothurn ein, um die Projektauswirkungen auf den Boden, das Mikroklima und die landwirtschaftliche Produktivität in der Dünnerngrube sowie in unmittelbarer Umgebung (Stichwort Randeffekte) abzuschätzen. Weiter wird dargelegt, wie Boden im Rahmen der Rekultivierung neu aufgebaut werden sollen, damit die geforderten Filterfunktionen wahrgenommen werden können.

Für die technischen Details zur Ausgestaltung der Dünnerngrube wird an den entsprechenden Stellen auf die jeweiligen Passagen im Technischen Bericht verwiesen.

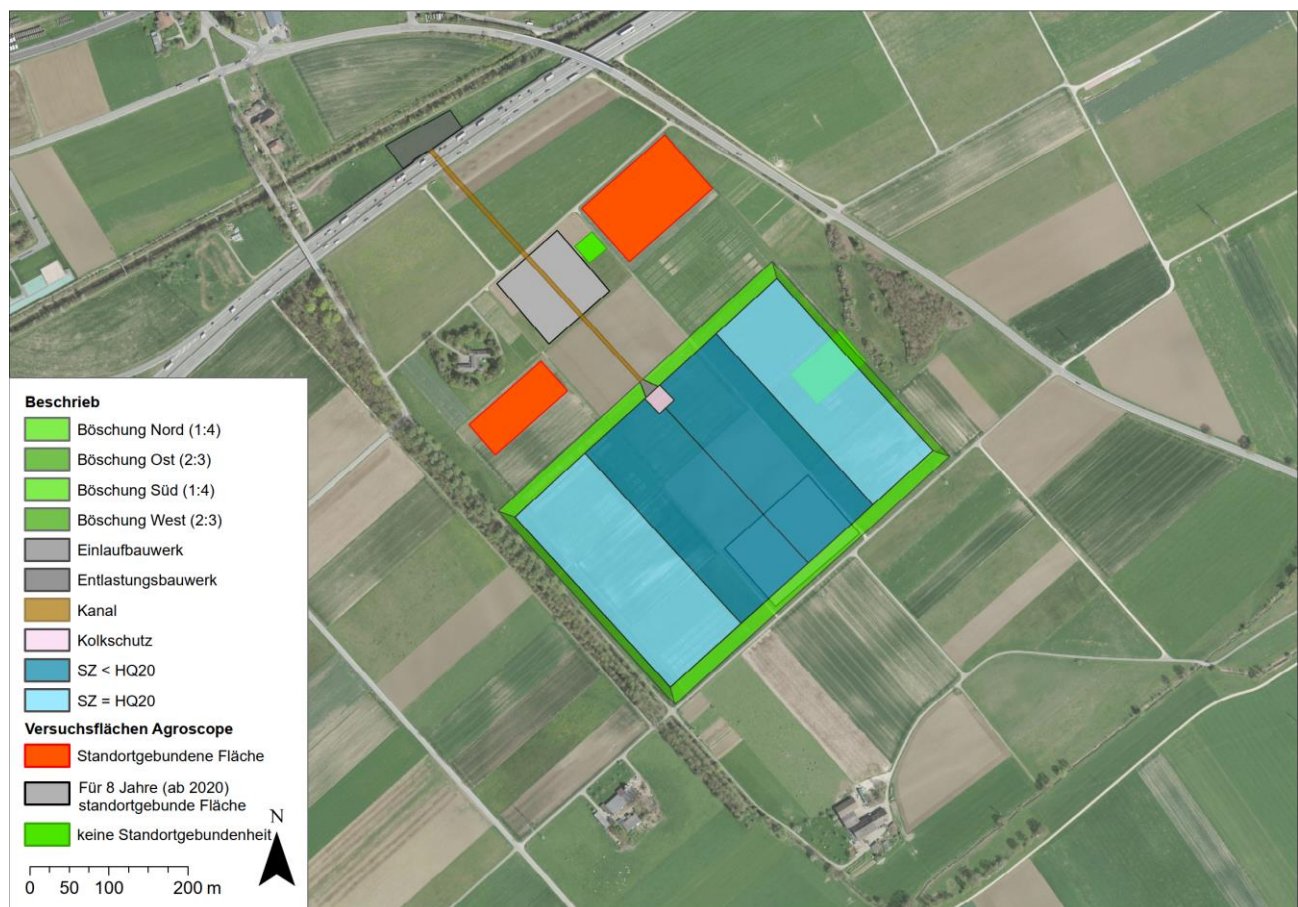


Abb. 1: Schematische Ansicht der Dünnerngrube

1.2 Spezifische Fragestellungen

1.2.1 Auswirkungen von (Teil-)Füllungen auf die Bodenverhältnisse im Retentionsbecken

Auf Basis vorhandener Untersuchungen in der Schweiz und im Ausland werden mögliche Szenarien und Auswirkungen von (Teil-)Füllungen auf die Bodenverhältnisse in der Dünnerngrube analysiert und bewertet. Die Auswirkungen können in Abhängigkeit von der Mächtigkeit der Sedimentablagerungen unterschiedlich stark ausfallen und erfordern unterschiedliche Rekultivierungs- und Wiederherstellungsmassnahmen.

1.2.2 Bodenaufwertung im Zuge der Rekultivierung

Die Dünnerngrube wird gemäss den hydrogeologischen Untersuchungen vom Herbst 2020 [33] bis in die alluvialen Kiesel- und Schotter hineinreichen. Während der Bauphase wird der vorhandene Boden abgetragen. Nach Abschluss der Bauarbeiten wird er anschliessend wieder rekultiviert. Dabei wird abgewogen, ob der Bodenaufbau in seinem jetzigen Zustand beibehalten wird oder ob ein neuer Bodenaufbau mit zusätzlichen Bodenhorizonten angelegt werden soll, um die Bodenfunktionen auch im Ereignisfall zu gewährleisten und die FFF-Qualität der Böden sicherzustellen.

1.2.3 Veränderung der mikroklimatischen Bedingungen

Durch die Morphologie der Dünnerngrube wird es in dieser voraussichtlich zu einer Veränderung der mikroklimatischen Bedingungen kommen, welche sich auf die landwirtschaftliche Produktivität auswirken können. Basierend darauf wird dargelegt, unter welchen Voraussetzungen die Fruchtfolgeflächen in der Sohle der Dünnerngrube erhalten werden können. Basierend auf einigen wenigen Studien aus dem Raum Wien, Graz und Stuttgart werden folgende Szenarien diskutiert:

- Änderung Tiefsttemperatur in Frostnacht 10 cm über Beckenboden
- Situation Kahlfröste im Winter
- Veränderung Luftfeuchtigkeit gegenüber normalem Terrain
- positive Effekte in trockenen Sommer

1.2.4 Einfluss auf die landwirtschaftliche Produktivität

Der mögliche Einfluss der Dünnerngrube auf die Produktivität der Landwirtschaftsflächen wird für die Folgebewirtschaftungszeit nach dem Bau der Dünnerngrube, für den Fall eines Flutungsereignisses und bei Veränderungen des Mikroklimas in der Dünnerngrube generell beschrieben. Der für einige Ackerkulturen kritische Spätfrost und das Risiko für Produktivitätseinbussen wird abgeschätzt.

1.2.5 Mögliche Randeffekte auf die Umgebung der Dünnerngrube

Mögliche Standortveränderungen (Randeffekte) auf Flächen angrenzend an die Dünnerngrube werden evaluiert. In unmittelbarer Nähe zu der projektierten Dünnerngrube befinden sich Versuchsflächen von Agroscope. Die Betroffenheit der einzelnen Versuche wird kurz dokumentiert und Auswirkungen auf die Messreihen der Versuchsflächen während der Bauphase sowie in der Betriebsphase der Dünnerngrube (z.B. Randeffekte) kurz diskutiert.

2 Grundlagen

- [1] AFU Kt. Solothurn, 2017: Kantonaler Richtplan.
- [2] Agroscope, 2020: Zusammenstellung Versuchsflächen in Oensingen, Besprechungsgrundlage vom Dezember 2020.
- [3] ALN, 2003: Richtlinien für Bodenrekultivierungen, Amt für Landschaft und Natur, Fachstelle Bodenschutz, Baudirektion Kanton Zürich, Zürich.
- [4] ARE, 2006: Sachplan Fruchtfolgeflächen FFF: Vollzugshilfe, Bundesamt für Raumentwicklung.
- [5] Bätz N, Verrecchia E.P, Lane S.N., 2014. Soil in braided rivers: an overlooked component of braided river morphodynamics. In River Flow 2014, Schleiss A.J., De Cesare G., Franca M.J., and Pfister P. (eds). Taylor & Francis Group: London.
- [6] Bergue, J.-M., Ruperd, Y., 2000. Stormwater retention basins. CRC press, 1st edition, 240 pages.
- [7] Blume, H.-P., Brümmer, G.W., Horn, R., Kandeler, E., Kögel-Knabner, I., Kretschmar, R., Stahr, K., Wilke, B.-M. (2010) Scheffer/Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde. 16. Auflage. Springer Spektrum, Heidelberg 2010.
- [8] BLW, 2019: Klimaeignungskarte für die Landwirtschaft. Eidg. Volkswirtschaftsdepartement; Abteilung für Landwirtschaft.
- [9] DWD, undatiert: Kahlfröste (Barfröste). Wetterlexikon des Deutschen Wetterdienstes, aufgerufen am 29.07.2020.
- [10] Eawag, WSL, ETHZ, EPFL, 2005: Integrales Gewässermanagement – Erkenntnisse aus dem Rhone-Thur Projekt.
- [11] FAL, 1997: Kartieren und Beurteilen von Landwirtschaftsböden, Eidg. Forschungsanstalt Reckenholz, Schriftenreihe FAL Nr. 24.
- [12] FAL, 2002: Klassifikation der Böden in der Schweiz, Eidg. Forschungsanstalt für landwirtschaftlichen Pflanzenbau, FAL Reckenholz.
- [13] Flussbau AG, 2017: Hochwasserschutz und Revitalisierung Dünnern – Abschnitt Oensingen bis Oberbuchsiten – Vorstudie.
- [14] Flussbau AG, 2018: Hochwasserschutz Dünnern – Abschnitt Oensingen bis Olten.
- [15] FSKB, 2001: Kulturland und Kiesabbau, Richtlinie für den fachgerechten Umgang mit Böden (FSKB-Rekultivierungsrichtlinie), Fachverband der Schweizerischen Kies- und Betonindustrie.
- [16] Gasche Bodengutachten GmbH, 2014: Entscheidungsschlüssel zur Kategorisierung der Rekultivierbarkeit der Böden.
- [17] Geographisches Informationssystem des Kantons Solothurn, GIS-S0: Karte Fruchtfolgeflächen (FFF). Zugriffen am 08.07.2020.
- [18] Geographisches Informationssystem des Kantons Solothurn, GIS-S0: Kataster der belasteten Standorte. Zugriffen am 08.07.2020..
- [19] Geographisches Informationssystem des Kantons Solothurn, GIS-S0: Bodenprofilstandorte. Zugriffen am 08.03.2022.
- [20] Geographisches Informationssystem des Kantons Solothurn, GIS-S0: Bodeninformati on Landwirtschaftsboden. Zugriffen am 08.03.2022.
- [21] Geographisches Informationssystem des Kantons Solothurn, GIS-S0: Bodeninformati on Waldboden. Zugriffen am 08.03.2022.
- [22] Geographisches Informationssystem des Kantons Solothurn, GIS-S0: Bodentyp. Zugriffen am 08.03.2022.
- [23] Geographisches Informationssystem des Kantons Solothurn, GIS-S0: Prüfperimeter Bodenabtrag. Zugriffen am 08.03.2022.
- [24] Amt für Umwelt des Kantons Solothurn (2022). Bodeneinheiten. Datenbezug: 15.03.2022.
- [25] Gpart, D., undatiert: Forces of Nature, blogspot <http://forcesofnature-main.blogspot.com>
- [26] Hintermann & Weber, 2018: Hochwasserschutz und Revitalisierung Dünnern. Bodengutachten zur Variante «Retention»
- [27] Hofmann, G., 2016: Kaltluftproduktion an Retentionsbecken im Raum Graz. Masterarbeit. Institut für Geographie und Raumforschung der Karl Franzens Universität Graz.
- [28] Hunziker, Zarn und Partner AG, 2018: Zweitmeinung Vorstudie «Hochwasserschutz und Revitalisierung Dünnern».
- [29] King, E., 1973: Untersuchungen über kleinräumige Änderungen des Kaltluftabflusses und der Frostgefährdung durch Straßenbauten. Ber. DW D, Nr. 130, 17, Offenbach.
- [30] Klimaatlas Kärnten – modulares, hydrologisches und klimatologisches Umweltinformationssystem der Kärntner Landesregierung. www.klimaatlas.ktn.gv.at
- [31] Kt.Solothurn, 2021: Folgebewirtschaftung rekultivierter Flächen – Merkblatt. Amt für Umwelt des Kantons Solothurn.

- [32] Kt. Solothurn, 2021: Klimawandel. Klimazukunft <https://klimageschichten.so.ch/klimawandel/klimazukunft>
- [33] Pfeffer, G., 2004: Fliegen im Gebirge.
- [34] Schirmer, M., Luster, J., Linde, N., Perona, P., Mitchell, E. A. D., Barry, D. A., Hollender, J., Cirpka, O. A., Schneider, P., Vogt, T., Radny, D., and Durisch-Kaiser, E. 2014: Morphological, hydrological, biogeochemical and ecological changes and challenges in river restoration – the Thur River case study, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18, 2449-2462.
- [35] Schomburg, A., Schilling, O.S, Guenat, C., Schirmer, M, Le Bayon, R.C., Brunner, P., 2018: Topsoil structure stability in a restored floodplain: Impacts of fluctuating water levels, soil parameters and ecosystem engineers. *Science of the Total Environment* 639: 1610–1622.
- [36] Schomburg, A., Brunner, P., Turberg, P., Guenat, C., Riaz, M., Le Bayon, R.C., Luster, J., 2019: Pioneer plant *Phalaris arundinacea* and earthworms promote initial soil structure formation despite strong alluvial dynamics in a semi-controlled field experiment. *Catena* 180: 41-54.
- [37] Sieber Cassina Partner AG, 2020: Lebensraum Dünnern zwischen Oensingen und Olten, Hochwasserschutz und Aufwertung, Hydrogeologische und geologische Begleitung.
- [38] Sieber Cassina Partner AG, 2021: Lebensraum Dünnern zwischen Oensingen und Olten, Hochwasserschutz und Aufwertung, Bohrkampagne Herbst 2020, Dokumentation Untersuchungsergebnisse. (V2.1 vom 04.03.2021)
- [39] Steinbauer, L., 2017: Wirksame Methoden zur Abwehr von Spätforstschäden. *Agrar Steiermark*, 2/2017.
- [40] Strickhof Lindau: Mail «Angaben zur Frostempfindlichkeit diverser Ackerkulturen» von M. Bertschi, vom 15. März 2021.
- [41] Szalatnay, D., Wieland, S., Schweizer, S., 2018: Massnahmen gegen Frost. Obstfachstellen AG, BE, BL, SO, ZH und Agroscope, 1. Ausgabe.
- [42] Terraplan (2007) Agronomische Begleitung HWU 05 Urner Talboden – Schlussbericht. Im Auftrag des Amtes für Umweltschutz Kanton Uri.
- [43] Wakonigg, H., Kombinierte Werte, In: Pilger, H., 2010: Klimaatlas Steiermark, Kapitel 8, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik ZAMG, Version 2.0, Wien.
- [44] Zobernig, S., 1950: Untersuchungen über den Mehлтаubefall an Sommergerste im Schmirntal. Universität Innsbruck, Diplomarbeit.

3 Bodenkundlicher Fachbericht

3.1 Auswirkungen von (Teil-)Füllungen auf die Bodenverhältnisse im Retentionsbecken

3.1.1 Ist-Zustand der Böden im Bereich der projektierten Dünnerngrube

Gemäss Bodenkarte des Kantons Solothurn [22] kommen auf der Fläche vor allem mässig tiefgründige bis tiefgründige (Kalk-)Braunerden, Braunerde-Pseudogleye und Pseudogleye vor. Drei Leitprofile befinden sich innerhalb (Profilnr. 2407-28) oder unmittelbar ausserhalb der projektierten Dünnerngrube (Profilnr. 2407-27 und 2403-14) [19]. Die Bodenprofilblätter der Leitprofile sind im Anhang A angefügt. Die Böden im Südwesten der Dünnerngrube sind stark von Stauwasser beeinflusst. Stellenweise sind die Böden dauernd vernässt. Der Stauwassereinfluss im Boden nimmt im nordwestlichen Bereich der Dünnerngrube stark ab [20]. Die Böden verfügen insgesamt über eine grosse bis sehr grosse Durchwurzelungstiefe und ein gutes bis sehr gutes Speichervermögen für Nährstoffe und Wasser [21]. Mit Ausnahme eines kleineren Bereichs in der Mitte der Dünnerngrube weisen die Böden keine oder nur wenige Steine (0-5%) auf, sind schwach bis mässig humos und haben einen neutralen bis schwach sauren pH-Wert im Oberboden. Der Bereich in der Mitte der Dünnerngrube ist steinreich, humos und verfügt über einen alkalischen pH-Wert im Oberboden.

Die mittlere Mächtigkeit des Ober- und Unterbodens kann anhand der vorhandenen Bodendaten [24], der Leitprofile (Anhang A) und anhand der hydrogeologischen Bohrungen vom Herbst 2020 (vergl. Fachbericht Hydrogeologie zum vorliegenden Projekt) auf durchschnittlich 70 cm geschätzt werden, wobei der Oberboden durchschnittlich 30 cm und der Unterboden 40 cm mächtig ist. Anschliessend an den Unterboden folgt typischerweise ein unterschiedlich stark ausgeprägter BC(gg)-Horizont von 20-30 cm mit einem Tonanteil von 45-55 %, der aufgrund der darunterliegenden Deckschicht meist von Stauwasser geprägt ist.

Allgemein handelt es sich um schwere, tonige Böden. Diese sind schwer bearbeitbar und trocknen sehr langsam ab [20]. Der südwestliche Bereich der Dünnerngrube ist aufgrund seiner Bodenart und des Stauwassereinflusses extrem empfindlich gegenüber Verdichtungen [20]. Somit können bereits geringe Auflasten irreversible Schäden verursachen. Im zentralen Bereich der Dünnerngrube ist der Boden empfindlich gegenüber Verdichtungen. Dies bedeutet, dass erhöhte Sorgfalt beim Befahren und Feldarbeiten notwendig ist. Die Böden im nördlichen Bereich der Dünnerngrube sind insbesondere aufgrund des fehlenden Stauwassereinflusses als mässig empfindlich gegenüber Verdichtungen eingestuft. Dies bedeutet, dass die Böden nach Abtrocknungsphase im Allgemeinen gut mechanisch belastbar sind.

Die bestehenden Böden im Bereich in der projektierten Dünnerngrube werden aufgrund der umfassenden Korrektur der Dünnern in den 1930/40er Jahren nur noch selten überflutet. Gegenwärtig werden die Böden ackerbaulich genutzt und sind gemäss Geoportal des Kantons Solothurn [17] als Fruchtfolgeflächen ausgewiesen.

Der Umkreis von 25 m um die Hochspannungsleitungsmasten, welche im Süden an die Dünnerngrube angrenzen sowie der Pufferstreifen 5 m seitlich ab Fahrbahnrand (die Darstellung ist nicht lagegenau) der Strasse, welche im Nordosten an die Dünnerngrube angrenzt, sind als Verdachtsflächen für eventuelle Bodenbelastungen ausgewiesen (Prüferimeter für Bodenverschiebungen) [23].

3.1.2 Beschaffenheit des Untergrunds

Gemäss den hydrogeologischen Untersuchungen vom Herbst 2020 [38] liegt unterhalb des Bodens flächendeckend eine rund 1.7 m mächtige Deckschicht vor, gefolgt von einer 1.5-2.5 m mächtigen lehmigen Schotterschicht. Darunter folgen kiesige Niederterrassenschotter aus sauberem bis stark siltigem Kies mit Sand und wenigen bis vielen Steinen. Die sandig-kiesigen Niederterrassenschotter mit generell geringen Feinkornanteilen weisen eine gute Sickerfähigkeit auf. Hingen dürften die Deckschicht und die Schicht aus lehmigem Schotter wegen der hohen Feinkornanteile generell eine geringere Sickerfähigkeit aufweisen.

3.1.3 Auswirkungen von Ablagerungen auf die Bodeneigenschaften allgemein

Flutungsereignisse führen gemäss Bodengutachten von Hintermann & Weber AG [26] generell in Bereichen, in dem das Wasser eingeleitet wird, zur Erosion und im Einstaubereich zu Ablagerungsprozessen.

Die Ablagerung von Sedimenten hat in Abhängigkeit von der Mächtigkeit Auswirkungen auf die Bodeneigenschaften sowie auf den Wasser- und Lufthaushalt des Bodens. Das Gefüge des Oberbodens setzt sich überwiegend aus Krümeln und

kleinen Subpolyedern zusammen und ist durch den hohen Anteil an organischem Material gut strukturiert und verfügt über ein weitverflochtenes Grobporensystem. Der Eintrag von Feinsediment führt primär zu einer Verstopfung des Grobporensystems, welche eine Erhöhung der Lagerungsdichte und der sog. Einlagerungsverdichtung nach sich zieht [26]. Dabei wird die oberste Bodenschicht versiegelt und kann bei Abtrocknung zur Krustenbildung führen [7]. Dies behindert den Durchbruch keimender Pflanzen durch die Bodenoberfläche und führt zu Wachstumsstörungen [26]. Die höhere Lagerungsdichte im Oberboden gepaart mit der aufliegenden Feinsedimentschicht führt zu einer Reduzierung der Wasserleitfähigkeit. Dies verlangsamt die Abtrocknungszeit der Böden, was eine erhöhte Verdichtungsempfindlichkeit des Unterbodens mit sich bringen kann. Im Gegenzug verringert sich die Infiltrationskapazität des Bodens bei Niederschlagsereignissen. Daraus kann einerseits Oberflächenabfluss und Rinnenerosion entstehen, andererseits kann dieses Phänomen zu einer dauerhaften Beeinträchtigung des Bodenwasserhaushalts führen. Weiterhin wird durch die Verstopfung des Grobporensystems der Luftaustausch zwischen Boden und Atmosphäre stark gehemmt. Die Sauerstoffzufuhr (Sauerstoffdiffusion) und der Sauerstoffgehalt in der Bodenluft sinken, so dass die Wurzelaktivität reduziert wird [7]. Die Folge sind Störungen im Pflanzenwachstum.

Die Bodeneigenschaften können sich jedoch auch positiv verändern. Alluviale Sedimente sind häufig reich an Nährstoffen, sodass sich die Ablagerung auch positiv auf die Bodenqualität und das Pflanzenwachstum auswirken kann. Im Nachgang zum Hochwasser 2005 im Kanton Uri wurde der Nährstoffgehalt der Ablagerungen und des aufgestauten Wassers untersucht [42]. Der Schlamm verfügte über einen mässig bis hohen Gehalt an pflanzenverfügbarem Phosphor und Kalium. Das Überflutungswasser enthielt zudem grosse Mengen an organischer Substanz und pflanzenverfügbarem Stickstoff. Beides führte dazu, dass Flächen mit ≤ 5 cm Schlamm im Folgejahr ein gutes Pflanzenwachstum aufwiesen [26].

Bei geringmächtigen Ablagerungen (2-5 cm) kann das Sediment innerhalb weniger Wochen durch die hohe Bioturbation von epi-anözischen und endogäischen Regenwürmern in die Bodenmatrix eingearbeitet werden. Feldstudien in der Thuraue bei Frauenfeld zeigen, dass die strukturelle Stabilität des Bodens nach einem Ablagerungsereignis bereits nach einem Jahr wieder derjenigen des Ausgangszustands entspricht [36]. Somit können sich bei geringen Ablagerungen (2-5 cm) die betroffenen Flächen hinsichtlich Bodengefüge, Wasser- und Lufthaushalt selbst regenerieren.

Bei mächtigeren Sedimentablagerungen (10-20 cm) ist die natürliche Regenerationsfähigkeit des Bodens stark eingeschränkt. Studien in der Thuraue und am Tagliamento im Friaul (IT) zeigen, dass ehemalige Oberbodenhorizonte vollständig begraben werden können und die strukturelle Stabilität des Bodens selbst nach 5 Jahren noch nicht wieder derjenigen des Ausgangszustands entspricht [5], [36]. Das zeigt, dass die Veränderung der Bodeneigenschaften nach einem Überflutungsereignis in Kombination mit einer Ablagerung von mächtigen Sedimentschichten durch natürliche Bodenregulationsmechanismen innerhalb weniger Jahre nicht reversibel ist. Somit können die entstandenen Schäden nur mit Instandstellungs- und Rekultivierungsmassnahmen reversibel gemacht werden [26]. Intensives Auflockern des Oberbodens sowie die Ansaat mit einer mehrjährigen Rekultivierungsmischung würden zu einer Neubildung eines stabilen Bodengefüges massgeblich beitragen.

3.1.4 Auswirkungen der Einstaudauer auf die Bodeneigenschaften

Je nach Dauer des Einstaus kann der Boden langfristig durch die andauernde Wassersättigung der Grobporen und dem damit verbundenen Sauerstoffmangel Schaden nehmen [36]. Kein negativer Einfluss auf Mikro- und Makroorganismen konnte bei Ereignissen festgestellt werden, bei welchen die Einstauhöhe bereits nach drei Tagen bei null war und der Boden weniger als eine Woche porengesättigt war [36]. Gemäss Untersuchungen an der Thur können bodenbiologische Prozesse bei Wassersättigung ca. 1 Woche lang pausieren und wiederhochgefahren werden, ohne langfristig negativ beeinträchtigt zu werden [35].

3.1.5 Bewertung der Auswirkungen der Dünnerngrube auf die Bodeneigenschaften

Das Entlastungsbauwerk wird so konzipiert, dass es ab einem 10-Jährliches Hochwasserereignis zu Entlastungen in die Dünnerngrube kommt. Durch den Sohlenaufbau der Dünnerngrube (umgedrehtes Dach, s. Technischer Bericht) wird mit zunehmender Intensität kontinuierlich mehr Fläche geflutet. Bei einem Ereignis HQ_{20} wird z.B. erst die tiefergelegene Hälfte der Grubensohle geflutet, die höhergelegene Hälfte wird dann ab einem Ereignis grösser HQ_{20} tangiert.

Berechnungen ergaben, dass selbst bei einem HQ_{100} , auf das die Dünnerngrube dimensioniert ist, die Schwebfrachtkonzentration > 21 g/l sein muss, um eine flächendeckende Ablagerungsmächtigkeit > 5 cm zu erreichen. Realistische Schwebfrachtkonzentrationen liegen in der Grössenordnung von max. 10 bis 15 g/l. Daher kann davon ausgegangen werden, dass es in der Dünnerngrube nur zu Ablagerungen geringmächtiger Sedimentschichten von wenigen Zentimetern

kommt. Basierend auf den oben vorgestellten Studien kann somit auch damit gerechnet werden, dass sich der Sedimenteintrag generell positiv auf die Bodeneigenschaften auswirkt. Dies bedeutet auch, dass voraussichtlich nach einem Ereignis unabhängig von seiner Intensität keine Instandstellungs- und Rekultivierungsmassnahmen benötigt werden.

Der Erosion wird im Einströmbereich der Dünnerngrube durch bauliche Massnahmen vorgebeugt: Der Entlastungsstollen verläuft oberflächennah und verbreitert sich zunehmend, um die Einströmgeschwindigkeit zu reduzieren. Zudem wird ein Auslaufbauwerk mit Kolkschutz installiert (s. Technischer Bericht). Damit gehen am Standort des Bauwerks ca. 4 Aren Landwirtschaftliche Nutzfläche dauerhaft verloren, es kann damit aber verhindert werden, dass mit Flutungsereignissen Boden- und Ertragsverluste durch Erosion entstehen.

Die Dünnerngrube wird so ausgestattet, dass das Einstauvolumen eines 100-jährlichen Ereignisses innerhalb von drei Tagen entleert werden kann (vergl. Technischer Bericht). Dem noch porengesättigten Boden bleiben anschliessend noch 3-4 Tage Versickerungszeit, um seine Grobporen natürlich zu entwässern (siehe auch Kapitel 3.2).

Die Dünnerngrube wird also technisch so realisiert, dass negative Effekte auf bodenbiologische Prozesse durch die Einstauzeit oder eine Sedimentablagerung wo möglich vermieden werden können.

3.2 Bodenaufwertung im Zuge der Rekultivierung

3.2.1 Problemanalyse bei der Rekultivierung gemäss Ist-Zustand

Die Sohle der projektierten Dünnerngrube wird im Endzustand zwischen 5.25 m und 6.75 m unterhalb der heutigen Geländeoberkante zu liegen kommen. Gemäss den Resultaten im hydrogeologischen Bericht [38] reicht die Dünnerngrube damit bis auf die alluvialen Kiesschotter.

Für den Bau der Dünnerngrube und eine potenzielle Kiesverwertung müssen vorerst der Oberboden (durchschnittliche Mächtigkeit ca. 30 cm), der Unterboden (durchschnittliche Mächtigkeit ca. 40 cm) abgetragen werden. Anschliessend an den Unterboden folgt typischerweise ein unterschiedlich stark ausgeprägter BC(gg)-Horizont (vergl. Kapitel 3.1.1), welcher fliessend in den C-Horizont (Deckschicht) übergeht und ebenfalls abgetragen wird. Dann wird die Deckschicht ausgehoben, bevor man auf den lehmigen Schotter und dann den sauberen Schotter stösst.

Die Materialbewirtschaftung wird im Technischen Bericht in Kapitel 11 beschrieben. Im hydrogeologischen Bericht sind die unterschiedlichen Deck- und verwertbaren Kiesschichten dokumentiert.

Nach der Nutzungsphase gilt es, den Körper der entfernten Kiesschichten bis zum gewünschten Grubenniveau mit Deckschichtmaterial oder lehmigem Schotter zu ersetzen und darüber einen Boden mit intaktem Wasserhaushalt aufzuschütten.

Der direkte Wiederauftrag des Bodens wäre weder auf der wenig sickerfähigen Deckschicht noch auf dem tiefer gelegenen alluvialen Kiesschotter zielführend:

Ein direkter Wiedereinbau auf die Deckschichten würde die Entwässerung im Ereignisfall hemmen und den Wasserhaushalt des Bodens während und nach einem Ereignisfall beeinträchtigen. Die Beckenentleerung ist zwar darauf dimensioniert, dass die Dünnerngrube innerhalb von 3 Tagen nach einem Ereignis vollständig entleert werden kann (s. Technischer Bericht), damit ein negativer Effekt von stehendem Wasser auf die Bodenfunktionen vermieden werden kann [36]. Der Boden bleibt aber nach der Entleerung wassergesättigt und muss das verbleibende Porenwasser lateral entwässern können. Um die Teilentwässerung (Grobporen) des Bodens innerhalb einer Woche zu ermöglichen (vergl. Kapitel 3.1.4), sollte keine stauende Schicht unter dem Unterboden liegen: Der Wiedereinbau der wenig sickerfähigen Deckschichten als Rohplanie direkt unter dem Boden sollte vermieden werden.

Andererseits kann sich die Rekultivierung von Ober- und Unterboden direkt auf den Kiesen als problematisch erweisen, da dies zu einem Porensprung an der Grenze und somit zu einer gestörten Wasserversickerung und zur Vernässung des Unterbodens führen kann. Zusätzlich besteht die Gefahr, dass sich infolge der lehmig-tonigen Bodentextur des Unterbodens in Trockenzeiten tiefe Schwundrisse bilden. Diese können bis in die alluvialen Kiesschotter reichen und damit einen präferenziellen Fluss ermöglichen, bei welchem die Filterfunktion der Böden für Sickerwasser aussetzt.

3.2.2 Rekultivierungsziel

Der Boden in der Dünnerngrube soll bei der Rekultivierung so aufgebaut werden, dass er seine zentralen Versickerungs- und Filterfunktionen während Trockenphasen und im Ereignisfall wahrnehmen kann. Zudem soll die Fruchtfolgequalität der Böden langfristig gewährleistet sein. Dafür bedarf der Boden eines verbesserten Wasserhaushaltes im Vergleich zum Ist-Zustand (vergl. Kapitel 3.1.1).

3.2.3 Neuer Bodenaufbau zur Verbesserung des Wasserhaushalts

Übergangshorizont B/C

Konkret wird der Einbau eines Übergangshorizonts (B/C-Horizont) zwischen dem Unterboden und der Deckschicht vorgeschlagen, welcher eine laterale Entwässerung des Bodens ermöglicht, ohne dass es zur Bildung von Schwundrissen kommt.

Der B/C-Horizont muss spezifische Anforderungen erfüllen: Er darf während Feuchtphasen oder im Ereignisfall nicht wasserstauend wirken und in der Trockenphase keine tiefen Schwundrisse ausbilden.

Als Basis kann Material vom BCgg-Horizont und von der Deckschicht verwendet werden. Um der schlechten Sickerfähigkeit entgegenzuwirken, wird eine Beimischung von sandig-kiesigem Material mit einer maximalen Korngrösse von 4 cm empfohlen. Insgesamt wäre eine Verteilung von 50 % siltig-tonigem Material (BCgg-Horizont oder Deckschicht) und 50 % sandig-kiesigem Material in der Feinkornfraktion angemessen. Das grobkörnigere, sandige Material würde der Retention von Stauwasser durch eine Verringerung der Lagerungsdichte im Boden entgegenwirken und gleichzeitig genügend Porenvolumen zur Verfügung stellen, um die Bildung von Schwundrissen zu vermeiden [7]. Das kiesige Material gewährleistet den Erhalt von Makroporen, durch die nach einem Ereignisfall grössere Mengen an Wasser in tiefere Schichten infiltrieren kann. Die Feinkornfraktion im B/C-Horizont, insbesondere die Tonminerale, sind für den Wasserhaushalt des Bodens sowie die Adsorption von Schadstoffen von entscheidender Bedeutung [7].

Es wird eine Schichtmächtigkeit von 1 m empfohlen. So kann der Übergangshorizont bei Porensättigung des Ober- und Unterbodenmaterial das Grobporenwasser vollständig aufnehmen, auch wenn die darunterliegende Deckschicht stauend wirkt.

Es ist in späteren Projektphasen zu prüfen, ob der Übergangshorizont zusätzlich an ein Drainagesystem angeschlossen werden muss, damit das stauende Wasser ausreichend schnell abgeleitet werden kann.

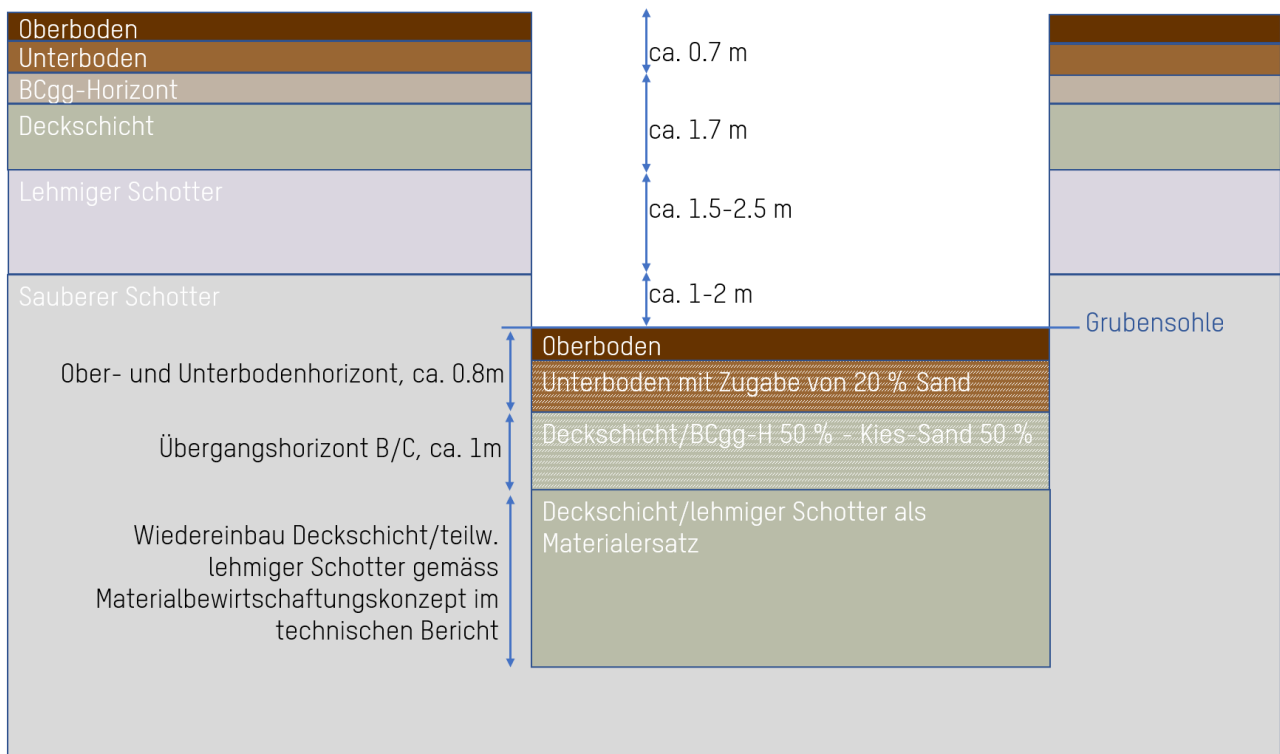


Abb. 2: Schematische Darstellung des neuen Bodenaufbaus mit Übergangshorizont und dem darunterliegenden Materialersatz.

Unterbodenhorizont

Gemäss Bodenkarte des Kantons Solothurn [22][18] kommen auf der Fläche vor allem mässig tiefgründige bis tiefgründige (Kalk-)Braunerden, Braunerde-Pseudogleye und Pseudogleye vor.

Dieser Unterboden von Braunerden kann über dem B/C-Horizont angelegt werden. Es ist für diesen Horizont die Beimischung von 20 % Sand zu empfehlen, um der Stauwasserretention vorzubeugen. Die Ausbildung eines stabilen Bodengefüges mit Makroporen durch biologische Aktivität ist bei einer moderaten Erhöhung des Sandanteils im Boden lediglich marginal beeinträchtigt [35], [36]. Die Adsorption von Schadstoffen kann in der Bodenmatrix durch einen sogenannten Karbonatpuffer zusätzlich begünstigt werden [7]. Daher kann im Idealfall Karbonat haltiger Sand beigemischt werden.

Unterbodenmaterial von Grund- und Stauwasser geprägten Böden (Braunerde-Pseudogleye, Pseudogleye), wie sie in der Umgebung ebenfalls vorkommen [22], eignet sich aufgrund des vermutlich prismatischen Bodengefüges und dem Fehlen eines ausgeprägten Makroporensystems eventuell nur bedingt zur Rekultivierung des B-Horizonts. Auf Flughöhe Vorprojekt und auf Basis der bestehenden Bodenkarte wird angenommen, dass ca. 10 % des Unterbodens ungeeignet sein könnten. Die fehlenden Unterbodenkubaturen könnten bei der Rekultivierung durch die Beimischung von Sand ersetzt werden sowie den minimalen Bodenüberschuss (neue Wege, Bereich Kolkenschutz) kompensiert werden.

Oberbodenhorizont

Der Oberboden der Stau- und Grundwasser-geprägten Böden ist selten bis zur Oberfläche wassergesättigt und entspricht daher der Qualität eines Oberbodens von Braunerden und Kalkbraunerden [26]. Somit kann der Oberboden ohne Einschränkungen flächendeckend für die Rekultivierung in der Dünnerngrube wiederverwendet werden.

3.2.4 Bewertung des vorgeschlagenen Bodenaufbaus

Im vorangehenden Kapitel wird innerhalb der Dünnerngrube ein neuer Bodenaufbau vorgeschlagen, welcher gegenüber dem Ausgangszustand mit einem Übergangshorizont B/C erweitert und einer Zugabe von Sandanteilen im Unterboden ergänzt wird.

Technische Realisierbarkeit und Aufwand

Für die Realisierung der Dünnerngrube muss der vorhandene Boden in jedem Fall abgetragen, zwischengelagert und anschliessend auf dem neuen Niveau rekultiviert werden. Im Zuge dieses grossen Bodeneingriffs erscheint es sinnvoll, den Boden gleichzeitig so aufzubauen, dass er seine mit dem Bau des Hochwasserretentionsbeckens umso wichtigeren Funktionen erfüllen kann.

Technisch ist es mit wenig zusätzlichem Aufwand verbunden, einen zusätzlichen bzw. mächtigeren Übergangshorizont B/C zu schütten, bei welchem der Deckschicht oder dem BCgg-Horizont sandig-kiesiges Material beigemischt wird. Ebenso lässt sich ein Sandanteil von 20 % mit wenigen Bodenbearbeitungsschritten gut in den vorhandenen Unterboden einarbeiten.

In der umfangreichen Logistik und Materialbewirtschaftung wird der Umgang mit dem tonigen Boden eine grosse Herausforderung. Dem in Bezug auf Verdichtungsempfindlichkeit und Rekultivierbarkeit sehr anspruchsvollen Boden muss während der Bauarbeiten und in Zeiten der Zwischenlagerung mit spezifischen Massnahmen und grossen Zeitreserven Rechnung getragen werden, damit das Rekultivierungsziel erreicht werden kann.

Kostenaufwändig könnte die Zufuhr von geeignetem kiesig-sandigem Material und von passendem Sand sein. Mit dem aktuellen Vorschlag würde das ca. 67'000 m³ kiesig-sandigem Material und ca. 16'000 m³ Sand entsprechen. Es ist anzustreben, dass beim Abbau des verwertbaren Alluvialschotters geeignete Fraktionen sandig-kiesiges Material (allenfalls durch Aufbereitung) gewonnen werden können, welche für den Aufbau des Übergangshorizontes und zur Beimischung im Unterboden verwendet werden können.

Die Rekultivierung könnte durch den Einbau des Übergangshorizonts länger dauern, da man sie allenfalls in zwei Etappen (Zwischenbegrünung des Übergangs- und Unterbodenhorizonts vor Oberbodenauftrag) ausführen würde. Eine Folgebewirtschaftungsphase mit Nutzungseinschränkungen von mehreren Jahren wird in jedem Fall notwendig sein (vergl. Kapitel 3.4.1).

Gewährleistung der Filterfunktion des Bodens

Mit dem vorgeschlagene Bodenaufbau kann gewährleistet werden, dass der laterale Abfluss durch die Bodenschichten funktioniert. Die Adsorption von Schadstoffen durch die Feinfraktionen im Boden findet wie bisher statt und wird durch die zusätzliche Filterfunktion des B/C-Horizonts und durch die Ergänzung eines Karbonat-Puffers im Unterboden noch verbessert. Präferentielle Fliesswege in den Bodenschichten werden verhindert. Die Sickerleistungen der Untergrundsichten und die Gewährleistung des Grundwasserschutzes werden im hydrogeologischen Bericht erläutert. Ob der Anschluss des Übergangshorizonts an ein Drainagesystem notwendig ist, ist zu prüfen.

Erhalt der Fruchtfolgeflächenqualität

Die Böden in der Dünnerngrube sind gemäss Geoportal des Kantons Solothurn [17] vollständig als Fruchtfolgeflächen ausgewiesen. Der Fortbestand der Fruchtfolgeflächen muss auch nach den baulichen Anpassungen in der Dünnerngrube gewährleistet sein. Dafür muss der Boden den Kriterien für Fruchtfolgeflächen-Qualität gemäss dem Sachplan für Fruchtfolgeflächen [4] entsprechen.

Unter anderem wird eine flächendeckende pflanzennutzbare Gründigkeit (PNG) von mind. 50 cm benötigt. Beim Einbau von Substraten > 2 mm in mineralische Bodenhorizonte, wie es beim B/C-Übergangshorizont geplant ist, wird die PNG gemäss FAL [11] verringert. Umgekehrt erhöht sich die PNG bei einer Verringerung der Lagerungsdichte und der Abnahme des Stauwassereinflusses massgeblich, wozu der neue B/C-Horizont beiträgt. Es ist also anzunehmen, dass der B/C-Horizont dennoch eine Erhöhung der PNG bewirkt. Der neue Unterbodenhorizont wird durch die Sandbeimischung etwa 10 cm mächtiger, was vermutlich auch einer Erhöhung der PNG von 10 cm entsprechen wird.

Bei einer pflanzennutzbaren Gründigkeit von 45-70 cm im Ist-Zustand (vergl. Leitprofile Anhang A und [24]) kann die benötigte pflanzennutzbare Gründigkeit von mind. 50 cm für Fruchtfolgeflächen-Qualität mit den beschriebenen Bodenaufwertungen im Endzustand also problemlos erreicht werden. Ein präzises Rekultivierungsziel mit Definition der Ziel-PNG sowie der Nutzungseignungsklasse muss noch definiert werden.

Des Weiteren darf gemäss Sachplan Fruchtfolgeflächen [4] das Gefälle der Sohle maximal 18 % betragen, keine Schadstoffbelastungen oder Verdichtungen des Bodens vorliegen, die Dünnergrube ausschliesslich in den Klimazonen A/B/C/D1-4 liegen und keine ungeeignete, nicht bewirtschaftbare Parzellenform vorliegen. Diese Kriterien wurden frühzeitig in die Gestaltungsplanung der Dünnergrube aufgenommen und werden mit dem projektierten Standort der Dünnergrube sowie den baulichen Ausführungen gemäss Angaben im Technischen Bericht für die Grubensohle erfüllt. Die Böschungen der Grube verlieren aufgrund ihrer Neigung und der zu geringmächtigeren Pflanzennutzbaren Gründigkeit die FFF-Qualität (vergl. Auch FFF-Bilanz im Technischen Bericht).

3.3 Einfluss der mikroklimatischen Bedingungen auf die landwirtschaftliche Produktion

Senken und Mulden verfügen über mikroklimatische Besonderheiten, welche sich unter besonderen meteorologischen Situationen von den umliegenden, angrenzenden Flächen zum Teil stark unterscheiden. Diese treten sowohl im Winter, insbesondere in Frostnächten bei Strahlungswetterlagen, in denen sich Kaltluftseen bilden, auf, wie auch im Sommer, in dem Bodennebel zu lokal sehr unterschiedlicher Luftfeuchtigkeit führen kann.

Diese mikroklimatischen Besonderheiten treten mit hoher Wahrscheinlichkeit ebenfalls in der Dünnergrube auf und können einen Einfluss auf die landwirtschaftliche Produktion haben. Detaillierte Studien zu klimatischen Abweichungen in Mulden und Senken, insbesondere im Vergleich zur direkten Umgebung sind bisweilen kaum vorhanden. Annahmen zu möglichen mikroklimatischen Unterschieden und Einflüssen in der Dünnergrube basieren auf einigen wenigen wissenschaftlichen Untersuchungen im Raum Wien, Graz und Stuttgart.

3.3.1 Änderung Tiefsttemperatur in Frostnacht 10 cm über Beckenboden

In der Nacht kommt es zu einer Produktion von Kaltluft. Die Kaltluftproduktion ist in wolkenlosen Nächten stärker, da Wolken die langwellige Strahlung, welche vom Boden abgegeben wird, reflektiert und die Kaltluftproduktion somit hemmt [27]. Besonders bei Strahlungswetterlagen werden deutlich kühlere Temperaturen gemessen [27].

Bei grossräumig schwach ausgebildeten Windsystemen kann die Kaltluft oberflächennah abfliessen und sich in Senken, Mulden und Becken ansammeln und dort sog. Kaltluftseen bilden [39]. Der Abfluss von Kaltluft kann bereits bei einer Geländeneigung von 1.5° erfolgen [29]. Steilere Neigungen begünstigen dabei die Bildung von Kaltluftseen [6]. Die Fließgeschwindigkeit bei solchen Kaltluftabflüssen liegt zwischen 1-3 m/s [27]. Somit ist davon auszugehen, dass sich in der Dünnergrube solche Kaltluftseen bilden können.

Im Winter kommt es bei Strahlungswetterlagen an Orten, an denen sich Kaltluftseen ausgebildet haben, häufig zu Strahlungsfrost [39]. Im Zuge einer Studie an der Universität Graz wurden im Raum Graz in den frühen Morgenstunden Temperaturmessungen in Bodennähe in Retentionsbecken durchgeführt und mit den bodennahen Temperaturen ausserhalb der Retentionsbecken verglichen [27]. Die Resultate ergaben, dass die Temperatur in den Retentionsbecken im Mittel 2 - 2.5°C geringer als ausserhalb des Retentionsbecken war. Besonders bei Strahlungswetterlagen wurden z.T. Temperaturabweichungen von bis zu 5° C gemessen. Verglichen mit den aufgezeichneten Temperaturen der Wetterstation Graz West wurden im Zeitraum von Oktober 2015 bis April 2016 Abweichungen von durchschnittlich 2° C ermittelt (Abb. 3). Grössere Temperaturabweichungen wurden vor allem in wolkenlosen Nächten und bei Strahlungswetterlagen registriert. Bei bewölktem Himmel oder in Perioden mit geschlossener Schneedecke wurden geringere Temperaturunterschiede aufgezeichnet. Der Einfluss der Schneebedeckung wird im Kapitel 3.3.2 noch genauer erläutert.

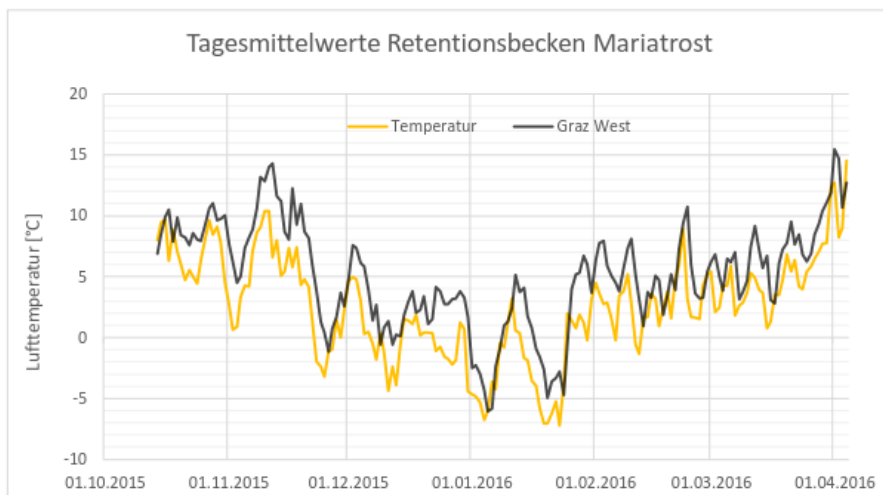


Abb. 3: Tagesmittelwerte des untersuchten Retentionsbeckens Mariatrost im Raum Graz (gelbe Linie – Temperatur) verglichen mit den Tagesmittelwerten der Wetterstation Graz West (ausserhalb eines Retentionsbeckens). Aus [27]

Aus den Resultaten von [27] lässt sich schliessen, dass die absolute Anzahl an Frostnächten in der Dünnerngrube voraussichtlich zunehmen wird, da die Ausbildung von Kaltluftseen durch die Morphologie der Dünnerngrube begünstigt wird. Die Abweichung der Temperatur in 10 cm Höhe in der Dünnerngrube im Vergleich zu der unmittelbaren Umgebung ist jedoch von zusätzlichen Randbedingungen abhängig und kann dementsprechend nicht genau quantifiziert werden:

- Einen entscheidenden Einfluss hat einerseits die Höhe der Vegetationsbedeckung innerhalb des Beckens, andererseits die Struktur und Beschaffenheit der umliegenden Vegetation. Studien belegen, dass der Boden bei einer kurz gehaltenen Vegetation die tägliche Einstrahlung besser aufnehmen und in der Folge mehr Wärme abgeben kann. Dies führt zu einem Temperaturgewinn in der Nacht von ca. 1-2 °C [40].
- Ferner hat auch die umliegende Vegetation einen Einfluss auf die Temperatur in einem Retentionsbecken. Bei einem der untersuchten Retentionsbecken im Raum Graz wurde im Mittel lediglich eine Abweichung von 1° C im Vergleich zu Temperaturen ausserhalb des Retentionsbeckens festgestellt. Dieses Phänomen wurde damit begründet, dass eine etwa 10 m östlich des Retentionsbeckens gelegene Baumgruppe den Abfluss von Kaltluft und damit die Ausbildung eines Kaltluftsees im Retentionsbecken abgeschwächt hat [27]. Topographisch wären die Voraussetzungen für die Entstehung eines Kaltluftsees gegeben gewesen. Ähnliche Resultate wurden im Raum Stuttgart mithilfe der Installation von Folienzäunen als künstliche Hindernisse, erzielt [29].

3.3.2 Situation Kahlfrost im Winter

Kahlfrost entsteht an der Bodenoberfläche bei Temperaturen unter 0°C und fehlender Schneebedeckung und wirkt direkt auf den obersten Bodenhorizont bzw. die Vegetationsbedeckung [43]. Kahlfröste sind von hoher agrarklimatischer Bedeutung, da ein häufiges Auftreten mehrerer Kahlfröste in kurzer zeitlicher Abfolge die Wintersaat schädigt [30]. Gegenden, in denen sich bei niedrigen winterlichen Niederschlagsmengen häufig Kaltluftseen ausbilden, sind besonders kahlfröstgefährdet [43]. Dazu zählen dementsprechend auch Mulden, Senken und Retentionsbecken wie die Dünnerngrube. Im Jahresgang zeigt die Anzahl der Tage mit auftretendem Kahlfrost basierend auf Untersuchungen in den Alpentälern der Steiermark zwei Maxima im November und im März (Abb. 4). Die Maxima resultieren aus der noch nicht vorhandenen Schneedecke im Spätherbst sowie aus der bereits wieder abgeschmolzenen Schneedecke im Frühjahr. In den Wintermonaten Dezember bis Februar wirkt die Schneebedeckung isolierend. Dadurch kann der Boden einerseits weniger stark gefrieren, andererseits kühlt die sich die Luft oberhalb der Schneedecke weniger stark ab. Üblicherweise ist eine Schneedecke von ca. 5 cm Mächtigkeit bereits ausreichend, um den Boden vor strengem Frost (unter -5°C) zu bewahren. Unter der Schneedecke sinken in Bodennähe im Winter die Temperaturen meist nur knapp unter den Gefrierpunkt [25].

Da das Auftreten einer geschlossenen Schneedecke in den Wintermonaten in der Gemeinde Oensingen eher selten vorkommt, ist davon auszugehen, dass es in der Dünnerngrube häufiger zum Auftreten von Kahlfrost kommen kann.

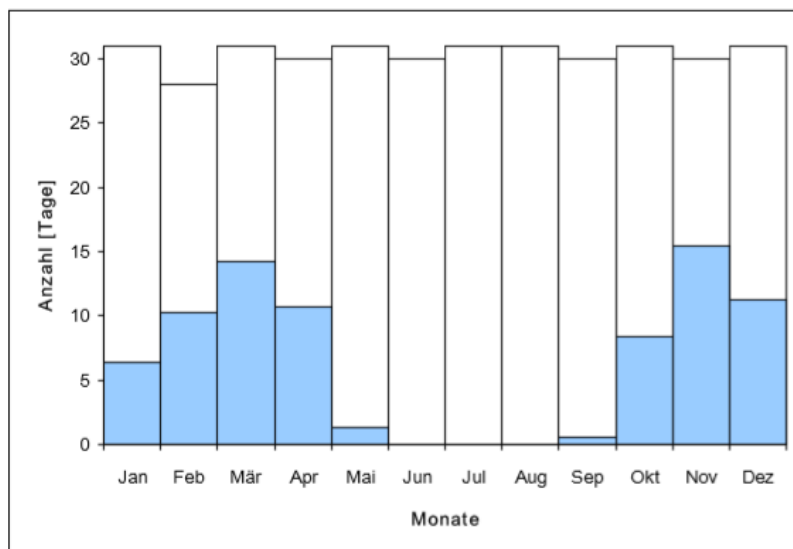


Abb. 4: Durchschnittliche Anzahl der Tage mit Kahlfrost (blau), Station Zeltweg, Steiermark, Österreich, auf 670 m Höhe. Aus [43].

Länger andauernde Perioden oder mehrere unmittelbar aufeinanderfolgende Tage mit Kahlfrost können zum Durchfrieren der oberen Bodenhorizonte sowie zu Schäden an Winterkulturen führen [30]. Bei Kahlfrost ist der Boden der Frostwirkung ungeschützt ausgesetzt. Dies begünstigt physikalische und mechanische Verwitterungsprozesse, wie Frostsprengung, Quellen und Schrumpfen von Bodenaggregaten sowie die Bildung von Schrumpfrissen in der Bodenmatrix [7]. Durch die Schrumpfrisse kann der Boden bis in tiefere Bodenhorizonte frieren und die Verfügbarkeit von pflanzennutzbarem Wasser einschränken. Dadurch kann es auch im Winter zu einem veränderten Bodenwasserhaushalt und zu periodischer Trockenheit kommen. Ferner ermöglicht Kahlfrost Schneerosionsprozesse, bei denen es durch die Verlagerung von Schneekristallen durch starke Winde zu einem Bodenabtrag kommen kann [9]. Ferner führt Kahlfrost zu Trockenheitsschäden an bodennahen- und unterirdischen Pflanzenteilen. Dadurch können die Pflanzen zumindest teilweise absterben, wodurch es zu Ernteausfällen kommt [9]. Dieses Phänomen wird als Auswinterung bezeichnet.

Kahlfrost kann jedoch auch positive Effekte auf die Bodenstruktur ausüben. Die Frostsprengung kann zum Auseinanderbrechen grösserer Bodenaggregate führen, womit sich die Gefügezusammensetzung des Bodens ändert und die Lagerungsdichte verringert wird [7]. Dieser Aspekt ist jedoch vor allem bei sehr schweren oder physikalisch stark verdichteten Böden von Bedeutung.

Für die Böden der Dünnerngrube ist kein signifikanter, positiver Effekt durch Frostsprengung auf die Bodenstruktur zu erwarten.

3.3.3 Veränderung Luftfeuchtigkeit und positive Effekte in trockenen Sommern

In Mulden, Senken und Retentionsbecken verändert sich die relative Luftfeuchtigkeit gegenüber dem normalen Terrain. Die Veränderung der Luftfeuchtigkeit unterliegt, bedingt durch verschiedene Wetterphänomene, jahreszeitlichen Schwankungen. Im Herbst und im Winter kann sich in windgeschützten Mulden, Senken und Retentionsbecken, welche besonders für die Entstehung von Kaltluftseen begünstigt sind, sog. Strahlungsnebel bilden [33]. Strahlungsnebel wird durch die Ausstrahlung und damit Abkühlung der Erdoberfläche hervorgerufen und tritt vor allem bei herbstlichen und winterlichen Hochdruckwetterlagen auf, da dann die Temperatur besonders niedrig ist und die fehlende Wolkendecke die nächtliche Auskühlung begünstigt. Dabei können sich die bodennahen Luftschichten bis auf den Taupunkt abkühlen. Der Taupunkt ist diejenige Temperatur, bei der Wasserdampfsättigung oder Kondensation eintritt (relative Luftfeuchtigkeit = 100%). Dadurch kondensiert der Wasserdampf der Luft und es bildet sich ein schwacher, oft mehrschichtiger Nebel mit vergleichsweise geringer Tröpfchengröße [33]. Dieser Nebel löst sich zumeist im Verlauf des Vormittags auf, kann jedoch bei geringer Sonneneinstrahlung im Hochwinter den Tag überdauern. Während dieser Zeit liegt die relative Luftfeuchtigkeit bei annähernd 100 %.

In den Sommermonaten ist der Unterschied bei der Luftfeuchtigkeit in Mulden, Senken und Retentionsbecken im Vergleich zur unmittelbaren Umgebung weniger stark ausgeprägt. Dennoch kann selbst an sonnigen Sommertagen immer noch eine um 20 % erhöhte relative Luftfeuchtigkeit in Geländemulden verglichen mit ihrer Umgebung erreicht werden [44]. Vor allem

am Vormittag bei niedrigen Sonnenständen können noch höhere relative Luftfeuchtigkeiten als in der unmittelbaren Umgebung erwartet werden. Gepaart mit der Taubildung auf der Vegetation kann sich die relative Luftfeuchtigkeit insbesondere in trockenen und heissen Sommerperioden positiv auf die Vegetationsentwicklung in Mulden, Senken und Retentionsbecken auswirken.

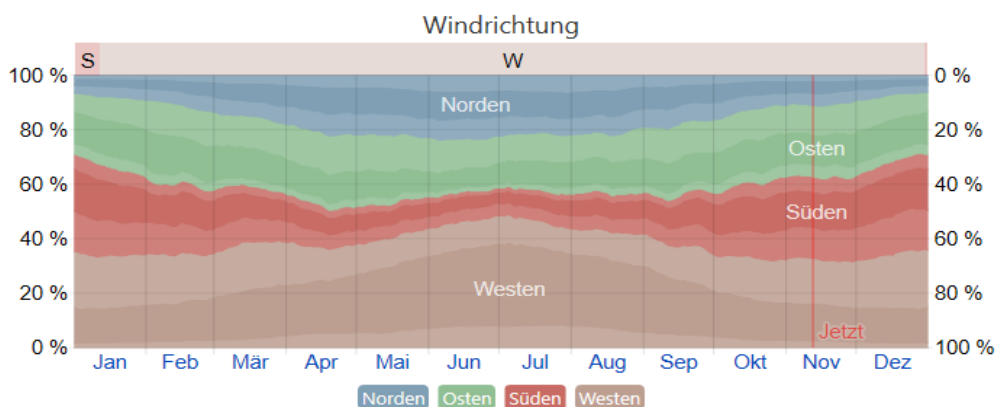
3.3.4 Auswirkungen und Massnahmen

Es ist davon auszugehen, dass es in der Dünnerngrube zur Entstehung von Kaltluftseen kommt, durch die sich die Anzahl der Frostnächte und die Anzahl der Tage mit Kahlfrost im Vergleich zur unmittelbaren Umgebung erhöht. Im Sommer kann sich die Muldenlage durch eine erhöhte Luftfeuchtigkeit positiv auf die Vegetationsentwicklung auswirken. Allerdings wird erwartet, dass die negativen Effekte auf die landwirtschaftliche Produktivität durch die Anzahl an Frosttagen im Winter gegenüber den positiven Effekten in den Sommermonaten überwiegen. Somit sind Massnahmen notwendig, mit Hilfe derer das Absinken von Luftmassen und somit die Ausbildung von Kälteseen eingeschränkt werden:

Die Studien aus dem Raum Graz [27] und dem Raum Stuttgart [29] zeigen auf, dass natürliche und künstliche Hindernisse wie Bäume oder Zäune in unmittelbarer Umgebung zu Retentionsbecken den oberflächennahen Abfluss von Kaltluft behindern und somit die Ausbildung von Kaltluftseen abschwächen kann. Die Pflanzung von Hecken oder Baumgruppen in unmittelbarer Nähe zur Dünnerngrube ist ein praktikables Mittel, welches der Ausbildung von Kaltluftseen und somit einer Erhöhung der Anzahl an Frostnächten im Vergleich zur unmittelbaren Umgebung der Dünnerngrube vorbeugen kann.

Die Windrichtung ist beim Transport und der Verlagerung der Luftmassen entscheidend. Die vorherrschende Windrichtung im Oensinger Becken ist Westwind, im Winter jedoch, wenn die Gefahr von Kahlfrost und der Entstehung von Kaltluftseen besteht, treten vermehrt Südwinde auf.

Die Böschungen der projektierten Dünnerngrube werden an zwei Seiten mit einer Neigung von 2:3 als landwirtschaftliche Nutzflächen und an den beiden anderen Seiten mit einer Neigung von 1:4 als ökologische Böschungen ausgeführt (s. Technischer Bericht). Die ökologisch gestalteten Böschungen, wo Sträucher gepflanzt werden, werden an der süd-westlichen und der nord-östlichen Seite der Dünnerngrube ausgeführt. Zusätzlich ist im Süden und Osten der Grube eine Terrainhöhung geplant. Die Ausbildung von Kaltluftseen im Winter wird entsprechend den Windrichtungen abgeschwächt.



Der Prozentsatz an Stunden, in denen die mittlere Windrichtung aus einer der vier Hauptwindrichtungen kommt, ausschliesslich der Stunden, in denen die mittlere Windgeschwindigkeit unter 1,6 km/h liegt. Die leicht getönten Bereiche an den Grenzen stellen den Prozentsatz an Stunden dar, in denen der Wind aus den implizierten Zwischenrichtungen kam (Nordost, Südost, Südwest und Nordwest).

Abb. 5: Überblick über die Hauptwindrichtungen im Oensinger Becken [32]

Ferner kann die Temperatur am Boden der Dünnerngrube auch durch angepasste Bewirtschaftungsmassnahmen beeinflusst werden [40]. Bei kurzgehaltener Vegetation beispielsweise, im Optimalfall eine Gräser/Wiesenmischung, kann der Boden die Einstrahlung am Tag besser aufnehmen und in der Nacht mehr Wärme abgeben. Weiter kann eine Bewässerung des Bodens mind. 24 Stunden vor der Frostnacht den Wärmespeicher des Bodens erhöhen und die Wärmeabgabe während der Frostnacht aus dem Boden fördern [40].

3.4 Einfluss auf die landwirtschaftliche Produktivität

3.4.1 Landwirtschaftliche Produktion unmittelbar nach dem Bau der Dünnerngrube

Nach Abschluss der Bauarbeiten muss der Boden gemäss FSKB-Richtlinie [15] fachgerecht rekultiviert werden. Anschliessend wird eine mehrjährige Folgebewirtschaftungsphase mit Nutzungseinschränkungen eingeleitet, während welcher eine mehrjährige, tiefwurzelnde Wiesenmischung mit Vorbehalten genutzt werden kann. In dieser Phase ist mit einem fast vollständigen Produktionsausfall zu rechnen (Einkommensausfall für mehrjährig beanspruchtes Kulturland). Nach Abschluss der Folgebewirtschaftungsphase können die vom Bau temporär beanspruchten Flächen (mit Ausnahme der ökologischen, steilen Böschungen, welche zukünftig nicht mehr bewirtschaftbar sind) wieder landwirtschaftlich genutzt werden.

Die Grubensohle wird so rekultiviert, dass deren Flächen nach der Folgebewirtschaftungsphase wieder Fruchtfolgequalität haben (vergl. Kapitel 3.2.4 und Bilanzen im Technischen Bericht).

3.4.2 Landwirtschaftliche Produktion nach einem Ereignis

Gemäss Ausführungen in Kapitel 3.1.3 können flächendeckende Ablagerungen > 5 cm in der Dünnerngrube nur bei einer Suspensionsfrachtkonzentration von > 20 g/l erreicht werden. Dieser Wert liegt bei Hochwasserereignissen teilweise bis zu 5x über den Suspensionsfrachtkonzentrationen von Flüssen mit vergleichbaren Einzugsgebieten. Eine flächendeckende Ablagerung von Sedimenten > 5 cm Mächtigkeit ist daher selbst bei einem HQ_{100} nahezu ausgeschlossen. Mehrjährige landwirtschaftliche Produktionseinbussen als Folge eines extremen Hochwasserereignisses, welches mehrjährige Remediationsmassnahmen mit sich bringen würde, werden also nicht ins Gewicht fallen.

Ein 20-jährliches Ereignis wird rund 50 % der Grubensohle überfluten. Je nach Jahreszeit und Kultur ist mit vollständigen oder partiellen Ernteaufschlägen sowie allenfalls zusätzlichen Lockerungsmassnahmen (Grubbern) zu rechnen. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass bereits bei der darauffolgenden Kultur wieder der normale Ernteertrag erzielt werden kann. Der Nährstoffeintrag kann sich auch positiv auf die Produktivität auswirken (vergl. Kapitel 3.1.3).

3.4.3 Produktionseinbussen als Folge mikroklimatischer Veränderungen

Die Änderungen der mikroklimatischen Bedingungen werden sich tendenziell negativ auf die landwirtschaftliche Produktivität auswirken. Gemäss Untersuchungen im Raum Graz liegen die Temperaturen bei der Entstehung eines Kaltluftsees im Mittel 2 – 2.5° C unterhalb der Temperaturen in der unmittelbaren Umgebung [27].

Wie stark sich der Temperaturunterschied auf die landwirtschaftliche Produktivität niederschlägt, hängt von der Frostempfindlichkeit der angepflanzten Kultur und deren Stadium ab [40]. Folgende Aussagen helfen, die Produktivitätseinbussen abzuschätzen:

1. Im Winter hat eine Temperaturdifferenz von max. -5 °C kaum einen Einfluss auf die Kulturen. Bei Winterfrüchten ist die Winterfestigkeit auch mit dieser zusätzlichen max. Temperaturreduktion gegeben. So ertragen Winterroggen und Winterweizen Barfröste bis -20 °C, Wintergerste, -hafer und -raps solche bis -12 °C [40].
2. Hingegen kann ein selten auftretendes Einzelereignis im Frühjahr (Spätfrost) zu grossen Kulturschäden oder gar Totalausfällen führen. In der Jugendentwicklung und in der Blüte sind insbesondere Frühlingskulturen weniger frosthart und können bei Temperaturen wenig unter 0 °C Schaden nehmen. Besonders Mitte bis Ende März kann eine kleine Temperaturreduktion ausschlaggebend sein.

In nachfolgender Tabelle sind die Spätfrostempfindlichkeiten von empfindlichen Frühlingskulturen zusammengefasst:

Tabelle 1: Frostverträglichkeit in der Jugendentwicklung gemäss [40]. Windchill, Temperaturschwankungen und Exposition spielen eine Rolle, ebenso wie die Dauer der Frostwirkung. Auch innerhalb der Arten gibt es wesentliche Sortenunterschiede.

Mais	Zuckerrüben	Ackerbohnen	Lupinen	Erbsen	Soja
-2 bis -3°C	-3 bis -7°C	-4 bis -5°C	-4 bis -6°C	-4 bis -5°C	-3 bis -5°C

Zum Vergleich wird in untenstehender Abbildung das Klima von Oensingen der letzten 30 Jahre dargestellt. Nimmt man an, dass es in der Dünnerngrube durchschnittlich -2 bis -3°C kälter wäre als in der gleichen Umgebung in den letzten 30 Jahren, so wären von Mitte März bis Ende März statt ca. 5 % aller Messungen neu ca. 30 % aller Messungen unter -3°C (konservative Annahme).

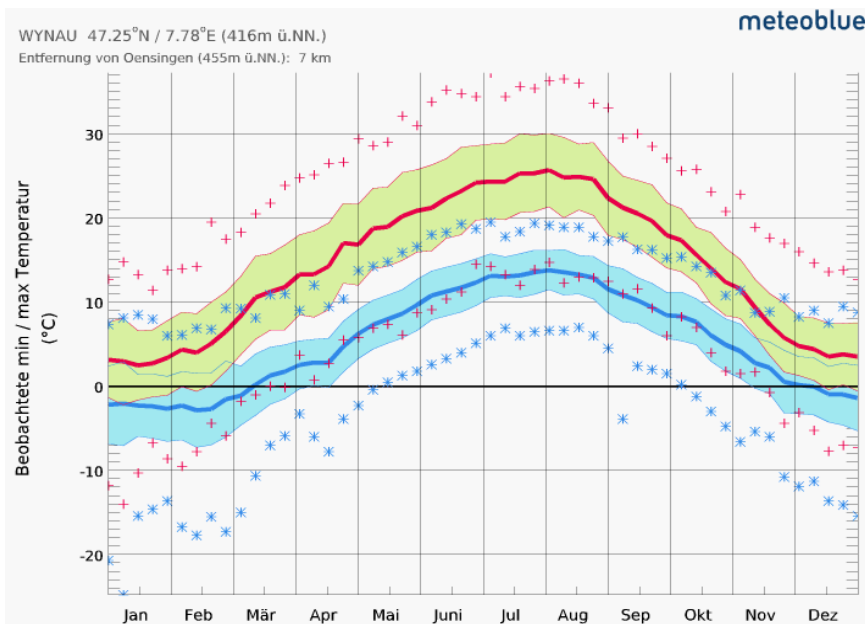


Abb. 6: Klimaübersicht von Oensingen (meteoblue): Sie zeigt die durchschnittlichen, maximalen (rot) und minimalen (blau) Temperaturen. Extreme Werte werden durch die Zeichen + und * dargestellt. Zwei Drittel der beobachteten Temperaturen liegen innerhalb des blauen/grünen Bandes.

Das heisst, die Anzahl kritischer Frosttage für Frühlingskulturen würde von Mitte bis Ende März von ca. 5 % auf ca. 30 % steigen. Im April wären es dann bereits nur noch wenige ca. 1-2 %. Die Wahrscheinlichkeit¹, dass während der 15 Tage in der zweiten Hälfte des März mindestens einmal Frost -3°C und tiefer eintritt und somit zu einem Ertragsausfall führt, liegt am Standort der Dünnerngrube neu unter diesen konservativen Annahmen bei $> 99\%$ statt wie bisher bei 53 %. Für April neu bei 26 %.

Es hängt also von der gewählten Fruchtfolge ab, wie oft sensible Frühlingskulturen darin vorkommen. Bereits heute ist eine Aussaat von Mitte bis Ende März mit einem grossen Ausfallrisiko verbunden. Auf Flächen, welche zukünftig in der Dünnerngrube liegen, ist eine Aussaat von Mitte bis Ende März zumindest für Mais, Zuckerrüben und Soja nicht mehr zu empfehlen.

Im Hinblick auf die Klimaveränderung in den kommenden 100 Jahren wird im Schweizer Mittelland von einem Temperaturanstieg von $2-3^{\circ}\text{C}$ gepaart mit trockeneren Sommern und verstärkt auftretenden Extremereignissen ausgegangen [32]. Für die Kulturen innerhalb der projektierten Dünnerngrube wäre eine konstante Erwärmung einschliesslich einer Abnahme der Tage mit Kahlfrösten im Winter zunächst förderlich. Die vorhergesagte Zunahme der Trockenheit in den Sommermonaten könnte zu einem minimalen Mikroklimavorteil in der Dünnerngrube gegenüber Standorten ausserhalb werden (vergl. Kapitel 3.3.3). Hingegen wird sich die prognostizierte Zunahme von Einzelextremereignissen im Speziellen auf die Dünnerngrube aber auch generell negativ auf die landwirtschaftliche Produktion auswirken.

Mit einer passenden Fruchtfolge und einer sorgfältigen Sortenwahl können die möglichen Produktionseinbussen in der Dünnerngrube auf marginale Unterschiede zur Umgebung reduziert werden. Versuchsflächen von Agroscope, welche sich auf die Untersuchung von Kunstgraswiesen (Futterbau) beschränken, würden sich allenfalls eignen, dass man sie zukünftig in der Dünnerngrube anlegt, da sie von den mikroklimatischen Effekten nicht betroffen wären (vergl. Z.B. Versuch A, in Kapitel 3.5.1).

¹ Binominalverteilung, berechnet über nie Frost $P(k=0) = P^*(k \geq 1) = 1 - P(k=0)$, für neu: mit $P(k=0) = 1 \times (30/100)^0 \times (1-30/100)^{15} = 0.00475$

3.5 Mögliche Randeffekte auf die Umgebung der Dünnerngrube

3.5.1 Versuchsflächen von Agroscope

Im Bereich der projektierten Dünnerngrube sowie in unmittelbarer Nähe zur Dünnerngrube befinden sich diverse Langzeitversuchsflächen von Agroscope [2].



Abb. 7: Überblick über die Langzeit-Versuchsflächen von Agroscope, grün umrandet und mit roten Buchstaben gekennzeichnet.

Die Versuchsflächen A, B und C sind standortgebunden und unbefristet. Direkt betroffen vom Bau der Dünnerngrube ist davon die Fläche C: Es handelt sich um eine von 110 Referenzflächen der Nationalen Bodenbeobachtung (NABO). Da sie dem langfristigen Monitoring dient, kann sie zukünftig nicht in der Dünnerngrube liegen. Ein möglicher Ersatzstandort ausserhalb der Grube wird geprüft und ist in den Plänen bereits vorgemerkt.

Der Abstand von der Versuchsfläche A zur Dünnerngrube beträgt 55 m und der von der Versuchsfläche B 120 m. Auf der Fläche A findet ein Langzeitdüngungsversuch statt, auf dem Stoffflüsse gemessen werden. Auf der Fläche B wird der Treibhausgas-Austausches zwischen terrestrischen Ökosystemen und der Atmosphäre gemessen.

Eine Fläche des Versuchs D wird durch den offenen Grabenbau für den Entlastungskanal tangiert, die andere durch die Dünnerngrube selbst. Da der Versuch D jedoch vorerst auf 8 Jahre befristet ist, kann er allenfalls vor dem Bau der Dünnerngrube abgeschlossen werden.

Tabelle 2: Zusammenstellung der Langzeitversuche vom Agroscope-Standort in Oensingen und deren Betroffenheit durch den Bau der Dünnerngrube.

Kurz.	Versuch	Betreiber	Dauer	Betroffenheit
A	Düngungsversuch	Agroscope	1989 – unbefristet	Nicht direkt, allenfalls Randeffekte?
B	Messung Treibhausgase	ETH	2003 – unbefristet	Nicht direkt, allenfalls Randeffekte?
C	Nationale Bodenbeobachtung	Agroscope	1980 – unbefristet	Direkte Betroffenheit, Ersatz des Standortes notwendig
D	IP+	Agroscope	2020 + 8 Jahre	Direkte Betroffenheit (evtl. Abschluss des Versuchs vor Projektausführung)
F	Radioaktivität	BAG	2017 – unbefristet	Nicht betroffen

3.5.2 Mögliche Randeffekte der Dünnerngrube auf die Umgebung und Versuchsflächen

Im folgenden Kapitel werden mögliche Standortveränderungen (Randeffekte) auf Flächen angrenzend an die Dünnerngrube besprochen. Für die sehr spezifische Fragestellung konnten keine wissenschaftlichen Studien ausfindig gemacht

werden. Mögliche Parameter werden hier deshalb nur erwähnt und deren Veränderung durch die Dünnerngrube ansatzweise abgeschätzt.

Zusätzlich wird für die Versuchsflächen A und B diskutiert, ob deren Versuchsgegenstände beeinflusst werden könnten.

Grundwasser

Gemäss hydrogeologischem Bericht [38] befindet sich der mittlere Grundwasserspiegel mehr als 20 m unter Geländeoberkante. Somit wird der Grundwasserspiegel durch den Bau der Dünnerngrube nicht tangiert. Es sind keine Veränderungen der Grundwassersituation zu erwarten.

Oberflächenwasser und Bodenwasser

Gemäss Höhenmodell des Breitfelds fällt das Relief von Nordwesten nach Südosten gegen die Dünnerngrube ab. Im Bereich der Versuchsfläche A beträgt das durchschnittliche Gefälle 1 %, bei Versuchsfläche B beträgt das durchschnittliche Gefälle 0.6 %. Stehendes Wasser während Regenfällen (Aussage Agroscope an Sitzung 16. Juni 2020) sowie die Bodenbeschaffenheit deuten darauf hin, dass die Böden zumindest stellenweise nicht senkrecht durchwaschen sind (stauende Deckschichten unter dem Unterboden) und das Bodenwasser der Versuchsflächen so vermutlich nebst der horizontalen Versickerung auch in Richtung der Dünnerngrube entwässert. Eine tendenzielle Entwässerung in Richtung Südosten ist bereits im Ist-Zustand vorhanden.

Dass die Dünnerngrube in trockenem Zustand eine Drainagewirkung auf die unmittelbar angrenzenden Randflächen haben könnte, welche diesen mehr Wasser entzieht als bisher, kann nicht vollständig ausgeschlossen werden. Der Wasserentzug hängt dabei von der negativen Saugspannung der der Feinkörnigkeit des Bodens ab. Die Versuchsflächen A und B können aufgrund der grossen Distanz zur Grube von diesen Effekten ausgeschlossen werden.

Kaltluftströmungen

Bei der Entstehung von Kaltluft im Winter, wird die Kaltluft in Richtung der Dünnerngrube abfliessen, wo das Relief in Richtung Südosten abfällt (vergl. Kapitel 3.3.1). Diese Luftbewegungen (mit den im Kapitel 3.3.2 beschriebenen möglichen Auswirkungen) finden bereits im Ist-Zustand statt, sie könnten sich allenfalls mit dem Bau der Dünnerngrube an deren Rand verstärken.

Die bodennahen Kaltluftströmungen werden in den Hauptwindrichtungen während des Winters durch geplante Massnahmen (Terrainerhöhung, Pflanzung von Strauchgruppen) unterbunden (vergl. Kapitel 3.3.4). Nordwind, welcher die Kaltluftströmungen durch den Bereich der Versuchsflächen A und B zur Dünnerngrube verstärken würde, herrscht im Enzinger Becken im Winter nur sehr selten vor.

Luftfeuchtigkeit

Im Winter wie auch im Sommer kann es lokal zur Bildung von Wiesennebel kommen. Die Wiesennebel treten grundsätzlich sehr lokal auf. In der Dünnerngrube wird sich aufgrund der Kaltluft vermehrt Nebel bilden (siehe Kapitel 3.3.3). Unmittelbar angrenzende Randflächen können allenfalls eine minimale Veränderung der relativen Luftfeuchtigkeit erfahren.

Veränderungen auf den Versuchsflächen, deren Relief identisch bleibt, erscheinen eher unwahrscheinlich. Die Treibhausgasmessungen von Versuchsfläche B sind mehr als 100 m entfernt.

3.5.3 Fazit

Kleine Standortveränderungen auf die unmittelbar angrenzenden Flächen können nicht ausgeschlossen werden. Wie weit ab Grubenrand sich die Verstärkung dieser Effekte abzeichnen können, kann ohne weitere Daten nicht genauer definiert werden. Auswirkungen auf die Versuchsflächen von Agroscope, welche ausserhalb der projektierten Dünnerngrube liegen, können aufgrund der Distanz und Lage als sehr unwahrscheinlich angenommen werden.

4 Gesamtfazit

Der Bau der Dünnerngrube hat einen direkten (periodische Überschwemmungen) sowie indirekten Einfluss (Veränderung der mikroklimatischen Bedingungen) auf die Bodenfunktionen und die landwirtschaftliche Produktivität. Durch bauliche Massnahmen können negative Einflüsse verhindert oder abgeschwächt werden:

Im Ereignisfall kommt es zur Ablagerung von Sedimentschichten, welche jedoch selbst bei einem Extremereignis (HQ_{100}) flächendeckend kaum > 5 cm sein werden. Der Boden kann sich dementsprechend durch selbstregulatorische

Mechanismen wieder regenerieren, ohne dass die Sedimentschichten mechanisch abgetragen werden müssen. Ferner wirkt sich der Eintrag der fruchtbaren Sedimente positiv auf das Pflanzenwachstum und die landwirtschaftliche Produktivität aus.

Im Zuge der Rekultivierungen der Dünnerngrube wird empfohlen den Boden aufzuwerten. Er wird somit über einen verbesserten Bodenwasserhaushalt verfügen und so die Wasserretentions- und Reinigungsfunktion in Feucht / Trockenphasen sowie im Ereignisfall gewährleisten. Dabei wird der Einbau eines Übergangshorizonts (B/C-Horizont) vorgeschlagen, welcher sich zur Hälfte aus der vorhandenen, wenig durchlässigen Deckschichten und zur anderen Hälfte aus karbonathaltigem Sand und Kies zusammensetzt. Ferner sollte dem Unterboden ebenfalls 20 % Sand beigemischt werden, um die Drainagekapazität zu steigern. Dieser Bodenaufbau ermöglicht die Perkolatation von Niederschlagswasser, fördert die Adsorption von Schadstoffen an die Bodenmatrix im Ereignisfall und beugt der Retention von Stauwasser und der Bildung von Schrumpfrissen vor. Zudem ist der Erhalt der Fruchtfolgeflächen-Qualität des Bodens durch die Anpassung der bodenphysikalischen Parameter langfristig gewährleistet.

Durch die Morphologie der Dünnerngrube kommt es voraussichtlich zu einer häufigen Bildung von Kaltluftseen und in Strahlungsnächten im Winter zur Entstehung von Kahlfrösten. Dies kann bei einer fehlenden Schneebedeckung zu einer Bildung von Schrumpfrissen im Boden sowie zu Schäden an den Kulturen (Auswinterung) führen. Um die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Kahlfrösten zu minimieren, muss der Temperaturgradient zwischen Beckenboden und näherer Umgebung abgeschwächt sowie die Ausbildung von Kaltluftseen verhindert werden. Dies wird durch die geplante Bestockung zweier Böschungen entsprechend der Hauptwindrichtung im Winter sowie einer Terrainerhöhung am südöstlichen Grubenrand erreicht. Den Änderungen der mikroklimatischen Bedingungen kann durch diese Massnahmen jedoch nicht vollständig entgegengewirkt werden. Es ist zu erwarten, dass Spätfrostereignisse häufiger werden und sich dadurch das Ausfallrisiko von Frühlingskulturen insbesondere Ende März erhöhen wird.

Kleine Standortveränderungen auf die unmittelbar angrenzenden Flächen (Randeffekte) durch den Bau der Dünnerngrube können mit den aktuell vorhandenen Kenntnissen nicht komplett ausgeschlossen werden. Keine Auswirkungen werden auf die Langzeitmessreihen der Versuchsflächen von Agroscope erwartet.

Anhang A Leitprofile

Situation	Topographie / Geologie	Standort	Titeldaten					
		58 Höhe (m.ü.M)	450	Gemeinde	Oensingen	Profilnummer	2407-28	
		59 Exposition	keine	Flurname	Biblis	Prov. Profilbezeichnung	A 27	
		60 Klimaeignungszone	A4	BFS-Gemeindenummer	2407	Datenschlüssel	DS 6.0-KA97	
		61 Vegetation aktuell	AK	Kanton	SO	Profilart	P	
		62/63 Ausgangsmaterial	AL	LK-Blatt 1:25000		Pedologe	Ro	
		64/65 Landschaftselement/Kleinrelief	EE 0	Koordinaten	2622488 / 1237068	Aufnahmedatum	1999-04-09	
		Bodenbezeichnung		16/17 Bodentyp	K	Kalkbraunerde		
		18 Untertyp	PA	alluvial				
		19/20 Skelettgehalt OB/UB	3 8	steinhaltig/ Kies				
		21/22 Feinerdekorung OB/UB	IT IT	lehmiger Ton (IT)/ lehmiger Ton (IT)				
23 Wasserhaushaltsgruppe	d	senkrecht durchwaschener Boden; normal durchlässig; ziemlich flachgründig						
24 Pfln. Gründigkeit	4/45 cm	ziemlich flachgründig; 30 - 50 cm						
25 Neigung [%]	0							
26 Geländeform	a	eben (0 - 5 %)						

Foto		Profilskizze		Profilbeschreibung										Bemerkung		
28	29/30	Profilskizze	Tiefe	31/32	33/34	35/36	37/38	39/40	41	42	44/45	46/47	48-55	KAK meg		Klassifikation, Angaben in Klammern; Alternative zu Fluvisol, Fluvisol jedoch kohärent zu A13 s. Bodenbezeichnungstext; Tiefer Tongehalt bei Messung im Bst: vermutlich methodisches Problem der Analytik; Fühlproben: Ahp, Bst, Cgg
Tiefe	Bezeichnung	[m]	Gefüge	organ. Subst [%]	Ton [%]	Schluff [%]	Sand [%]	Kies (0.2-5) [Vol. %]	Steine (>5cm) [Vol. %]	Kalk CaCO2 [Code]	pH CaCl2	Farbe (Munsell)	pot.	eff.		
0	Ahp	35.0	Po5	5.4 3.0	41.2 32	31.4 45	27.4 23	10	5	3	7.1	10 YR 3/3				
35	Bst	60.0	Po4	1.0	22.6 50	10.7 45	66.7 5	40	5	4	7.5	10 YR 4/4				
60	BC	80.0	Pr4	0.0	50	45	5	50	5	4		10 YR 5/6				
80	C	120.0	Ko	0.0	50	45	5	40	10	5		10 YR 6/6				
120	Cgg	200.0	Ko	0.0	37.7 45	44.4 45	17.9 10	0	0	0	7.6	10 YR 7/8 2.5 Y 7/3				
167	filtertiefe															
180																
200																

Nutzungsbeschränkung / Meliorationen				Bewertung / Eignung Landwirtschaft				Bewertung / Eignung Wald					
Krumenzustand	Limitierungen	Nutzungsbeschränkungen	Meliorationen		Düngereinsatz		Stufe	Bodenprofilwert	Nutzungs eignung	Eignungsklasse	Humus form	Produktionsfähigkeit	
			festgestellte	empfohlene	fest	flüssig						Stufe	Punkte
66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	100	110	111
2	A, Z		EG		1	2		65		4			

Situation	Topographie / Geologie	Standort	Titeldaten					
		58	Höhe (m.ü.M)	450	Gemeinde	Oensingen	Profilnummer	2407-27
		59	Exposition	keine	Flurname	Biblis	Prov. Profilbezeichnung	A 26
		60	Klimaeynigungszone	A4	BFS-Gemeindenummer	2407	Datenschlüssel	DS 6.0-KA97
		61	Vegetation aktuell	KW	Kanton	SO	Profilart	P
		62/63	Ausgangsmaterial	AL	LK-Blatt 1:25000		Pedologe	Ro
		64/65	Landschaftselement/Kleinrelief	EE 0	Koordinaten	2622185 / 1237248	Aufnahmedatum	1999-04-12
		Bodenbezeichnung						
16/17	Bodentyp	B	Braunerde					
18	Untertyp	I1, E0, PA	schwach pseudogleyig, alkalisch (> 6.7), alluvial					
19/20	Skelettgehalt OB/UB	0 0	skelettfrei, skelettarm/ skelettfrei, skelettarm					
21/22	Feinerdekorngung OB/UB	IT L	lehmgiger Ton (IT)/ Lehm (L)					
23	Wasserhaushaltsgruppe	c	senkrecht durchwachsender Boden; normal durchlässig; mässig tiefgründig					
24	Pfln. Gründigkeit	3/68 cm	mässig tiefgründig; 50 - 70 cm					
25	Neigung [%]	0						
26	Geländeform	a	eben (0 - 5 %)					

Foto	Profilskizze		Profilbeschreibung											Bemerkung	
	28	29/30	31/32	33/34	35/36	37/38	39/40	41	42	44/45	46/47	48-55	KAK meg		
	Tiefe	Bezeichnung	[m]	organ. Subst [%]	Ton [%]	Schluff [%]	Sand [%]	Kies (0.2-5) [Vol. %]	Steine (>5cm) [Vol. %]	Kalk CaCO2 [Code]	pH CaCl2	Farbe (Munsell)	pot.	eff.	
	0														
	10	Ahp													
	22		22.0	Pr4	4.8 3.0	41.8 38	38.0 40	20.2 22	0	0	0	7.3	10 YR 3/4		
	30														
	40														
	60	Bst													
	80		80.0	Po5	1.0	24.8 25	42.1 40	33.1 35	1	0	4	7.6	10 YR 5/4		
100															
120	BCgg,x														
140		140.0	Pr7	0.0	49.6 55	37.0 40	13.4 5	0	0	0	7.5	10 YR 6/4 10 YR 6/8			
160															
180	Cgg														
190	Cg														
190		190.0	Ko	0.0	55	40	5	0	0	0		10 YR 7/4 10 YR 7/8			
iltiefe															
7															
0															

Bemerkung Ersterfassung

Nutzungsbeschränkung / Meliorationen				Bewertung / Eignung Landwirtschaft				Bewertung / Eignung Wald					
Krumenzustand	Limitierungen	Nutzungsbeschränkungen	Meliorationen		Düngereinsatz		Stufe	Bodenprofilwert	Nutzungsseignung	Eignungsklasse	Humusform	Produktionsfähigkeit	
			festgestellte	empfohlene	fest	flüssig						Stufe	Punkte
66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	100	110	111
3	A, Z		EG		1	2		79		3			

Situation	Topographie / Geologie	Standort	Titeldaten					
		58	Höhe (m.ü.M)	450	Gemeinde	Kestenholz	Profilnummer	2403-14
		59	Exposition	keine	Flurname	Matten	Prov. Profilbezeichnung	A 19
		60	Klimaeignungszone	A4	BFS-Gemeindenummer	2403	Datenschlüssel	DS 6.0-KA97
		61	Vegetation aktuell	KW	Kanton	SO	Profilart	P
		62/63	Ausgangsmaterial	AL	LK-Blatt 1:25000		Pedologe	Ro
		64/65	Landschaftselement/Kleinrelief	EE 0	Koordinaten	2622580 / 1236860	Aufnahmedatum	1999-04-12
		Bodenbezeichnung						
16/17	Bodentyp	B	Braunerde					
18	Untertyp	E2, I2	schwach sauer (5.1 - 6.1), pseudogleyig					
19/20	Skelettgehalt OB/UB	0 0	skelettfrei, skelettarm/ skelettfrei, skelettarm					
21/22	Feinerdekörnung OB/UB	sL tL	sandiger Lehm (sL)/ toniger Lehm (tL)					
23	Wasserhaushaltsgruppe	g	senkrecht durchwachsener Boden; stauwasserbeeinflusst; mässig tiefgründig					
24	Pfln. Gründigkeit	3/64 cm	mässig tiefgründig; 50 - 70 cm					
25	Neigung [%]	0						
26	Geländeform	a	eben (0 - 5 %)					

Foto	Profilskizze		Profilbeschreibung										Bemerkung		
	28	29/30	31/32	33/34	35/36	37/38	39/40	41	42	44/45	46/47	48-55	KAK meg		Entnahmetiefe Zylinderproben: 10cm, 40cm, 70cm; Fühlproben: Ahp, B(g), BCgqx
	Tiefe	Bezeichnung	Tiefe [m]	Gefüge	organ. Subst [%]	Ton [%]	Schluff [%]	Sand [%]	Kies (0.2-5) [Vol. %]	Steine (>5cm) [Vol. %]	Kalk CaCO2 [Code]	pH CaCl2	Farbe (Munsell)	pot.	
	22	Ahp	22.0	Po3	5.5 3.0	17.5 28	65.3 45	17.2 27	0	0	0	5.4	10 YR 3/4	238.00	
	50	B(g)	50.0	Po6	2.5 1.0	35.5 32	49.3 45	15.2 23	0	0	0	5.7	10 YR 4/3	201.00	
	60	Bg	60.0	Pr6	0.0	45	40	15	0	0	0				
	70	Bgg,x	70.0	Pr6	0.0	45	40	15	0	0	0		10 YR 6/4 10 YR 6/8		
	120	BCgg,x	120.0	Pr7	0.0	48.0 55	30.2 40	21.8 5	0	0	0	5.9	7.5 YR 6/8 7.5 YR 6/1	244.00	
	170	Cgg	170.0	Ko	0.0	28	50	22	0	0	0		10 YR 7/8 10 YR 7/4		
190	1Cg	190.0			35	45	20	40	5	4					
210	2Ca	210.0			18	30	52	0	0						

Nutzungsbeschränkung / Meliorationen				Bewertung / Eignung Landwirtschaft				Bewertung / Eignung Wald					
Krumenzustand	Limitierungen	Nutzungsbeschränkungen	Meliorationen		Düngereinsatz		Stufe	Bodenprofilwert	Nutzungsseignung	Eignungsklasse	Humusform	Produktionsfähigkeit	
			festgestellte	empfohlene	fest	flüssig						Stufe	Punkte
66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	100	110	111
2	I, Z	W	EG		1	2		77		3			